



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

DESARROLLO DE UN ÍNDICE DE RIESGO SOBRE LA OCURRENCIA DE
OPRESIÓN COSTERA EN EL CENTRO-NORTE DEL ESTADO DE VERACRUZ

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:
LETICIA CORTÉS LÓPEZ

TUTOR O TUTORES PRINCIPALES
Dr. RODOLFO SILVA CASARÍN II UNAM
Dra. MARÍA LUISA MARTÍNEZ VÁZQUEZ INECOL AC

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR
Dr. JORGE LÓPEZ PORTILLO INECOL AC
Dra. CECILIA ELIZABETH ENRÍQUEZ ORTÍZ FACULTAD DE CIENCIAS
Dr. EDGAR GERARDO MENDOZA BALDWIN II UNAM

CIUDAD DE MÉXICO, ENERO 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

Agradezco al CONACYT por la beca de maestría 636599 otorgada para la realización de este proyecto. Así como al II UNAM por brindarme sus instalaciones y equipo.

Quiero agradecer a mis tutores el Dr. Rodolfo Silva Casarín y la Dra. Ma. Luisa Martínez Vázquez por todas las horas de trabajo compartido y el entusiasmo que siempre mostraron. A los miembros del Comité Tutorial, al Dr. Jorge López Portillo por su amabilidad al compartir su experiencia y explicarme de manera sencilla como asociar los datos duros con los procesos en estudio. A la Dra. Cecilia E. Enríquez Ortiz por su disponibilidad y orientación a lo largo de este trabajo. Y sobre todo al Dr. Edgar Gerardo Mendoza Baldwin quien me dedico muchas horas de trabajo y paciencia para “llegar a buen puerto”.

También agradezco al Dr. Juan Carlos Alcérreca Huerta y la Dra. A. Debora Lithgow Serrano por brindarme su experiencia académica y amenizar el trabajo. Y a todos aquellos que me brindaron ayuda en alguna etapa de este proyecto.

Dedicatoria

A mi familia, mis padres, hermanos y sobrinos quienes me acompañaron en esta travesía, en especial a mi sobrina Jeshara por todo su cariño.

A mi mejor amiga, Teté que siempre me brinda momentos de buen humor y risas a pesar de las dificultades.

Contenido

Resumen	1
Introducción	2
Los sedimentos	5
Transporte de sedimentos.....	5
Forma del sedimento.....	5
Redondez	5
Esfericidad	6
Forma.....	8
La playa	8
Sedimentos en la Playa.....	9
Transporte sedimentario en la playa.....	9
Las Dunas frontales	10
Morfología de la duna	11
Sedimentos en la Duna frontal.....	12
Transporte sedimentario en la duna	12
Parámetros texturales de los sedimentos.....	14
Tamaño	14
Clasificación	15
Asimetría.....	16
Curtosis.....	17
Evolución de la línea de costa	19
Morfodinámica del perfil de playa	19
Vegetación en el sistema playa-duna frontal.....	20

Grupos Funcionales de Plantas (GFP).....	21
Objetivo general	23
Objetivos particulares.....	24
Área de Estudio.....	25
Localización.....	25
Clima	26
Hidrografía.....	27
Rango de marea.....	28
Nivel Medio del Mar (NMM)	31
Viento	32
Oleaje y dirección del transporte litoral.....	34
Período del oleaje.....	34
Método	37
Sedimentos.....	37
Pretratamiento de las muestras de sedimentos	38
Análisis de las características físicas de los sedimentos.....	38
Análisis granulométrico del sedimento.....	38
Análisis de datos obtenidos de la granulometría	40
Parámetros texturales (Folk, 1974)	40
Geomorfología, evolución de la línea de costa.	41
Morfología del Perfil de playa	42
Distribución granulométrica de los sedimentos en el perfil de playa.....	44
Distribución de Infraestructura en la zona paralela a la línea de costa	44
Vegetación	45

Análisis de datos obtenidos de la vegetación del sistema playa-duna frontal	45
Índice de diversidad de Shannon-Weaver.....	45
Riqueza	47
Importancia Relativa.....	47
Jerarquía de especies	47
Agrupación de playas por porcentaje de cobertura de los GFP	47
Integración del índice de riesgo de ocurrencia de opresión costera.	48
Resultados	50
Sedimentos.....	50
Características físicas.....	50
Forma.....	53
Parámetros texturales	54
Distribución granulométrica de los sedimentos	58
Geomorfología y evolución de la línea de costa.	61
Morfología del perfil de playa	65
Distribución de infraestructura en la zona paralela a la línea de costa	66
Vegetación	70
Frecuencia relativa de especies en el área de estudio.....	72
Riqueza de especies por playa.....	73
Importancia Relativa.....	74
Índice de Diversidad de Shannon-Weaver (H')	76
Grupos funcionales de plantas	76
Ponderación de las variables que integran el índice de opresión costera.....	79
Ajuste lineal de la ecuación	79

Evaluación de las playas utilizando el índice de riesgo de ocurrencia de opresión costera desarrollado.....	81
Discusión.....	86
Recomendaciones.....	89
Conclusiones.....	90
Bibliografía.....	92
Anexos	100

Resumen

La opresión costera ha sido definida como el efecto combinado del incremento relativo del nivel medio del mar y la presencia de infraestructura costera, urbana o de protección. Cuando ocurre este fenómeno, los ecosistemas naturales se ven imposibilitados de migrar tierra adentro conforme se incrementa el nivel medio del mar, ya que las zonas urbanas se convierten en márgenes estáticos e inflexibles. Lo anterior ocasiona el angostamiento de la zona costera. En el presente estudio se generó un índice de riesgo sobre ocurrencia de opresión costera en el Centro-Norte del Estado de Veracruz, considerando la evolución de la línea de costa, la distribución granulométrica de los sedimentos, la morfología del perfil de playa, la distribución de la infraestructura en la zona paralela a la línea de costa y los grupos funcionales de plantas. De las catorce playas evaluadas con el índice generado, se determinó que cinco están sujetas a opresión costera (Oriente, Casitas, Chachalacas, Riachuelos e Istirinchá); cuatro en riesgo de que suceda la opresión costera (Tecolutla, Lechuguillas, Boca de Ovejas y El Laurel); y las cinco restantes sin riesgo de opresión costera (Navarro, Punta Delgada, El Farallón, La Mancha y Doña Juana).

Se reafirmó que el cambio de los ecosistemas costeros no solo depende del incremento del nivel medio del mar sino que además intervienen varios procesos físicos e interacciones antropogénicas. El índice generado integró factores significativos que intervienen en el proceso, el valor numérico que se obtuvo permitió identificar claramente el nivel de riesgo de ocurrencia de opresión costera de las playas del área de estudio.

Introducción

La opresión costera ha sido definida como el efecto combinado del incremento relativo del nivel medio del mar (NMM) y la presencia de infraestructura costera, urbana o de protección. Cuando ocurre este fenómeno, los ecosistemas naturales se ven imposibilitados de migrar tierra adentro conforme se incrementa el NMM, ya que las zonas urbanas se convierten en márgenes estáticos e inflexibles. Lo anterior ocasiona el angostamiento de la zona costera (Doody 2013).

La erosión de las costas es un proceso que puede ser natural. Sin embargo, el creciente impacto de las actividades humanas ha exacerbado esta erosión de manera muchas veces alarmante, siendo el incremento en el NMM uno de los principales factores detonadores de este proceso (Doody, 2013). En este sentido el Panel Intergubernamental de Cambio Climático proyectó, para el año 2100 un aumento en el nivel global del mar de 0.18 a 0.59 m (IPCC, 2007). Jevrejeva *et al.* 2010, incorporaron el derretimiento de los casquetes polares a esta proyección, estimando que el incremento para el año 2100 podría ser >1 m y llegar hasta 1.9 m. Basados en esta última proyección Reece *et al.*, 2013 diagnosticaron que las zonas costeras bajas podrían convertirse en áreas sumergidas, la pleamar estaría por encima de sus límites actuales y la línea de bajamar se moverá tierra adentro, lo que resultaría en variaciones de la morfología costera (Mani y Dinesh, 2014), principalmente debido a la erosión de las playas y la disminución de dunas (Vázquez, 2008).

Existen relativamente pocos estudios que analizan la opresión costera. Por ejemplo en Inglaterra y Gales más del 60 % de la zona intermareal ha sido afectada por el aumento del nivel del mar produciendo pendientes más escarpadas en sus costas. Al cambiar la forma del perfil en que el oleaje se propaga, se altera la fuerza de impacto, corte y arrastre que experimentan los sedimentos y los organismos de la zona intermareal (Taylor *et al.*, 2004). Por otro lado en el estuario Blackwater, Essex, Inglaterra se observó la opresión costera como la pérdida de la zona intermareal debida al aumento del nivel del mar y la presencia de un malecón que protege tierras de agricultura y viviendas (Doody, 2004). Además de la pérdida de metros “útiles de tierra”, el cambio en las características físicas de la línea de costa, puede repercutir en el hábitat con posibles impactos en la abundancia, composición y diversidad de las comunidades. A este respecto Fujii y Raffaelli (2008) reportaron que un aumento de 0.30 m en el nivel del mar representaría un 22.8 % de pérdida en la biomasa macro-bentónica en los sedimentos y un 6.7 % de pérdida del área intermareal del estuario Humber, Inglaterra.

En Isla Martinica se identificó que la infraestructura turística incrementa la vulnerabilidad por el angostamiento de la playa y la reducción de la zona de manglar, ya que la mayoría de los hoteles se encuentran en zonas de riesgo de inundación o erosión (Schleupner, 2008). La reducción en la extensión de la playa conlleva a que las construcciones costeras puedan sufrir el impacto directo de la marea de tormenta (Buzinde *et al.* 2010). En Argentina los partidos de Pinamar, Villa Gesell, De la Costa y en Mar del Plata presentan opresión costera, debida a la urbanización y excesiva fijación de dunas frontales, a la

extracción de arena y la construcción de estructuras de defensas. Tanto la extracción de arena como las estructuras de defensa alteran el balance de los sedimentos afectando el suministro de arena a las playas por deriva litoral (Merlotto y Bértola, 2008).

México también está expuesto a procesos de opresión costera (Martínez *et al.* 2014), como ocurre en el estado de Veracruz, ubicado en la costa del Golfo de México. La costa de este estado se extiende a lo largo de 745 km de litoral, lo que representa el 29.3 % de la costa mexicana del Golfo de México, es decir casi una tercera parte (SCT, 2008). Veracruz cuenta con tres puertos importantes Tuxpan, Veracruz y Coatzacoalcos que mueven el 23.7 % de la carga total de los puertos del país. En las costas de Veracruz se genera el 11 % de la producción nacional de energía eléctrica en la Central Termoeléctrica de Tuxpan y en la central nucleoelectrica de Laguna Verde. Por otro lado, actualmente el 20 % de las ciudades de Veracruz se localizan a menos de 20 km de la línea de costa y el 27 % de la población total se encuentra en esta zona (Martínez *et al.* 2014). Por otra parte Veracruz es uno de los destinos turísticos preferidos a nivel nacional e internacional, recibió 9 millones de turistas durante 2014-2015 (Gobierno del Estado de Veracruz, 2015). Además, a nivel nacional, Veracruz es uno de los estados con mayor extensión y variedad de dunas (Martínez *et al.* 2014). A este respecto la playa y las dunas costeras son afectadas por el turismo y el desarrollo urbano, los cuales varían tanto en intensidad como en densidad a lo largo del Golfo de México (Martínez *et al.* 2006). De esta forma el impacto de las actividades antropogénicas puede ser responsable de la degradación y pérdida de los ecosistemas costeros (Martínez *et al.*, 2014).

Existen dos estudios sobre la opresión costera en las costas mexicanas. En el primero Martínez, *et al.* 2014 se enfocaron en tres localidades del estado de Veracruz: Boca del Río, Chachalacas y Costa Esmeralda. Aquí la urbanización de las costas ha ocurrido de forma acelerada y paralela a la línea de costa, desplazando los ecosistemas naturales (manglar, playa y duna). En el estudio mencionado se concluyó que la franja litoral está sufriendo un retroceso generalizado de lento a muy rápido. Boca del Río presentó opresión costera mientras que Chachalacas y Costa Esmeralda podrían presentarla si mantienen la tendencia de crecimiento urbano a lo largo de la línea de costa. En el segundo Flores, 2016 abarcó todo el litoral veracruzano y se analizó: la erosión, urbanización y la distribución de la vegetación. Se determinó que las playas más propensas a opresión costera se ubican en las zonas urbanizadas, sobre todo donde las ciudades costeras son más extensas, como es el caso del Puerto de Veracruz, Boca del Río y Coatzacoalcos. Además, la riqueza de especies en estas zonas fue menor. Sin embargo, dada la relevancia socioeconómica de las costas veracruzanas, y la escasez de estudios sobre el tema, es de particular interés para tener elementos de decisión, desarrollar un índice que permita determinar de manera eficaz la presencia o riesgo de opresión costera. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo es desarrollar un índice de ocurrencia de opresión costera, estudiando el ambiente playa-duna frontal en el litoral Centro-Norte del estado de Veracruz. Las herramientas que se generen permitirán respaldar la toma de decisiones encaminadas a un uso adecuado ya sea recreativo, económico o de conservación de la zona costera. Este índice se generará en las costas veracruzanas, pero se pretende que sea aplicable para cualquier zona costera.

Considerando lo anterior, es importante comprender cómo funciona el sistema playa-duna frontal por lo que es necesario conocer la dinámica sedimentaria de este sistema, entender cómo funciona y determinar si está siendo afectada por el aumento del NMM, la presencia de infraestructura urbana o de defensa, o como parte de un proceso geomorfológico. También la vegetación del sistema es un indicador del cambio en las características físicas de la línea de costa ya que las plantas responden a las modificaciones ambientales y podría cambiar su composición, abundancia y por lo tanto su diversidad.

Una forma de conocer la dinámica sedimentaria es a través de las características físicas de los sedimentos. Así, el factor de forma, la redondez y la esfericidad, se relacionan con el transporte (fluvial, marino o eólico) y con la fuente de donde provienen los sedimentos. Otra manera es mediante los parámetros texturales (tamaño, clasificación, asimetría y curtosis), que se relacionan con la constancia energética de los procesos costeros (Folk, 1974). El tamaño de la partícula permite determinar la naturaleza de la playa. Por ejemplo, las playas fangosas que tienen partículas muy finas (limos) se forman en torno a los estuarios donde la costa está más protegida, mientras que las playas de arena y grava tienen partículas más grandes que están expuestas a la acción de corrientes marinas, el oleaje y la marea que constantemente afectan el proceso de sedimentación (Day, 2003). De esta manera los parámetros texturales de clasificación, asimetría y curtosis permiten relacionar la distribución de los sedimentos con la constancia energética del oleaje y la marea (Carranza, 2001)

Por otra parte la vegetación también puede asociarse con la ocurrencia de opresión costera. Las plantas del sistema playa-duna frontal son tolerantes a las condiciones extremas de salinidad y movimiento de arena. Dependiendo de la tolerancia y respuesta a estas condiciones, las especies pueden clasificarse en grupos funcionales cuya distribución espacial varía a lo largo del gradiente playa-duna frontal. Si esta distribución cambia, es posible que los factores ambientales estén siendo modificados, y una causa podría ser la urbanización de la costa que comúnmente introduce especies exóticas. Por otro lado si las especies presentes en la playa son predominantemente de ambientes continentales más que costeros indican erosión crónica, en consecuencia la presencia de grupos funcionales sin rasgos de especialización para el sistema playa-duna frontal podría relacionarse con la ocurrencia de opresión costera (García,-Mora *et al.*, 2001; Feagin y Wu, 2007).

En resumen, para desarrollar un índice de ocurrencia de opresión costera en el litoral Centro-Norte del estado de Veracruz es necesario considerar las características del sistema playa-duna frontal: los sedimentos que la conforman así como su transporte en la playa y la duna, el cambio geomorfológico de la línea de costa a lo largo del tiempo, la presencia de infraestructura urbana y de defensa así como las características de la vegetación. Estas características se describen a continuación.

Los sedimentos

Ollier (1969) definió al intemperismo como el proceso que rompe las rocas para formar partículas más pequeñas, lo que implica que los sedimentos provienen de rocas preexistentes. El intemperismo involucra procesos físicos, químicos y biológicos que están relacionados con el clima, los organismos y las corrientes fluviales, entre otros. La gravedad, el agua y el viento son los agentes que transportan los sedimentos, y cuando su energía disminuye los sedimentos son depositados (Selley, 2000; Davis Jr. y FitzGerald, 2004; Boggs, 2006). El lugar geográfico donde se acumulan se conoce como ambiente de depósito (Tarbuck y Lutgens, 2005), ejemplos de ello son las playas y dunas (Davis Jr. y FitzGerald, 2004).

El tamaño promedio de los granos del sedimento es función de la composición de la roca fuente y la cantidad de energía a la que han sido expuestos durante su transporte (Folk, 1974). Una amplia variedad de minerales compone la corteza terrestre, aunque relativamente pocos están presentes en gran abundancia debido a su estabilidad química. De esta forma algunos minerales son completamente destruidos durante el intemperismo y otros se encuentran como residuos o bien formando nuevos minerales. Por ejemplo el cuarzo tiene gran estabilidad química y físicamente es más durable comparado con los feldespatos que son inestables y se convierten fácilmente en arcillas minerales (Boggs, 2006; Davis Jr. y FitzGerald, 2004), por esta razón la presencia del cuarzo es abundante en los sedimentos.

Transporte de sedimentos

El transporte sedimentario comienza cuando una fuerza externa sobre las partículas es suficiente para desplazarlas. En cualquier fluido, aire o agua, los granos son puestos en movimiento por la acción del flujo (Cojan y Renard, 2002). Otras características que influyen en el proceso de transporte del sedimento son el factor de forma, la redondez y la esfericidad (Folk, 1974; Friedman, *et al.* 1992; David Jr. y FitzGerald, 2004).

Forma del sedimento

Los granos del sedimento muestran una gran variedad de geometrías, lo cual se debe a la combinación de la estructura interna de los minerales e implica también el origen de la partícula; algunas tienen formas simples y simétricas y otras son extremadamente complejas (David Jr. y FitzGerald, 2004).

Las formas tan irregulares que asumen las partículas sedimentarias difícilmente alcanzan la de una esfera, por lo que es necesario definir dimensiones que ayuden a cuantificar adecuadamente las características del sedimento como la redondez y la esfericidad (García y Maza, 1998).

Redondez

La redondez se refiere a la angulosidad o suavidad de los bordes y esquinas de la partícula, da una idea cuantitativa de que tan chatos o puntiagudos están los filos o aristas que delinean su contorno. El desgaste que experimenta la partícula por el golpeteo, la

abrasión o la rodadura perfila y redondea su contorno. Así, la redondez indica el deterioro que ha sufrido la partícula al viajar (David Jr. y FitzGerald, 2004). En el caso de partículas naturales la redondez promedio varía entre 0.3 y 0.8 (Figura 1) (García y Maza, 1998). Conforme incrementa la duración del transporte los sedimentos se hacen más redondos (Reineck y Singh, 1973).

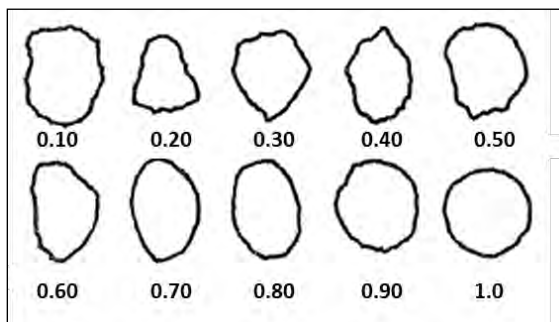


Figura 1. Índice de redondez. Tomado de García y Maza, 1998.

Esfericidad

El término esfericidad se refiere al grado en que la forma de una partícula se aproxima a una esfera. Krumbein (1951) la definió utilizando el método estándar de tres ejes triaxiales, mediante la relación numérica entre dos ejes: b/a y c/b (Figura 2) (Friedman *et al.* 1992). Cuando la relación entre los ejes se aproxima a la unidad significa que la partícula se vuelve más esférica. La esfericidad promedio de las partículas naturales o sedimentarias varía entre 0.60 y 0.85 (García y Maza, 1998).

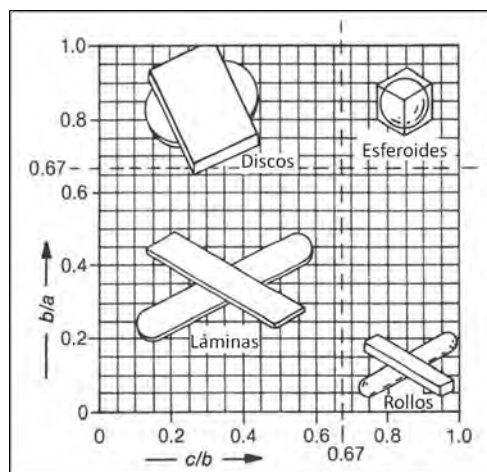


Figura 2. Esfericidad por categorías basadas en su forma, el valor de 0.67 tanto de b/a como de c/b es el límite para subdividirlos en cuatro formas. Tomado de Friedman *et al.* 1992.

La esfericidad está más influenciada por el origen de la partícula que la redondez. Por ejemplo algunos granos son inherentemente alargados debido a su cristalografía, mientras que los de origen biogénico como bivalvos (conchas) o ramificaciones de coral tienden a ser planos o en forma de disco (Figura 3) (David Jr. y FitzGerald, 2004; García y

Maza, 1998). La esfericidad se incrementa en función de la duración del transporte pero responde más a su composición (Reineck y Singh, 1973).

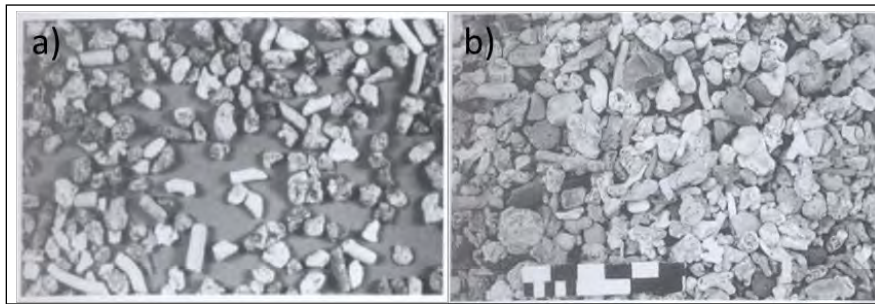


Figura 3. Ejemplos de a) partículas esféricas y b) no esféricas. Independientemente de la redondez o angularidad, la forma tridimensional oscila desde lo alargado hasta casi las equidimensionales partículas esféricas. Tomado de David Jr. y FitzGerald, 2004.

La forma, la redondez y la esfericidad están relacionadas con el proceso de transporte y deposición de las partículas. Así los rollos y esferoides tienden a rodar mientras que los discos y las láminas no lo hacen. En la zona de movimiento de ida y vuelta de las olas (mesoplaya), las partículas de sedimento en forma de disco tienden a ser llevadas hasta la playa por la resaca mientras que las partículas esféricas o en forma de rollo tienden a rodar por la playa en el retrolavado. Así, basados en la forma, el movimiento selectivo es capaz de separar el sedimento en dos conjuntos discretos, uno dominado por el disco y el otro por rollos (Friedman *et al.* 1992).

La esfericidad y redondez son independientes; por esta razón, partículas con igual esfericidad pueden tener diferente redondez (Figura 4; Friedman *et al.* 1992).

Redondez clases	Muy angular	Angular	Sub angular	Sub redondeado	Redondeado	Bien redondeado
Alta Esfericidad						
Baja Esfericidad						
Índices de Redondez	0.12 a	0.17 a	0.25 a	0.35 a	0.49 a	0.70 a
	0.17	0.25	0.35	0.49	0.70	1.00

Figura 4. Índices de redondez para partículas con alta y baja esfericidad. Tomado de Friedman *et al.* 1992.

Forma

La forma de los sedimentos se obtiene relacionando la redondez y la esfericidad, un método que ofrece una rápida y fácil manera de estimar la forma de la partícula en dos dimensiones. Por otra parte los parámetros texturales de los sedimentos relacionan la distribución del sedimento con las condiciones hidrodinámicas existentes al momento de la depositación y dejan su huella en dicha distribución (Cooke y Doornkamp, 1990).

La playa

La playa es un ambiente altamente variable que depende de la energía de las olas; la cantidad y tipo de arena; la orientación y pendiente de la playa y la tasa de incremento o descenso del nivel del mar. Cuando uno de éstos cambia, se desarrolla un ajuste en los otros para volver al equilibrio, por lo que las partes que lo constituyen también son variables. Así su descripción será vigente solo para el momento de su estudio o muestreo (Carranza y Caso, 1994).

A partir de los rasgos prominentes, Carranza y Caso (1994) proponen la zonificación de la playa como sigue: plataforma continental, infraplaya, mesoplaya, supraplaya y dominio terrestre (Figura 5). En este estudio se trabajó en las siguientes zonas:

- I. **Infraplaya** es la zona que siempre está cubierta por agua en condiciones normales. En dirección hacia tierra, el perfil de playa puede exhibir barras y canales, los cuales se asocian con la ruptura de la ola en la zona de rompiente.
- II. **Mesoplaya** se trata de una superficie inclinada que ve hacia el mar, y en la cual se tiene la zona de vaivén, donde ocurre el lavado y retrolavado, es decir, la parte de la playa que continuamente está cubierta por el agua y expuesta al aire de una forma rítmica y alternada. El límite superior de la mesoplaya puede estar dado por la berma o en su ausencia por el límite máximo del lavado.
- III. **Supraplaya** es la parte de la playa que en condiciones normales se encuentra seca, en ella predominan los agentes eólicos sobre los acuosos, ya que el agua llega a invadir esta zona solo ocasionalmente en marea de tormenta y
- IV. El **dominio terrestre** es el límite de la playa hacia tierra, en algunos casos esta zona puede estar constituida por dunas, las cuales se desarrollan donde hay suficiente aporte de arena y donde se presenta un viento dominante en dirección hacia tierra.

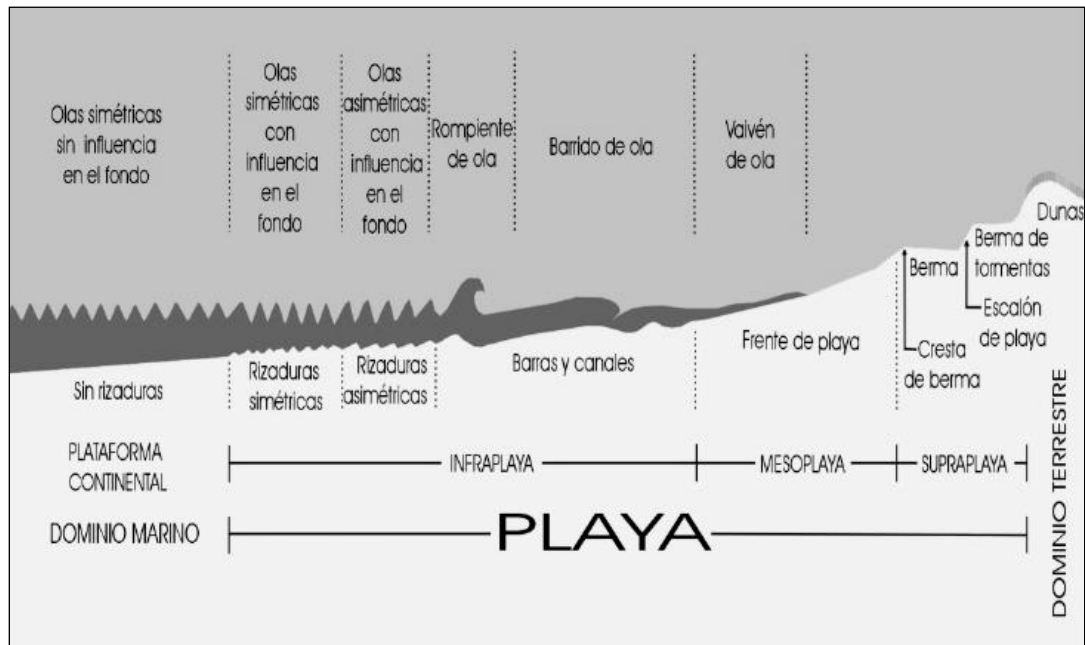


Figura 5. Zonación de la playa. Tomado de: Carranza y Caso, 2004.

Sedimentos en la Playa

De acuerdo con King (1972) la playa es una acumulación de material no consolidado alrededor del límite de la acción del oleaje (Carranza y Caso, 1994). El sedimento que se deposita en las playas proviene de diferentes fuentes. Los ríos descargan sedimentos, generalmente partículas finas mientras que la erosión de los acantilados provee fragmentos gruesos de minerales. También en algunas playas hay sedimentos de origen biogénico que son aquellos que provienen de organismos marinos como los corales (Day, 2003).

Transporte sedimentario en la playa

El primer factor propulsor del movimiento de arena a lo largo de la costa es la turbulencia del rompimiento de las olas, mismo que puede ocurrir de dos formas, en suspensión y por tracción en zigzag a lo largo del frente de playa (Johnson, 1956). Al recibir el impacto de las olas en forma oblicua el sedimento de la playa se desplaza de forma perpendicular al frente incidente y cuando la ola se retira las partículas bajan siguiendo la máxima pendiente de la playa. De esta manera el sedimento comienza a moverse con cada ingreso de la ola, generando un movimiento de sedimentos a lo largo de la costa (Figura 6), (Zavala *et al.* 2003). Alrededor del 80% de los sedimentos se mueven por acción de las olas en la zona de rompiente (Johnson, 1956).

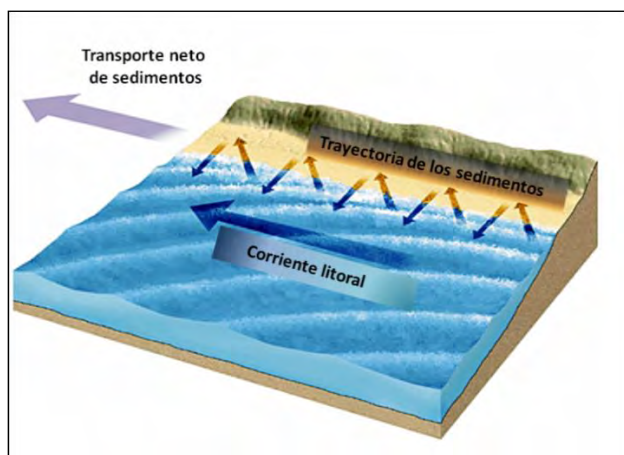


Figura 6. Cuando las olas se aproximan a la playa se refractan, es decir, se doblan y toman la forma de la línea de costa produciendo una corriente litoral. Tomado de: ftp://milo.udc.es/Grado_IOP/Tercer_Curso/Obras%20maritimas%20y%20portuarias/Presentaciones/Tema%203.Intro.TTE.SED_v2.pdf

La densidad del agua es mayor a la del aire, en consecuencia se requiere más energía para ponerla en movimiento, por ello se le asocia mayor capacidad de transportar partículas de mayor tamaño que el viento (Cojan y Renard, 2002). Bajo esta consideración, la dirección en que la energía disminuye en el sistema playa-duna frontal es del mar hacia tierra adentro y se ve reflejado en el tamaño del sedimento de los subambientes. En la infraplaya, donde el sedimento debe soportar la turbulencia del rompimiento de la ola se espera encontrar el sedimento de mayor tamaño comparado con la mesoplaya y la supraplaya. En la mesoplaya el proceso constante de lavado y retrolavado, retrabaja el sedimento disminuyendo su tamaño. Finalmente en la supraplaya estarían los sedimentos más finos, ya que el agente de transporte en esta parte es el viento, así cuando la arena está seca el proceso selectivo de la deflación transporta a los sedimentos más pequeños (Carranza, 2001).

Las Dunas frontales

Las dunas son acumulaciones de arena que se reacomodan constantemente ante la energía de la marea, las olas y el viento (Bird, 1996). Su desarrollo depende del tipo y suministro de sedimentos, la velocidad del viento y la presencia de vegetación u obstáculos. Otros factores locales son la topografía, el rango de marea y a mayor plazo de tiempo el aumento del nivel del mar (Carter, 1988).

La línea de costa es una localización ideal para la formación de dunas. Cuando estas acumulaciones se llegan a interconectar en mayor o menor medida forman un cordón dunar denominado duna frontal (Flor, 1990). Las dunas frontales se encuentran en el fondo de la playa y tienen una orientación paralela a la línea de costa, (Figura 7), (Martínez, 2009).

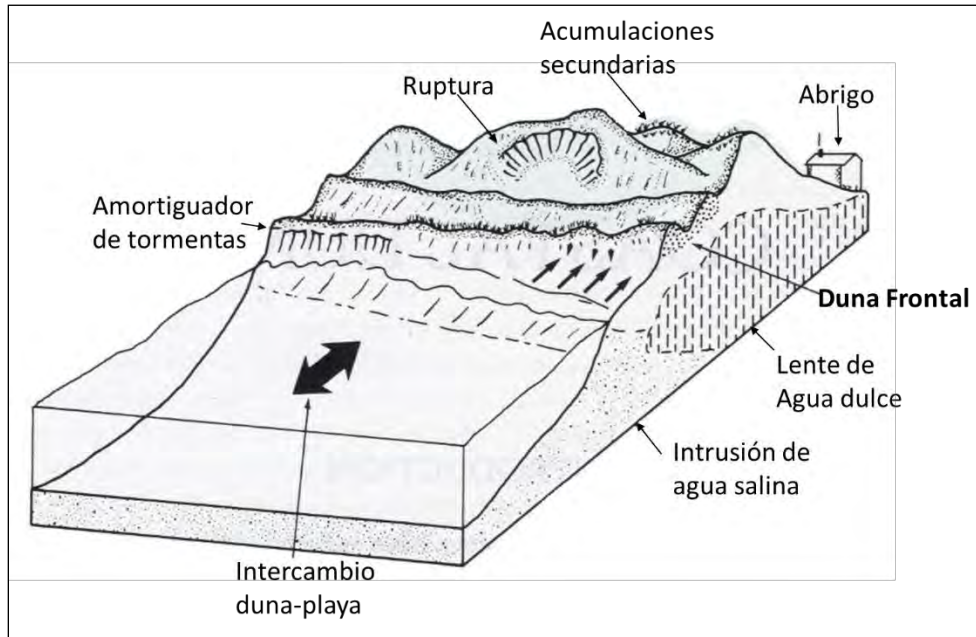


Figura 7. Las dunas costeras reciben, almacenan o liberan el exceso de arena de la playa y actúan como amortiguador en condiciones de oleaje fuerte, dan abrigo y regulan el manto freático costero. Tomado de Carter, 1988.

Morfología de la duna

La forma de las dunas depende en primera instancia del viento que interviene en el desplazamiento de la arena (Flor, 1990). Cuando la duna se encuentra sin vegetación (activa), la acción del viento la mantiene en constante cambio de forma y a veces de lugar. Sin embargo, cuando presenta vegetación ésta le impide el desplazamiento y la estabiliza (UC, 2016). Conforme las dunas migran tierra adentro adquieren diferentes formas que son el resultado de procesos de deposición y de acumulación de arena. También el oleaje interviene en su morfología, si las olas logran alcanzar la duna, arrastran parte de sus sedimentos redistribuyéndolos y alterando su forma (Martínez, 2009). Por otra parte la orientación de la costa frente a los vientos predominantes también determina la morfología (Flor, 1990).

El lado de la duna con pendiente suave es el barlovento, aquí el viento intenso golpea y arrastra consigo los granos de arena. Al llegar a la cima (parte más alta), el viento pierde velocidad y es incapaz de sostener los granos de arena por lo que los deposita en la pendiente contraria que es mucho más pronunciada, el sotavento (Figura 8), (Martínez, 2009).

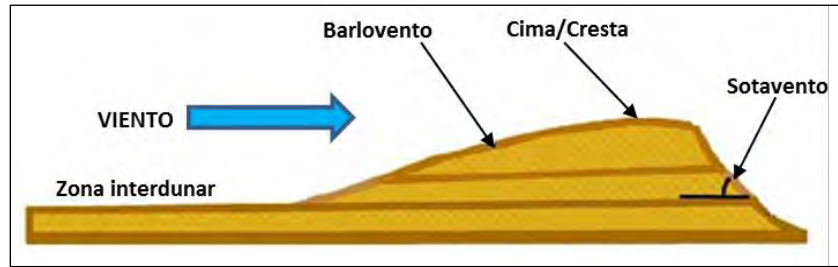


Figura 8. Morfología y terminología de una duna transversal simple. Tomado de: Ley-Vega *et al.* 2007

Sedimentos en la Duna frontal

El sedimento de la duna proviene comúnmente del transporte litoral que provee arena y el oleaje la acumula en la playa. Posteriormente la arena de la supraplaya (arena seca) es transportada por el viento, cuando este cesa la arena es depositada nuevamente en la playa o puede quedar atrapada en la vegetación o algún otro obstáculo de la playa y así comienza la formación de la duna (Goldsmith, 1985).

Transporte sedimentario en la duna

El viento es el principal agente de transporte de arena en las dunas, y se ha calculado que la velocidad mínima para levantar los granos de arena es de 4.5 m/s. Casi toda la arena se transporta a una distancia muy cercana a la superficie del suelo (Martínez, 2009). El proceso selectivo de la deflación ocurre cuando el viento sopla y arrastra, barre o levanta los sedimentos dependiendo de la velocidad del viento y del tamaño de los granos (Cuadro 1) (Pettijohn *et al.* 1973).

Cuadro 1. Tiempo de vuelo y altura de las partículas para una velocidad de viento de 15 m/s.

Diámetro mm	Velocidad de caída cm/seg	Tiempo de vuelo	Distancia	Altura Máxima
0.001	0.00824	9-90 años	4-10x10 ⁶ Km	6.1-61 Km
0.01	0.824	8-80 años	4-40x10 ² Km	61-610 m
0.1	82.4	0.0-3 seg	46-460 m	0.61-6.1 m

Tomado de Pettijohn *et al.* 1973.

Por otra parte el tipo de transporte que predomina en las dunas es el de saltación. Durante la saltación los granos de arena describen una curva volviendo a caer al suelo (Figura 9). Con el impacto de su caída rebotan y son lanzados al aire nuevamente provocando que otros granos de arena también sean lanzados al aire. Conforme más granos de arena son impactados por los granos previamente en movimiento, más granos son lanzados al aire, hasta que en poco tiempo toda la superficie de arena está en movimiento (Friedman *et al.* 1992; Martínez, 2009).



Figura 9. El viento como agente de transporte de los sedimentos. Tomado de: http://digital.bl.fcen.uba.ar/gsd-282/Libro_0002_Marcomini/1_hidrodinam/index.htm

Las características granulométricas del sistema playa-duna varían espacialmente, según se describe a continuación: generalmente las fracciones más finas del sistema se encuentran en la duna, no obstante el viento intenso es capaz de transportar diferentes poblaciones granulométricas, pudiendo llegar a existir escasas diferencias en los tamaños promedio entre la playa donante y la duna receptora. La velocidad del viento disminuye cuando chocan contra obstáculos, como troncos, restos de animales e incluso las dunas mismas, por lo que en la pendiente de barlovento se encuentran los sedimentos de mayor tamaño y en la de sotavento los más finos. Comúnmente los sedimentos de menor tamaño alcanzan la cresta y por inestabilidad gravitacional caen en sotavento (Ley-Vega *et al.* 2007).

Por otro lado durante las tormentas se eleva el NMM. Si las olas son lo suficientemente grandes alcanzan las dunas frontales y las erosionan. Cuando la tormenta dura mucho tiempo la playa y las dunas frontales quedan severamente erosionadas. Posteriormente, conforme las condiciones “normales” vuelven, se reconstruye la playa y las dunas frontales, manteniéndose así hasta la siguiente tormenta (Hesp, 2000), (Figura 10).

Desde el punto de vista funcional las dunas frontales representan la reserva de arena de las playas durante los episodios extremos de mareas de tormenta, oleajes fuertes y huracanes. De esta forma la recesión de los frentes de dunas costeras puede deberse a la acción del oleaje durante la marea alta, mientras que los límites de tierra dentro pueden estar controlados por los vientos provenientes del continente hacia el mar (Pontee, 2013). También existe la posibilidad que después de una tormenta la playa no pueda reabastecer de sedimentos a la duna para reconstruirse, esto puede deberse a que los sedimentos durante la tormenta fueron arrastrados hasta mar adentro, más allá de la profundidad de cierre, por lo que las condiciones normales del oleaje no lo pueden llevar hacia la playa.

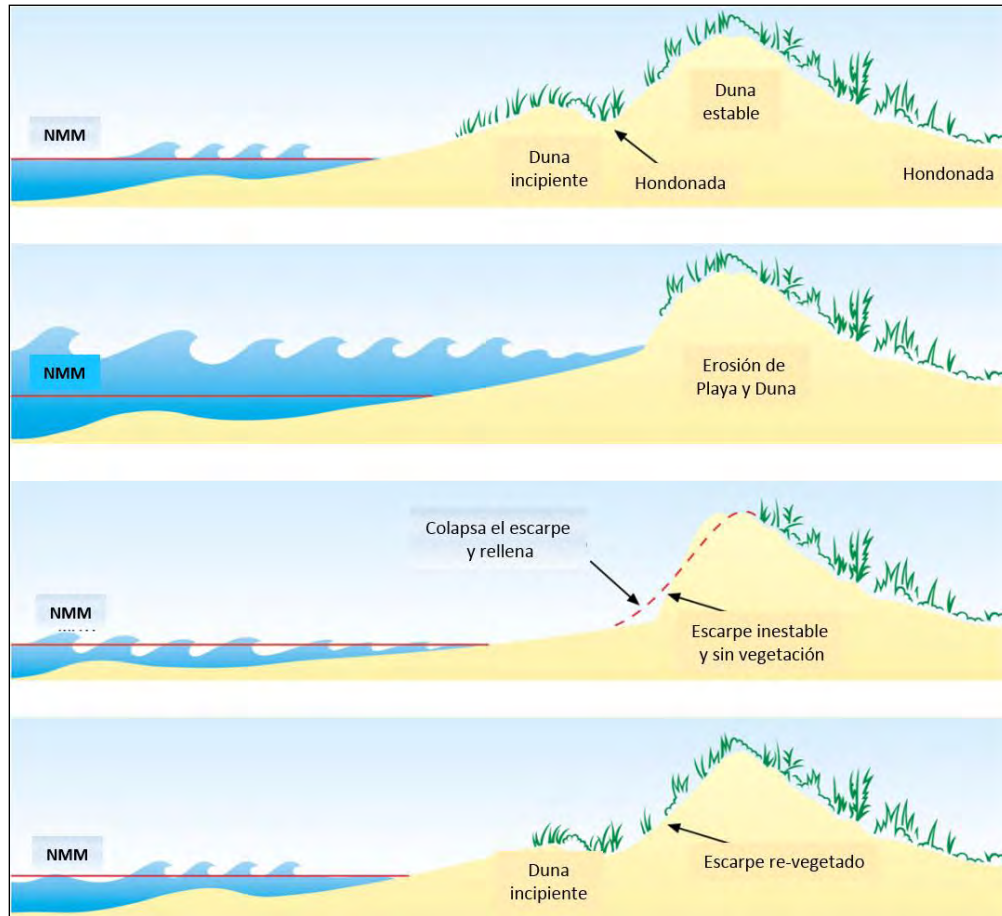


Figura 10. Movimiento de la arena en las dunas incipientes y dunas frontales en respuesta a la ocurrencia de tormentas y en tiempos de calma. Tomado de Hesp 2000.

Por otro lado tanto las playas como las dunas han sido estudiadas mediante los parámetros texturales, que permiten relacionar la distribución de los sedimentos con la constancia energética del oleaje, la marea y el tipo de transporte

Parámetros texturales de los sedimentos

Los parámetros texturales de tamaño promedio, clasificación, asimetría y curtosis se obtienen estadísticamente, utilizando histogramas, curvas de frecuencia o curvas de frecuencia acumulada. Folk, 1974 refiere su método a una curva de frecuencia acumulada, sus fórmulas toman en consideración al 90% de la distribución de los sedimentos. Su método requiere que el tamaño de los sedimentos se convierta de mm a unidades ϕ (aplicando el logaritmo base 2), lo cual permite minimizar el error en las colas de la curva de frecuencia acumulada ya que amplía la escala.

Tamaño

Los sedimentos se componen de partículas de diferentes tamaños. Una forma sencilla de determinar el tamaño promedio es a través de la prueba de cribado, en la que se obtiene el porcentaje en peso por clase de tamaño o se construye una curva de frecuencia

acumulada (Figura 11) (Folk, 1974; Cojan y Renard, 2002; David Jr. y FitzGerald, 2004). En general las zonas de máxima energía muestran el material más grueso, así las zonas de rompiente y lavado son caracterizadas por presentar tamaños grandes (Cooke y Doornkamp, 1990). La dirección del transporte es hacia donde decrece el tamaño de los sedimentos (Reineck y Singh, 1973).

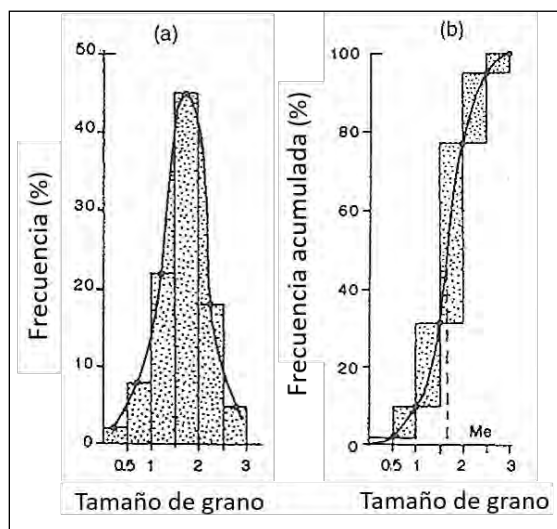


Figura 11. Existen diferentes curvas que representan la distribución de los sedimentos. a) Histograma de distribución normal; b) Curva de frecuencia acumulada; Me=mediana. Tomado de Cojan y Renard, 2002

Clasificación

El tamaño y la forma de las partículas del sedimento se relacionan con su distribución en el ambiente de depósito. Es decir, el grado de acomodo de los granos entre sí responde al tamaño de los sedimentos y a la constancia de los procesos. Esta homogeneidad o heterogeneidad en los sedimentos se denomina clasificación (Figura 12), (David Jr. y FitzGerald, 2004; Folk, 1974). En una playa transgresiva las grandes fluctuaciones de energía propician que las partículas finas puedan quedar atrapadas entre las partículas gruesas, esto tiende a mostrar una mala clasificación (Cooke y Doornkamp, 1990). En cambio en una playa disipativa el flujo de energía constante produce una excelente separación de los granos en diferentes tamaños. Sin embargo se producen algunas excepciones, por ejemplo en playas con presencia promontorios rocosos cercanos pueden mostrar una mezcla de fragmentos de roca procedentes de éstos y que han llegado a la playa durante las tormentas.

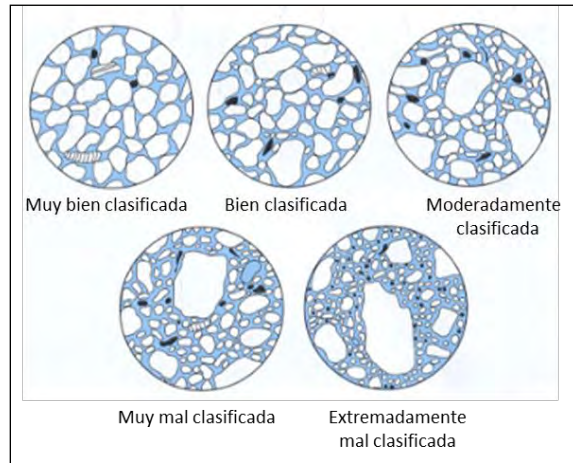


Figura 12. Diagrama cualitativo de niveles de clasificación de las partículas. Tomado de David Jr. y FitzGerald, 2004.

Asimetría

La asimetría en la curva de frecuencia se refiere al desplazamiento de la media hacia la izquierda o a la derecha. Si la asimetría es positiva hay un exceso de material fino, por el contrario si la asimetría es negativa se tiene un exceso de material grueso (Figura 13), (Folk, 1974). Comúnmente las dunas presentan asimetría positiva y la playa asimetría negativa (Friedman *et al.* 1992; Cooke y Doornkamp, 1990).

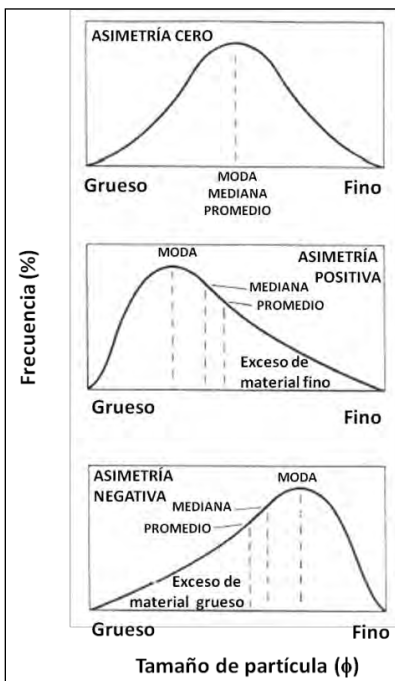


Figura 13. Curvas de distribución de frecuencia granulométrica para diferentes asimetrías. Tomado de Friedman *et al.* 1992.

Curtosis

La curtosis mide la angulosidad de la curva de frecuencia. En otras palabras representa la dispersión de los tamaños de clases alrededor del valor promedio y está directamente relacionada con la clasificación. Una curva con un pico muy agudo (leptocúrtica) es resultado de un número de clases pequeño, es decir, la mayoría de las partículas tienen el mismo tamaño lo que sugiere una misma fuente y procesos constantes. En contraste una curva extensa y aplanada (platicúrtica), responde a una amplia distribución de tamaños, reflejando procesos no constantes o diferentes fuentes (Figura 14) (Folk, 1974; Selley, 1988; Friedman *et al.* 1992; David Jr. y FitzGerald, 2004).

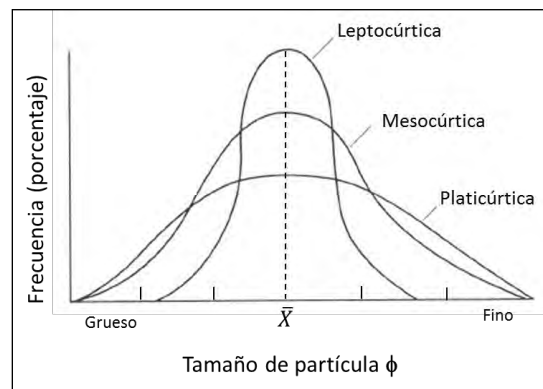


Figura 14. Representación de curtosis. Tomado de Selley, 1998.

El movimiento del aire y el agua separan las partículas en tamaños, y cuando los sedimentos convergen en un depósito sedimentario es común encontrar una mezcla de tamaños, que se conocen como poblaciones. Por ejemplo en la playa debido a la combinación de arena de cuarzo con conchas o grava, se produce una distribución con más de un modo, donde cada modo representa una población (Friedman *et al.* 1992, David Jr. y FitzGerald, 2004).

Por otra parte la distribución del tamaño (d_{50}) también ha sido utilizada para asociarla con la regresión o transgresión de la playa.

Variación del tamaño de los sedimentos a lo largo del perfil de la playa.

La variación del tamaño de grano (d_{50}) a lo largo del perfil transversal de playa bajo condiciones de micro marea fue estudiado por Pruszek (1993), Liu y Zarillo (1987), Moutzouris (1988), Sonu (1972), Boon y Green (1988), Richmond y Sallenger (1984), y por Katoh y Yanagishima (1995). En este conjunto de trabajos se concluye que en general, los granos más gruesos se encuentran en el frente de playa (zona de rompiente), y disminuyen de tamaño hacia la zona de lavado y playa seca. Básicamente la distribución granulométrica depende de la composición de los sedimentos, el nivel de energía del viento y la fuerza de las olas de un ambiente en particular (Figura 15), (Van Rijn, 1998).

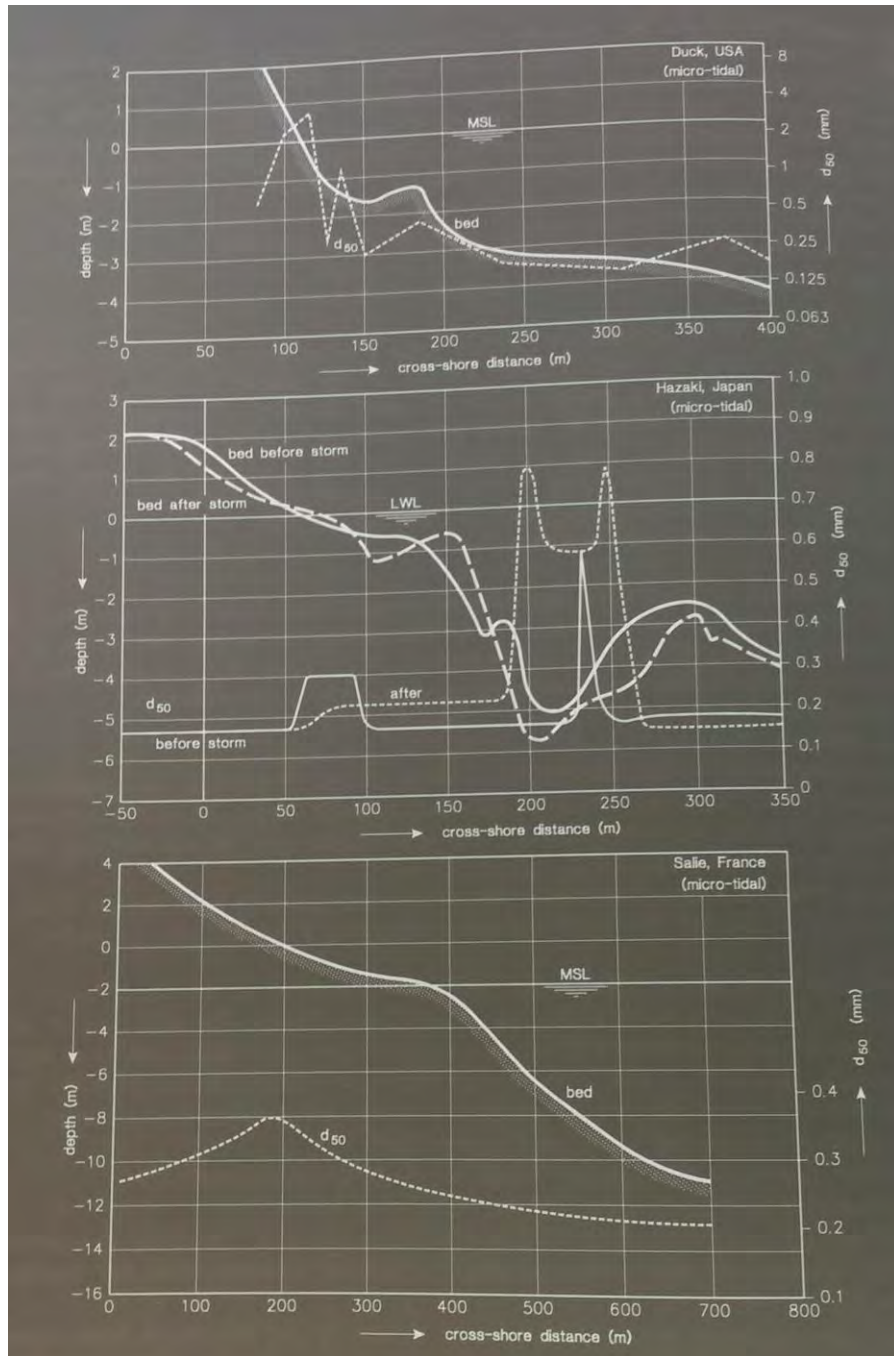


Figura 15. Distribución del tamaño de arena en el perfil transversal de las playas. Tomado de Van Rijn, 1998.

Arriba: Playa Duck, costa Atlántica, U.S.A
 En medio: Playa Hazaki, costa del Pacífico, Japón
 Abajo: Playa Salie, costa Atlántica, Francia

Actualmente se sabe que las playas y dunas intercambian sedimentos continuamente y son interdependientes. Es decir, las playas y las dunas interactúan continuamente y esta interacción tiene un fuerte impacto en la evolución y desarrollo de las costas (Martínez, 2009). Esta evolución se relaciona con el cambio geomorfológico de la línea de costa.

Evolución de la línea de costa

La evolución de la línea de costa ocurre en escalas temporales de minutos, horas, días, meses, años, décadas, siglos, etc., y se relaciona con eventos de transgresión o regresión costera (Niedoroda *et al.* 1985). La transgresión es el retroceso de la línea de costa hacia el continente y la regresión es el avance de la línea de costa hacia el mar (Martínez *et al.* 2014). Es decir, la morfología del perfil de playa es resultado de las variaciones de los parámetros hidrodinámicos y sedimentológicos (Bernabeu *et al.* 2001).

El nivel medio del mar (NMM) es fundamental en la geomorfología de la línea de costa. Una de las posibles consecuencias del ascenso del NMM en playas arenosas bajas resulta en una transgresión, lo que podría ocasionar erosión, inundación y salinización tanto de tierras, como de aguas superficiales y del manto freático cercano (Pérez Ortiz y Méndez Linares, 2004). Las especies costeras son importantes estabilizadoras de playa ya que retienen arena y ayudan en la formación de dunas, pero si el incremento en el NMM es acelerado, tal vez no puedan establecerse o mantenerse, aumentando así el riesgo de erosión.

Morfodinámica del perfil de playa

Los primeros trabajos completos de la evolución costera en respuesta a la energía incidente, fueron realizados por Wright *et al.* (1979) y Short (1979). Posteriormente Wright y Short (1984) construyeron un modelo de evolución de costas, usando el parámetro adimensional de velocidad de caída del sedimento, denominado omega, Ω . Este modelo consideró la morfología de la zona más interna del perfil -la zona de rompiente- (Sánchez-Arcilla y Jiménez, 1994). Después, Masselink-Short, 1993 ajustaron el modelo al introducir el efecto del rango de marea, obteniéndose una ordenación de los diferentes estados del perfil de playa (Figura 16; Vidal *et al.* 1995; Martínez, 2013; Benavente *et al.* 201). El perfil de playa es producto, generalmente, del transporte transversal de sedimento y depende fundamentalmente del contenido energético del oleaje (Sánchez-Arcilla y Jiménez, 1994).

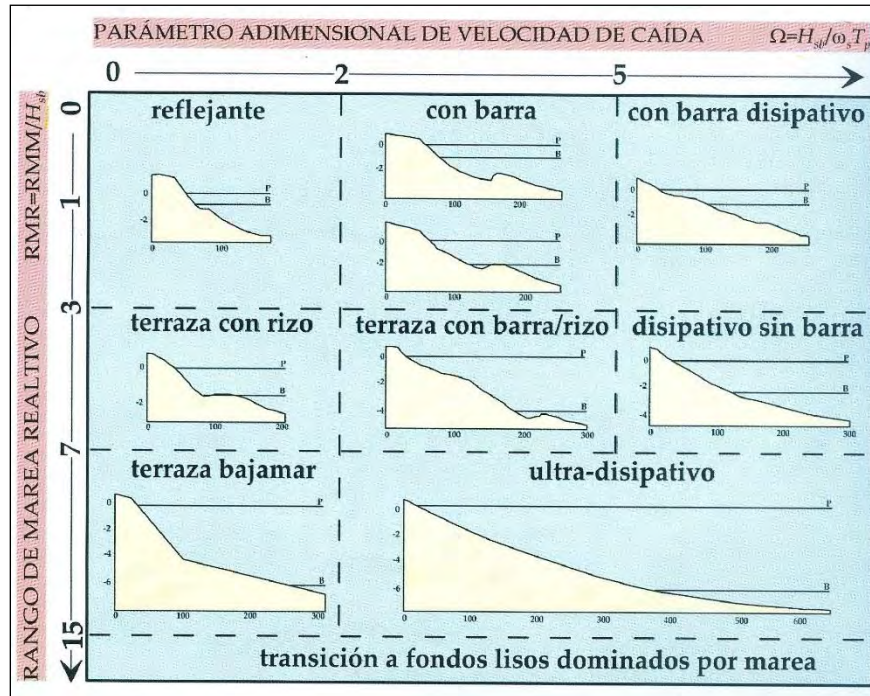


Figura 16. Clasificación de los perfiles por parámetros Masselink-Short (1993). Tomado de: https://www.jstor.org/stable/pdf/4298129.pdf?_=1470851902656

Por otra parte la dinámica de las playas también produce variaciones en la distribución granulométrica de los sedimentos que la conforman porque no todos los sedimentos responden ante una situación hidrodinámica de la misma forma. Es por ello que las playas cambian su forma en planta (ancha o estrecha) y perfil (reflejante o disipativo) a lo largo del tiempo (Medina *et al.* 1995).

Otro factor importante en el desarrollo de la geomorfología de la línea de costa es el comportamiento de las plantas con capacidad para construir y estabilizar las dunas (INECC, 2008). La presencia de vegetación reduce el transporte sedimentario debido a que 1) introduce mayor rugosidad en la superficie, disminuyendo el flujo del viento sobre la misma y 2) intercepta los granos en saltación y actúa como una superficie blanda que absorbe gran cantidad de energía, favoreciendo la sedimentación (Ley-Vega *et al.* 2007).

Vegetación en el sistema playa-duna frontal

Las plantas que crecen en las playas y dunas tienden a ocupar regiones específicas de acuerdo con sus patrones de crecimiento y tolerancia ambiental. Las plantas que se establecen en la zona de supraplaya se denominan pioneras, y son capaces de tolerar salinidad (halófitas), baja disponibilidad de nutrientes, vientos fuertes, inundaciones por agua de mar, altas temperaturas del suelo, y el enterramiento con arena. Pueden propagarse por reproducción vegetativa que consiste en una red de tallos rastreros, por lo que si una parte de la planta se desarraiga o entierra, otras partes pueden seguir

creciendo, sus raíces ayudan a anclar la arena, lo que permite el posterior desarrollo de dunas (Hill, 2001).

Más allá de la zona de pioneras las plantas están menos expuestas a los efectos de la dispersión salina y el agua de mar, aunque el movimiento de arena todavía puede ser intenso. Las plantas de esta zona son conocidas como psamófilas y por su capacidad de acumular arena alrededor de sus raíces, ramas y hojas, se les reconoce como constructoras de dunas. Tierra adentro el movimiento de arena disminuye y las condiciones ambientales son menos limitantes. Por ello, las comunidades vegetales que se desarrollan tierra adentro pueden ser mucho más diversas. De esta forma cuando las dunas se establecen y se mantienen estables en el tiempo, las plantas siguen creciendo y reproduciéndose, finalmente enriquecen el suelo arenoso con humus de hojarasca y plantas en descomposición. Como el humus se acumula, los suelos se vuelven más ricos y tienen más agua. Esto permite a otros tipos de vegetación echar raíces y comienza el proceso de sucesión por el cual las especies pioneras pueden ser sustituidas por arbustos y árboles (Hill, 2001). Topográficamente, el perfil típico de un sistema costero está conformado por la playa, las dunas frontales y, tierra adentro, por dunas semimóviles o estabilizadas (Figura 17; Martínez, 2009).

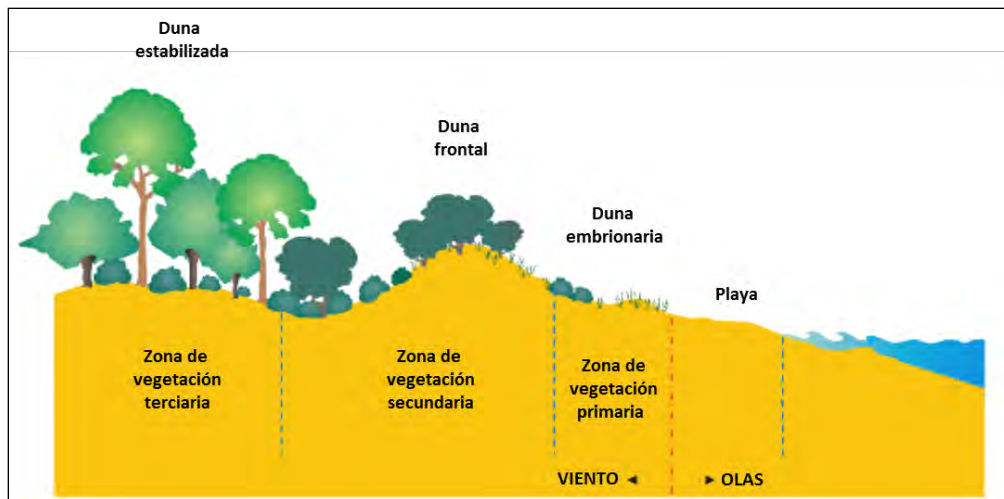


Figura 17. Perfil del sistema playa-duna. Tomado de: <http://blog.ltc.mq.edu.au/torihale/2015/03/17/restoring-coastal-sand-dunes/>

Grupos Funcionales de Plantas (GFP)

La teoría ecológica sugiere que la persistencia de unas especies, y la pérdida de otras en una comunidad, está en función de las restricciones ambientales y su capacidad para tolerar estas restricciones (Keddy, 1992). Algunas especies comparten estructuras y atributos funcionales independientemente de su historia evolutiva y filogenética, por lo que pueden reunirse en tipos o grupos funcionales (Gallego-Fernández y Martínez, 2011). Los grupos funcionales de plantas (GFP) pueden ser utilizados para interpretar y predecir el comportamiento de una comunidad así como el funcionamiento del ecosistema (Casanoves *et al.* 2011).

En el sistema playa-duna frontal las condiciones extremas debidas al oleaje y al enterramiento con arena, determinan la supervivencia de ciertas especies (Ley-Vega *et al.* 2007). Por ejemplo, la tolerancia a la salinidad y al enterramiento es un atributo que presentan las plantas de la zona de playa. De hecho, el crecimiento de algunas especies se estimula cuando son cubiertas con arena (Gallego-Fernández y Martínez, 2011).

Considerando estas características, Gallego-Fernández y Martínez (2011) caracterizaron la vegetación del sistema playa-duna frontal y asociaron la presencia de GFP con la dinámica sedimentaria del sistema playa-duna frontal a lo largo del Golfo de México. Las variables ambientales que evaluaron fueron aporte de arena, movilidad del sustrato, posibilidad de dispersión por corrientes oceánicas e inundación, en el Cuadro 2 se presentan las características y ejemplos de cada GFP.

Estos autores también concluyeron que la riqueza y la diversidad son significativamente más bajas en dunas costeras en acreción, donde el aporte de arena es favorable para la formación de dunas. Por lo tanto la tolerancia de las plantas al enterramiento es indispensable ya que es un disturbio recurrente. Las comunidades de playas con acreción están conformadas por una o dos especies dominantes y pocas especies acompañantes. Por el contrario, al decrecer el aporte de arena, disminuye la movilidad y aumenta la diversidad de especies porque disminuye la dominancia (Ley-Vega *et al.* 2007).

Una consecuencia de la transgresión de la línea de costa en la vegetación sería encontrar plantas propias de tierra adentro (Ritchie, 1993), lo que puede resultar en alta riqueza y diversidad funcional (Gallego-Fernández y Martínez, 2011).

Análisis de la opresión costera.-

El proceso de opresión costera se puede analizar considerando diferentes factores del proceso, por lo que en el presente trabajo se parte de los siguientes supuestos si hay opresión costera:

- a) Los sedimentos serán predominantemente gruesos, ya que los finos habrán sido transportados por el oleaje que avanzará tierra adentro por el incremento en el NMM.
- b) Habrá procesos de erosión y retroceso de la línea de costa.
- c) Las especies características de la playa y dunas estarán ausentes debido a la imposibilidad de migrar tierra adentro.
- d) Las especies características de ambientes más continentales estarán cercanas a la playa debido al retroceso de la línea de costa.
- e) El proceso de opresión costera será acentuado en las playas con presencia continua de infraestructura urbana en la zona paralela a la línea de costa.

Cuadro 2. Características de los GFP de acuerdo a Gallego-Fernández y Martínez 2011.

GFP	Características	Ejemplo de especies por GFP
1	Tolerantes a la salinidad y al enterramiento con arena. Abarca importantes especies constructoras de dunas también conocidas como pioneras.	<i>Ipomoea imperatii</i> <i>Sesuvium portulacastrum</i>
2	Tolerantes al enterramiento con arena pero no al suelo salino, se encuentran fuera de la influencia marítima y presentan reproducción vegetativa, se encuentran en dunas estables y móviles, incluye hierbas y dos arbustos endémicos	<i>Croton punctatus</i> <i>Chamaecrista chamaecristoides</i>
3	Especies herbáceas sin ningún rasgo de especialización para el ambiente playa-duna frontal, No toleran el enterramiento por arena	<i>Euphorbia torrida</i> <i>Macroptilium atropurpureum</i>
4	Especies herbáceas con reproducción vegetativa (sus rizomas no presentan adaptación al ambiente playa-duna frontal)	<i>Bidens pilosa</i> <i>Commelina erecta</i>
5	Especies arbustivas y arbóreas	<i>Crotolaria incana</i> <i>Randia laetevirens</i>

GFP= Grupo Funcional de Plantas

El objetivo de este trabajo, es:

Objetivo general

Desarrollar un índice sobre ocurrencia de opresión costera a través del estudio de la dinámica sedimentaria para la evaluación de los impactos en los cambios geomorfológicos y la vegetación del sistema playa-duna frontal en el Centro-Norte del Estado de Veracruz.

Objetivos particulares

- ✓ Obtener los parámetros texturales de los sedimentos del sistema playa-duna frontal para la determinación de la dinámica sedimentaria.
- ✓ Comparar imágenes satelitales de la línea de costa Centro-Norte para determinar la presencia de zonas urbanas como parte del proceso generador de opresión costera.
- ✓ Caracterizar la composición de la vegetación en el sistema playa-duna frontal, mediante la identificación de los grupos funcionales de plantas con el fin de asociar la erosión o acreción del sistema playa-duna con la vegetación presente.
- ✓ Integrar la información obtenida por medio de un índice que permita determinar la intensidad de opresión costera.

Área de Estudio

Localización

El área de estudio se ubica en la costa del estado de Veracruz y cubre la zona comprendida entre las siguientes coordenadas: 19°26'47" a 20°41'49" latitud Norte y de 96°19'13" a 97°11'34" Longitud Oeste, abarcando aproximadamente 200 Km de litoral (Figura 18). Inicialmente se consideraron 20 playas ubicadas aproximadamente cada 10 km. Sin embargo, durante el trabajo de campo efectuado del 5 al 9 de septiembre de 2014, no fue posible acceder a todas las localidades, por lo que se descartaron cuatro: Rancho la Playa y Boca de Lima (por no tener acceso vehicular), Playa Villa Rica por presentar litoral rocoso y ausencia de dunas frontales y Playa Muñecos cuyo único acceso peatonal presentaba un afluente de aguas negras. Las coordenadas geográficas y el ancho de las 16 playas que conforman el área de estudio se presentan en el Cuadro 3.

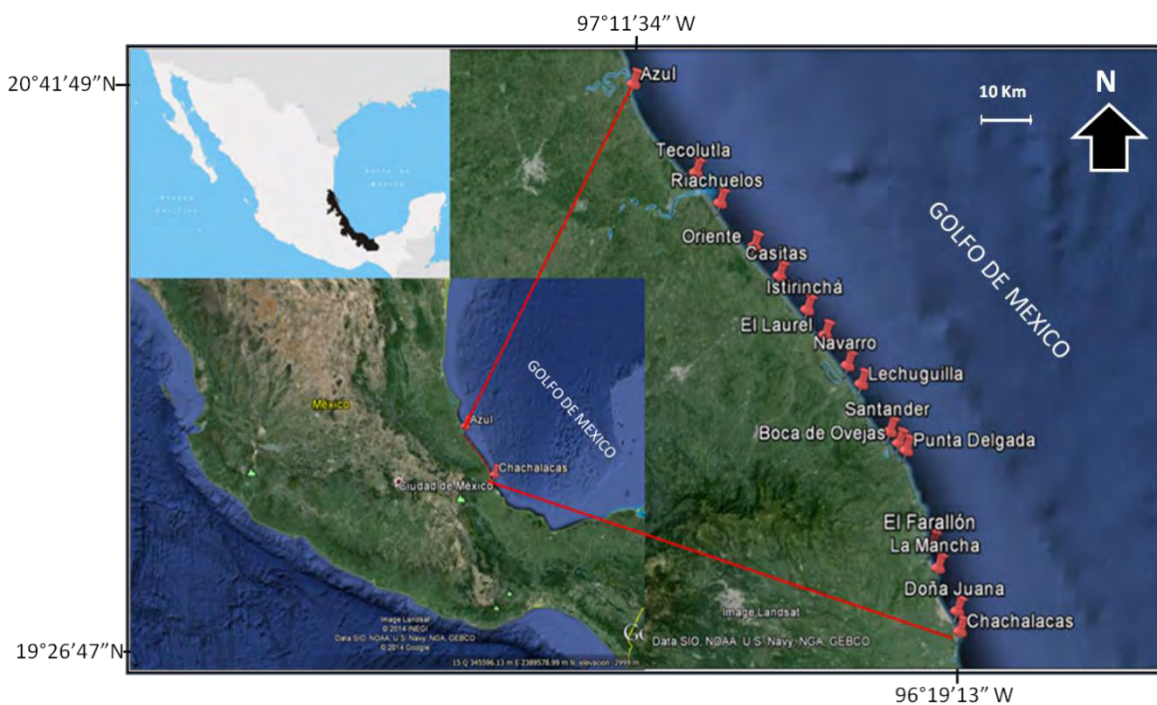


Figura 18. Mapa de localización de las playas que conforman el área de estudio.

Cuadro 3. Ubicación geográfica de las playas.

Playa	Latitud N	Longitud W	Ancho (m)
Azul	20°41'49"	97°11'34"	5.0
Tecolutla	20°29'39"	97°01'29"	29.0
Riachuelos	20°25'30"	96°57'36"	52..
Oriente	20°19'32"	96°52'07"	30.5
Casitas	20°15'32"	96°48'02"	24.0
Istirinchá	20°10'54"	96°43'36"	16.0
El Laurel	20°07'25"	96°40'43"	20.0
Navarro	20°03'17"	96°37'07"	27.0
Lechuguillas	20°00'44"	96°34'57"	34.0
Santander	19°54'13"	96°30'22"	8.0
Boca de Ovejas	19°52'37"	96°28'56"	10.0
Punta Delgada	19°51'38"	96°27'46"	26.0
El Farallón	19°38'28"	96°23'42"	82.5
La Mancha	19°35'31"	96°22'42"	118.0
Doña Juana	19°29'33"	96°19'37"	100.0
Chachalacas	19°26'47"	96°19'13"	26.0

Clima

Los climas que predominan en la Llanura Costera del Golfo de México en la zona Norte y Sur son cálido subhúmedo y cálido húmedo (Figura 19). La temperatura media anual es de 23°C, y la precipitación media estatal es de 1 500 mm anuales, las lluvias se presentan en verano en los meses de junio a octubre (INEGI, 2012).

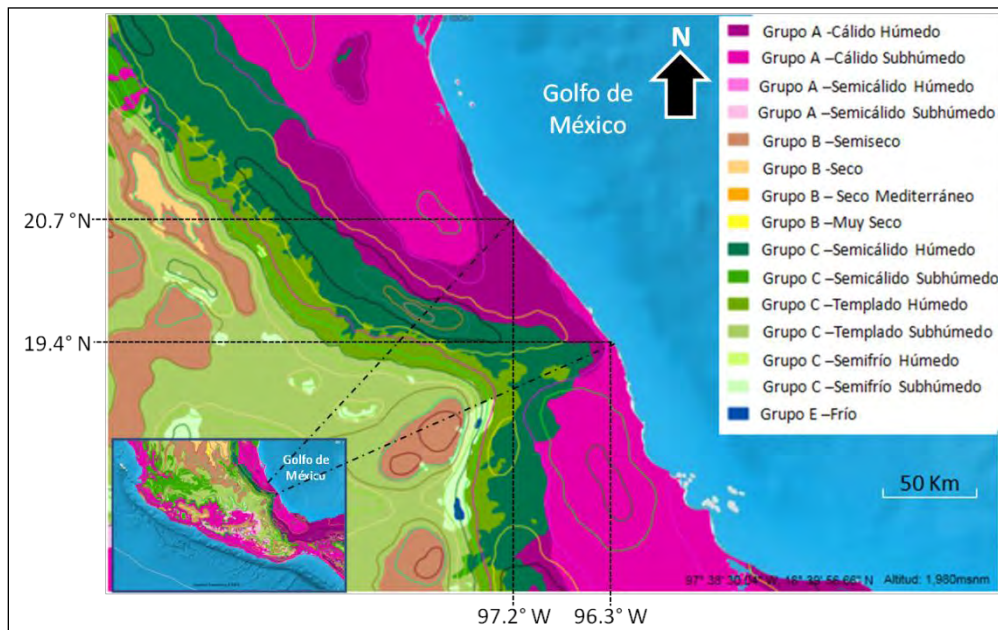


Figura 19. Clima en el área de estudio. Tomado de: <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF00JlwLjAyNDA2LGxvbjotOTguNDEwNDUsejo0LGw6YzQxMHxjNDE4>

Hidrografía

La red hidrográfica del estado de Veracruz está conformada por cientos de ríos perennes e intermitentes y arroyos, y se ha estimado que cuenta aproximadamente con el 30% del escurrimiento nacional (Hernández y Ramírez, 2014). Uno de los rasgos relevantes de las costas lo constituye el drenaje fluvial producto de la desembocadura de los ríos (Pérez *et al.* 2006). Los deltas se encuentran entre los depósitos más importantes que también suministran sedimentos a la línea de costa (Tarbuck y Lutgens, 2005). En la Figura 20 se muestran los principales ríos perennes de la zona de estudio. También existen ríos de menor orden que desembocan al mar como Riachuelos, Juchique y Santa Ana, además de desembocaduras de lagunas (Grande, Santander, El Farallón, La Mancha) y esteros (Lagartos, Flores Magón, Del Fuerte, entre otros).

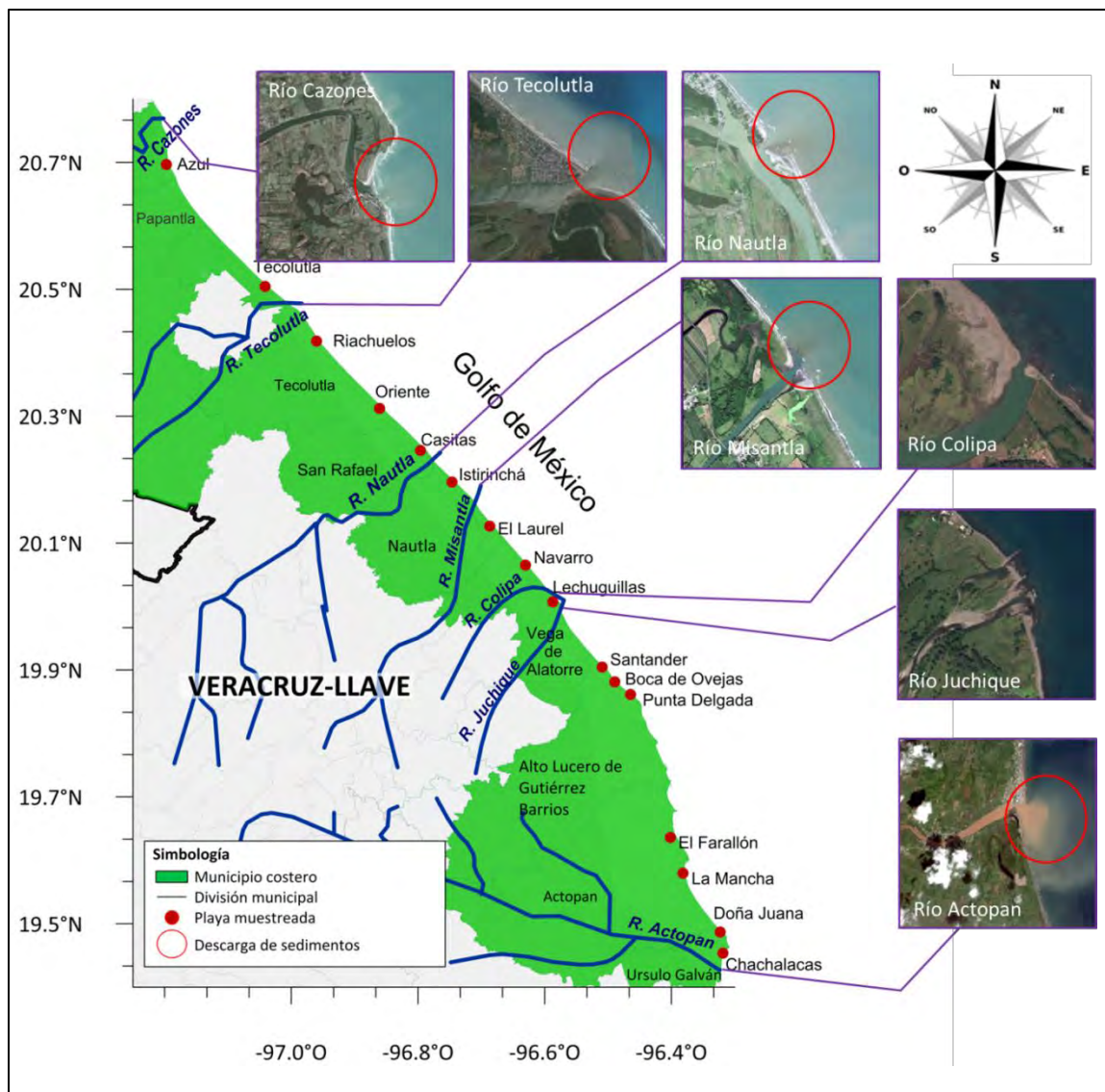


Figura 20. Sistema fluvial del área de estudio e imágenes de descarga fluvial de sedimentos al mar (Imágenes de Google Earth 9/29/2014).

El sistema fluvial del área de estudio está compuesto por 5 ríos perennes: Cazones, Tecolutla, Nautla, Misantla y Colipa, sus caudales se muestran en el Cuadro 4, son volúmenes relativamente bajos comparados con los ríos más importantes de Veracruz: Pánuco, 20330 hm³; Papaloapan, 44662 hm³ y Coatzacoalcos, 28093 hm³; (Estadísticas del Agua en México, 2011).

Cuadro 4. Volumen medio anual de escurrimiento natural desde su nacimiento hasta su desembocadura en el Golfo de México.

Río	Cp (hm ³)
Cazones	1711.530
Tecolutla	6094.537
Nautla	2216.724
Misantla	660.475
Colipa	319.967

Cp= Volumen medio anual de escurrimiento natural;
1 hm³ =1 000 000 m³

Tomado de: www.cofemermir.gob.mx/mir/.../16028.59.59.4.Golfonorte27GASIR.xls

Rango de marea

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. Los niveles de referencia de las estaciones mareográficas de Tuxpan y Veracruz se presentan en las Figuras 21 y 22, respectivamente. Esta información la proporcionó la SEMAR al Grupo de Costas y Puertos del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

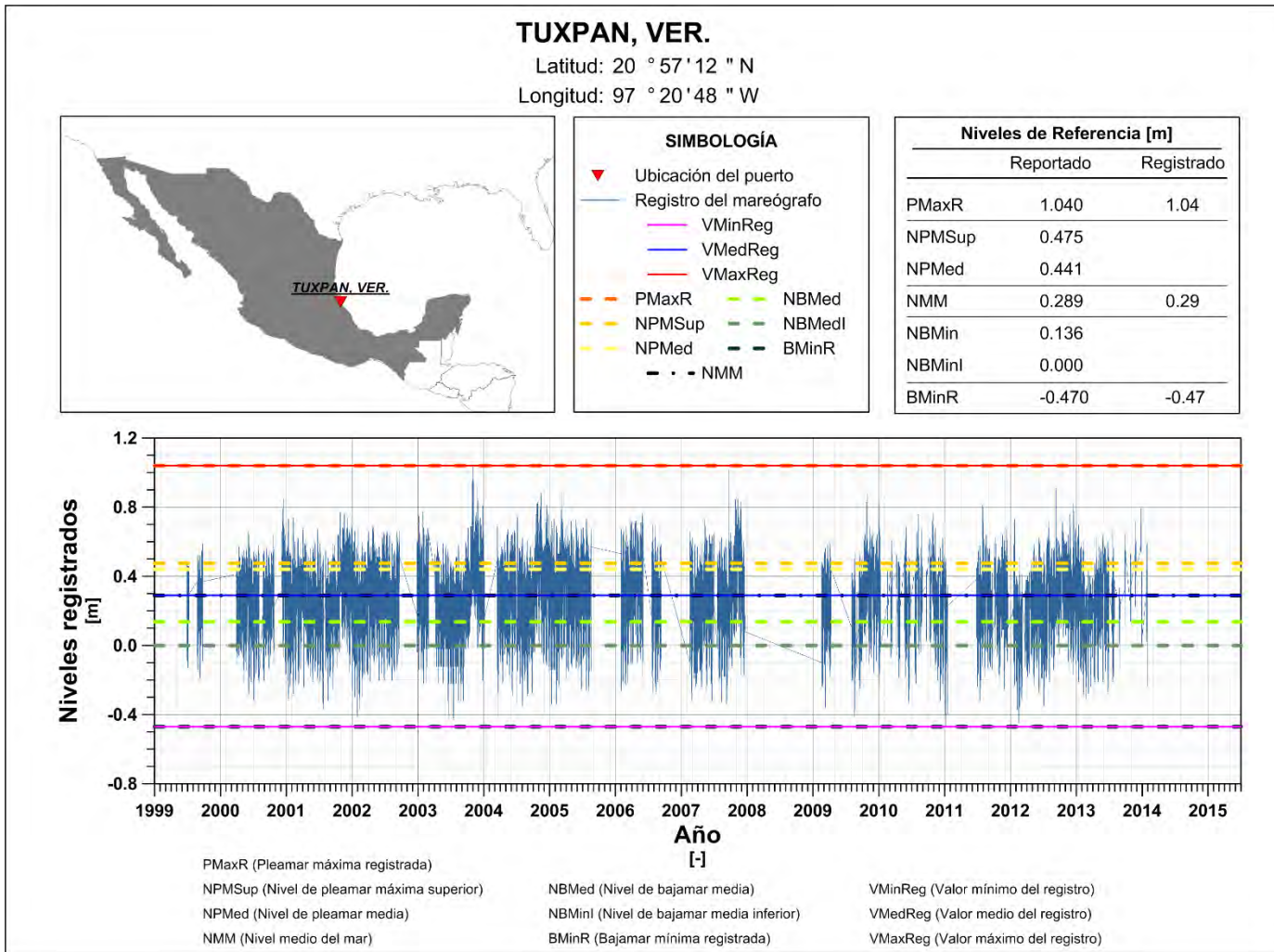


Figura 21. Niveles de referencia de la marea en la estación mareográfica de Tuxpan, Veracruz (Gráfica realizada por el Grupo de Costas y Puertos del II de la UNAM).

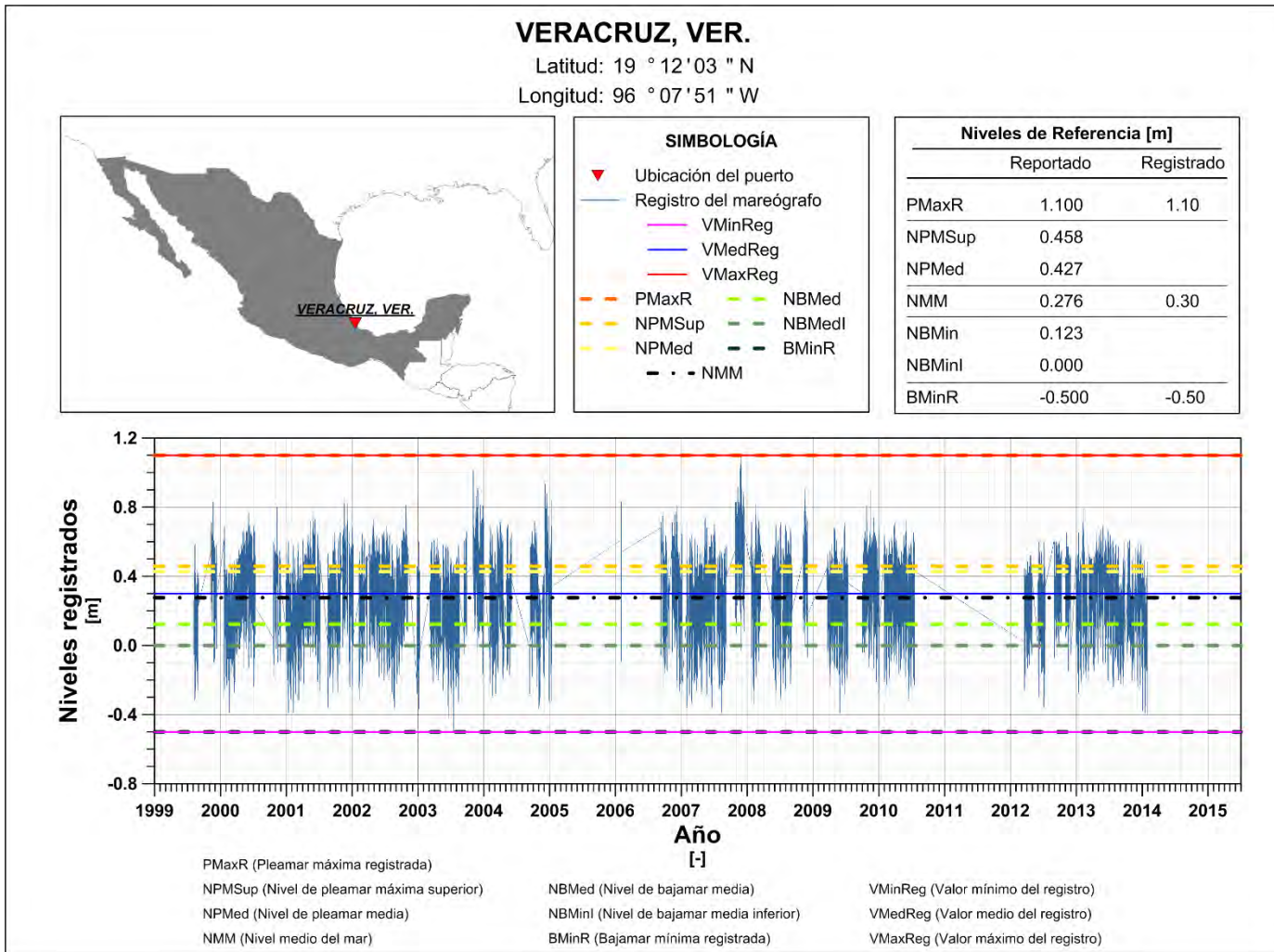


Figura 22. Niveles de referencia de la marea en la estación mareográfica de Veracruz, Veracruz (Gráfica realizada por el Grupo de Costas y Puertos del II de la UNAM).

Nivel Medio del Mar (NMM)

Para obtener el Nivel Medio del Mar del área de estudio se promediaron los datos horarios de marea de los mareógrafos más cercanos a la zona de estudio: al norte el de Tuxpan y al sur el de Veracruz, los valores se presentan en el Cuadro 5. (Figura 23).

Cuadro 5. Nivel Medio del Mar en la costa Centro-Norte del estado de Veracruz.

Año	Período (meses)		NMM	
	Tuxpan	Veracruz	Tuxpan	Veracruz
1999	May-Ago	Jul-Dic	0.274	0.287
2000	Feb-Dic	Ene-Dic	0.274	0.284
2001	Ene-Dic	Ene-Dic	0.284	0.291
2002	Ene-Dic	Ene-Dic	0.299	0.302
2003	Ene-Dic	Ene-Dic	0.282	0.296
2004	Ene-Dic	Ene-Dic	0.312	0.309
2006	Ene-Nov	Ene-Dic	0.323	0.329
2007	Ene-Nov	Ene-Dic	0.301	0.323
2009	Ene-Dic	Feb-Dic	0.290	0.303
2010	Ene-Dic	Ene-Jun	0.270	0.298
2012	Ene-Dic	Feb-Dic	0.278	0.276
2013	Ene-Dic	Ene-Dic	0.263	0.268

NMM=Nivel Medio del Mar. Datos proporcionados por la Secretaria de Marina Nacional al Grupo de Puertos y Costas del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

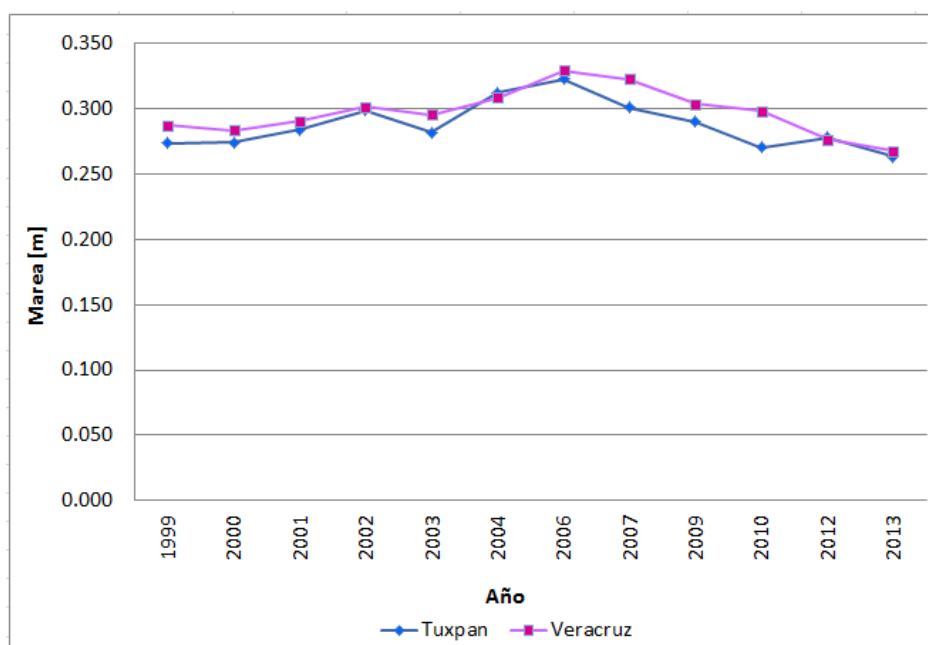


Figura 23. Variación del Nivel Medio del Mar en el área de estudio.

Viento

El viento es producto del movimiento de las masas de aire debido a las desigualdades en su densidad y es el principal generador del oleaje. Su efecto sobre las costas es permanente. Los elementos que lo caracterizan son la dirección, intensidad o velocidad con que sopla y la frecuencia en que presenta estas características durante un lapso de tiempo definido (Frias y Moreno, 1988).

Para determinar el viento en el área de estudio se utilizaron puntos de referencia denominados V1, V2, V3, V4, V5 y V6 (Figura 24). Los datos de dirección e intensidad del viento fueron proporcionados por el grupo de Costas y Puertos del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Este grupo de trabajo implementó un modelo híbrido de generación de oleaje presentado por Ruíz *et al.* (2009), a partir 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, 2002).

En el área de estudio la direccionalidad del viento es variable (Figura 24). Aparece con mínima frecuencia en los cuadrantes del SO, SSO y S (1-3%), aumenta de frecuencia en los cuadrantes SSE, SE y ESE (5-12%). Y muestra la mayor frecuencia en los cuadrantes E, ENE, NE, NNE y N (12-18%). La intensidad del viento esta equilibrada entre los rangos de 0.1-5 y 5-10 m/s. También se observa que la intensidad del viento es mayor en el N y disminuye hacia el S. Además, a lo largo del año el Golfo de México recibe el efecto de dos fenómenos meteorológicos: nortes (septiembre a abril) y los ciclones tropicales (junio a noviembre).

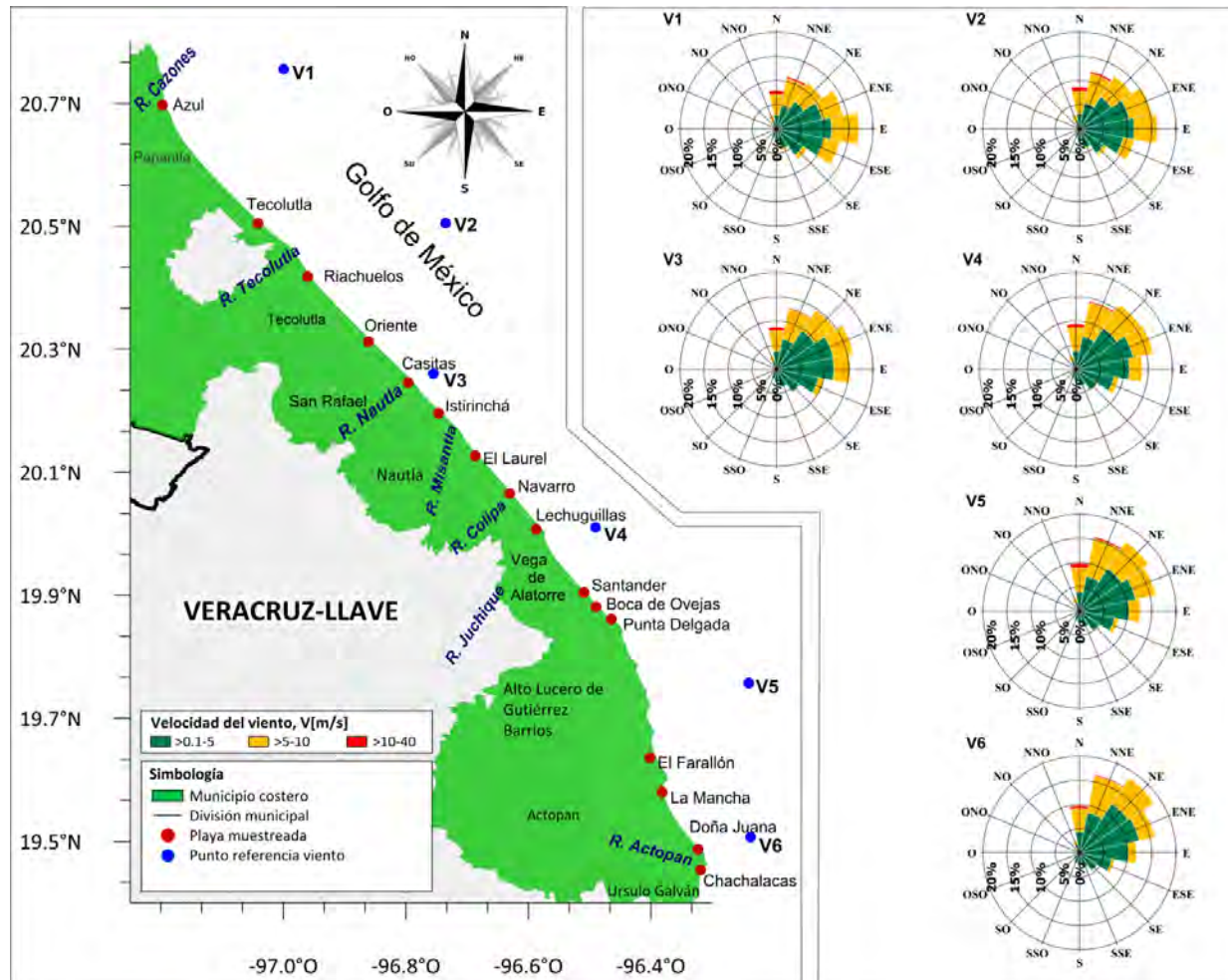


Figura 24. Dirección y velocidad del viento en los puntos de referencia V1, V2, V3, V4, V5 y V6 (Datos del grupo de Costas y Puertos, 1948-2010).

Oleaje y dirección del transporte litoral

Para determinar el oleaje en el área de estudio se obtuvieron datos del año 2014 de dirección, altura, y período de ola de la base histórica (at_10m) del National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), en 10 puntos denominados P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 y P10, que pertenecen al dominio del modelo de predicción retrospectiva WAVEWACH III.

La rosa de oleaje muestra la distribución direccional del oleaje asociada con la frecuencia de ocurrencia de olas de determinada altura. A partir de las rosas de los puntos de referencia (Figura 23), se observa que el oleaje dominante en el área de estudio proviene del ENE (40-50%), excepto en P1. Y con menor frecuencia del NE (16-30%) y NNE (12-20%). También se aprecia que existe poco oleaje proveniente del E.

La altura de ola significativa (media aritmética del tercio de olas más altas) está relacionada con la energía de la ola; 1m, muy baja; 2-2.5 m, baja; 3 m, media y 3.9 m muy alta (Thurman, 1990). El rango que prevalece en el área de estudio de altura de ola significativa es de 0.16 a 1.35 m por lo que la energía esta entre muy baja y baja energía.

Las direcciones del oleaje que gobiernan en el área de estudio son principalmente del ENE, NE y NNE, por lo cual se infiere que la dirección predominante del transporte litoral es de N a S (Figura 25).

Período del oleaje

A partir de las rosas del período pico del oleaje (período asociado a las olas más energéticas en un lapso de tiempo) se observa que el rango predominante va de 5 a 7 segundos (Figura 26). Se consideran períodos bajos a los menores de 9 s, por lo que las olas del área de estudio pertenecen a olas de baja intensidad.

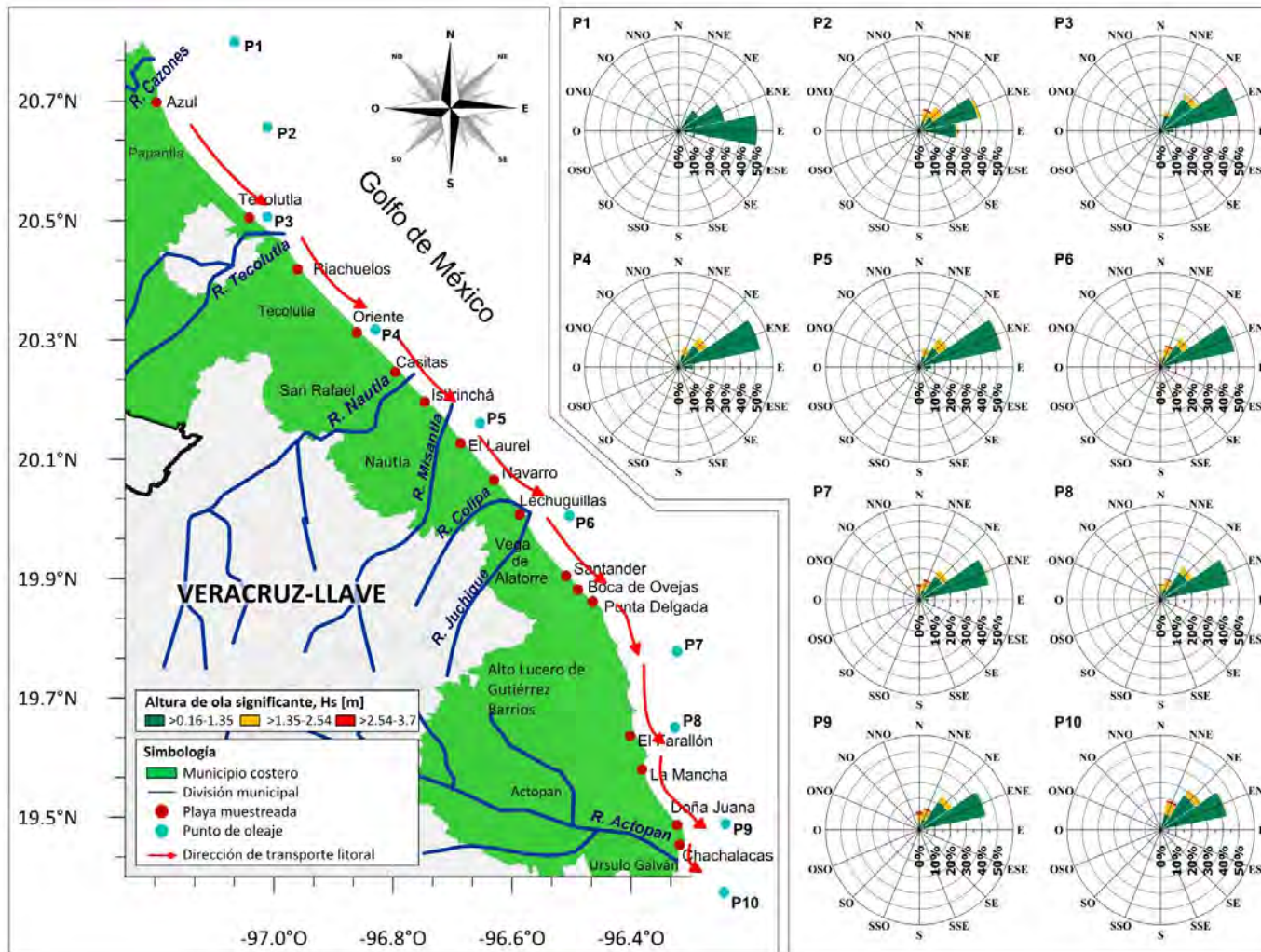


Figura 25. Dirección del transporte litoral en el área de estudio determinado a partir del oleaje anual en los puntos de referencia P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 y P10 (2014).

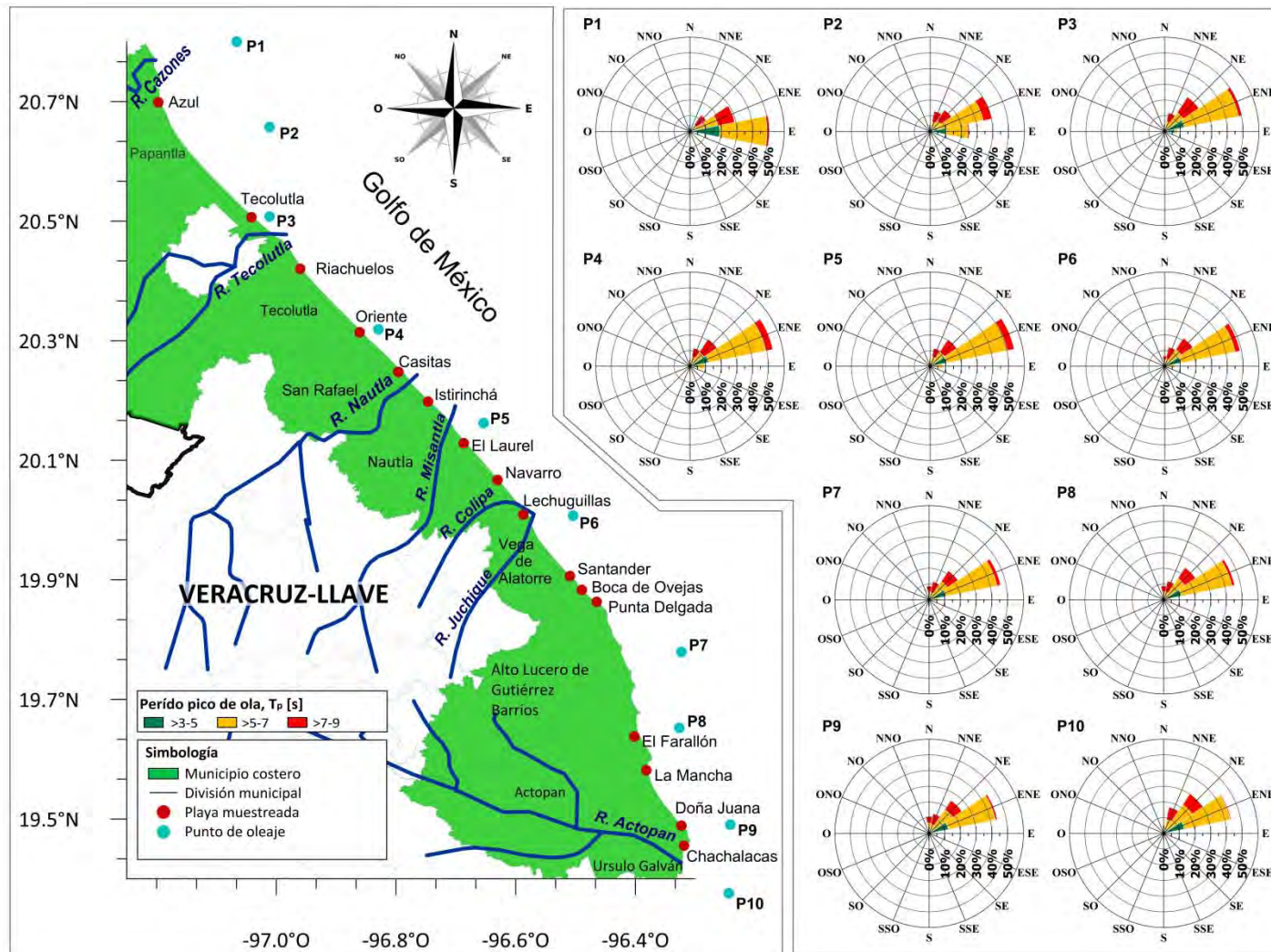


Figura 26. Rosas del período pico de las olas en el área de estudio, en los puntos de referencia P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 y P10 (2014).

Método

Primero se realizó un recorrido a pie en cada playa para elegir el transecto donde coleccionar las muestras de sedimentos, así como la caracterización del gradiente discontinuo de vegetación. Se consideró que en el transecto playa-duna frontal no presentara infraestructura permanente.

Sedimentos

Se coleccionaron seis muestras de sedimentos de los siguientes puntos perpendiculares a la línea de costa: Infraplaya, Mesoplaya, Supraplaya, Barlovento, Cima duna y Sotavento, (Figura 27). La colecta de cada muestra se realizó de manera superficial, usando un vaso de plástico rígido de 500 ml de capacidad. La muestra se vació en una bolsa de plástico hermética. Para el caso de las muestras obtenidas en la zona de rompiente y lavado fue necesario drenar el agua de la bolsa; posteriormente la muestra se identificó utilizando un plumón indeleble con nombre de la playa y ubicación a lo largo del transecto. Posteriormente la bolsa con muestra de sedimento se depositó en una caja de plástico para su traslado al Laboratorio de Costas y Puertos del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

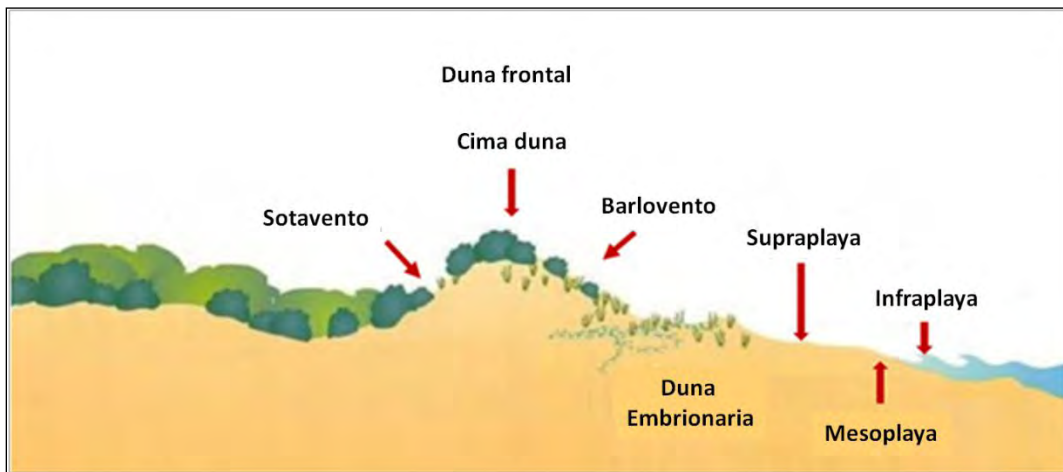


Figura 27. Puntos de muestreo de sedimento en el perfil del sistema playa-duna. Tomado de <http://imgbuddy.com/coastal-sand-dunes.asp>

En algunas playas no fue posible obtener muestras de sedimento en todos los puntos perpendiculares del transecto, específicamente en sotavento e infraplaya. En el primer caso, no se coleccionaron muestras cuando la cima de la duna se mantuvo con el mismo nivel, es decir, no presentó sotavento; y en la infraplaya cuando los sedimentos eran piedras (tamaño mayor a 4 cm) y no arena (Cuadro 6).

Cuadro 6. Obtención de muestra de sedimentos en los subambientes de playa y duna frontal.

Playa	Infraplaya	Mesoplaya	Supraplaya	Barlovento	Cima duna	Sotavento
Azul	X	X	X	X	X	—
Tecolutla	X	X	X	X	X	X
Riachuelos	X	X	X	X	X	X
Oriente	X	X	X	X	X	—
Casitas	X	X	X	X	X	X
Istirinchá	X	X	X	X	X	X
El laurel	X	X	X	X	X	X
Navarro	X	X	X	X	X	—
Lechuguillas	X	X	X	X	X	—
Santander	—	X	X	X	X	X
Boca de Ovejas	X	X	X	X	X	—
Punta Delgada	X	X	X	X	X	X
El Farallón	X	X	X	X	X	X
La Mancha	X	X	X	X	X	X
Doña Juana	X	X	X	X	X	X
Chachalacas	X	X	X	X	X	X

X=representan presencia de colecta; —=representan sin colecta de muestra

Pretratamiento de las muestras de sedimentos

Previo al análisis de las características físicas y granulometría de los sedimentos fue necesario retirar la humedad en la muestra de sedimentos (Anexo I).

Análisis de las características físicas de los sedimentos

Se realizó a través del CAMSIZER que es un equipo opto electrónico para medir y analizar tamaño, forma y propiedades de transparencia de sedimentos. Las características de redondez, esfericidad y factor de forma se obtienen de forma directa a través de su software que cuenta con archivos de referencia y kit de calibración.

Análisis granulométrico del sedimento

Para el análisis granulométrico también se utilizó el equipo CAMSIZER (Anexo II). Su análisis es compatible con la prueba de cribado. Pham y colaboradores (2011) extrapolaron la curva de la prueba de tamizado con la curva del análisis dinámico de imágenes, para las fracciones 10/12.5, 12.5/16 y 10/12.5 determinando una diferencia menor al 7%.

El software del CAMSIZER generó la curva de distribución granulométrica de la muestra de sedimentos analizada (Figura 28). El cálculo de los parámetros texturales conforme a Folk (1974), requirió convertir el tamaño del sedimento en mm a unidades ϕ (aplicando logaritmo base dos) y se graficó en papel probabilidad la curva de frecuencia acumulada (Figura 29).

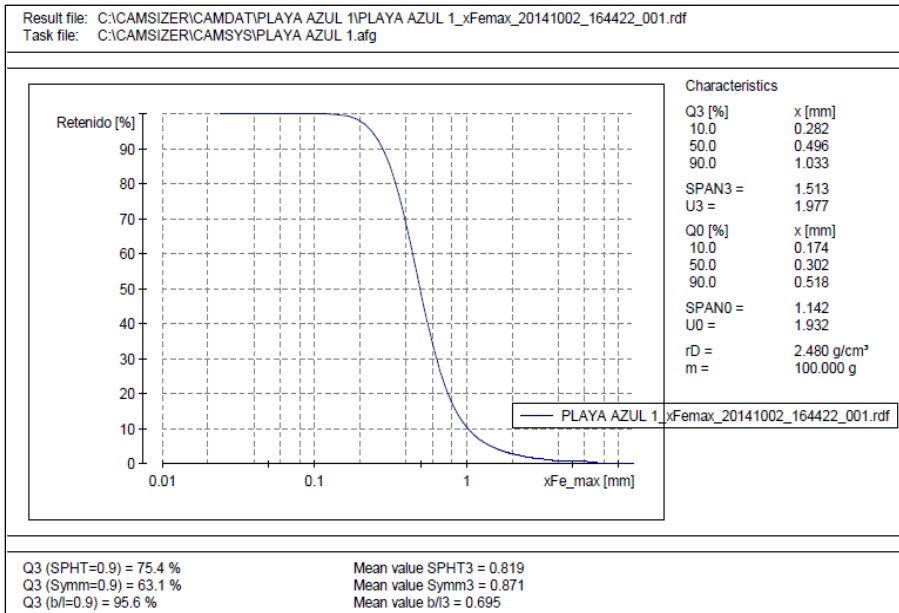


Figura 28. Curva de distribución granulométrica de sedimentos.

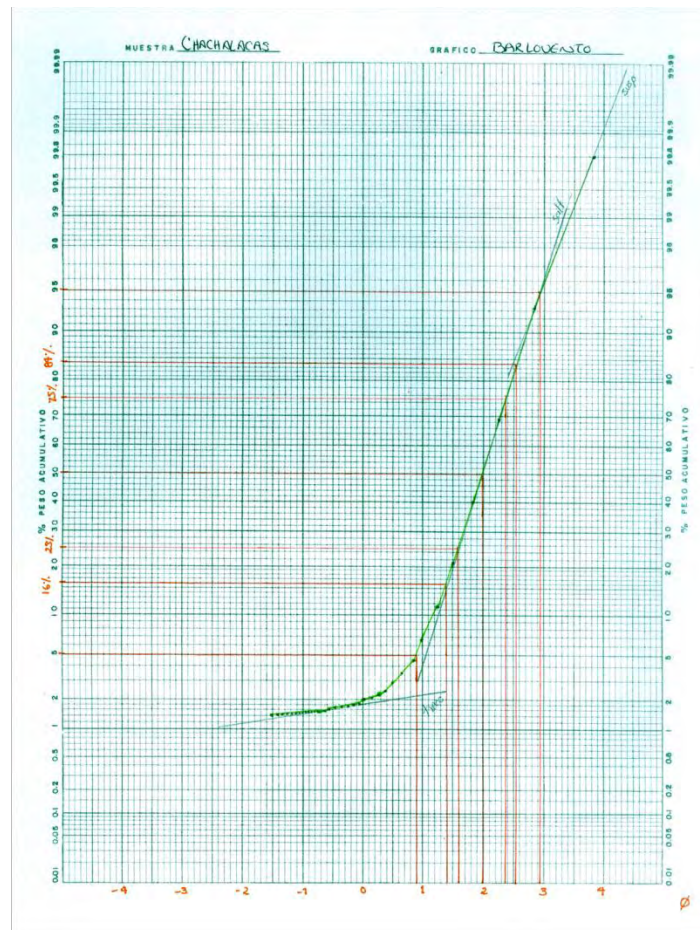


Figura 29. Curva de distribución granulométrica en papel probabilidad.

Análisis de datos obtenidos de la granulometría

Parámetros texturales (Folk, 1974)

Se utilizó el método estadístico de Folk (1974), para la obtención de los parámetros texturales, el cual considera el 90% de la distribución de la curva de frecuencia acumulada. Las fórmulas de obtención de los parámetros emplean diferentes porcentajes de la curva:

Tamaño gráfico promedio ($Mz\phi$)

$$Mz\phi = \frac{(\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84})}{3}$$

Desviación Estándar Gráfica Inclusiva ($\sigma_I \phi$)

$$\sigma_I = \frac{(\phi_{84} - \phi_{16})}{4} + \frac{(\phi_{95} - \phi_5)}{6.6}$$

Grado de asimetría gráfica inclusiva (SK_i)

$$SK_i = \frac{(\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50})}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{(\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50})}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

Curtosis

$$K_G = \frac{(\phi_{95} - \phi_5)}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})}$$

El límite de los valores de los parámetros texturales se presentan en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Límites de los parámetros texturales.

Parámetro textural	Categoría	Límites
Tamaño gráfico promedio	Arena muy gruesa	-1 ϕ a 0 ϕ
Mz ϕ	Arena gruesa	0 ϕ a 1 ϕ
	Arena media	1 ϕ a 2 ϕ
	Arena fina	2 ϕ a 3 ϕ
	Arena muy fina	3 ϕ a 4 ϕ
	Desviación estándar	Muy bien clasificado
$\sigma_1\phi$	Bien clasificado	0.35 ϕ a 0.50 ϕ
	Moderadamente bien clasificado	0.50 ϕ a 0.71 ϕ
	Moderadamente clasificado	0.71 ϕ a 1.00 ϕ
	Mal clasificado	1.00 ϕ a 2.00 ϕ
	Muy mal clasificado	2.00 ϕ a 4.00 ϕ
	Extremadamente mal clasificado	>4.00 ϕ
	Grado de asimetría	Muy asimétrico hacia finos
Asimétrico hacia finos		0.30 ϕ a 0.10 ϕ
Simétrico		0.10 ϕ a -0.10 ϕ
Asimétrico hacia gruesos		-0.10 ϕ a -0.30 ϕ
Muy asimétrico hacia gruesos		-0.30 ϕ a -1.00 ϕ
Curtosis	Muy platicúrtico	<0.67 ϕ
	Platicúrtico	0.67 ϕ a 0.90 ϕ
	Mesocúrtico	0.90 ϕ a 1.11 ϕ
	Leptocúrtico	1.11 ϕ a 1.50 ϕ
	Muy leptocúrtico	1.50 ϕ a 3.00 ϕ
	Extremadamente leptocúrtico	>3.00 ϕ
Folk, 1974		

Geomorfología, evolución de la línea de costa.

Los datos de evolución de la línea de costa fueron proporcionados por el grupo de Costas y Puertos del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Ellos compararon el cambio espacial de la línea de costa utilizando imágenes satelitales (LANSAT) de los años 1986, 1993, 2000, 2005, 2007, 2010, 2011, 2013 y 2015. En base a estos datos se analizó la tendencia de cada playa a un proceso de acreción, erosión o estabilidad.

Morfología del Perfil de playa

El parámetro Ω (omega) involucra la altura máxima de rotura de la ola (H_{sb}), la velocidad de sedimentación (ω_s) y el período pico de la ola Tp (Scott *et al.* 2011; Masselink-Short, 1993).

$$\Omega = H_{sb}/\omega_s Tp$$

Donde

H_{sb} = altura máxima de rotura

ω_s = velocidad de sedimentación y

Tp = período pico del oleaje

Altura máxima de rotura $H_{sb} = H_b$

$$H_b = \left(\frac{0.78}{g}\right)^{1/5} \left(\frac{Ho^2 Co \cos\theta}{2}\right)$$

Donde

g = aceleración gravitacional (9.81 m/s²)

Ho = altura energética de la ola

$$Ho = \sqrt{\frac{\sum H^2}{n}}$$

Donde

H = altura significativa de ola

n = número de datos

Co = celeridad de la ola

$$Co = \frac{L}{Tp}$$

Donde

L = longitud de onda

$$L = \frac{gT^2}{2\pi}$$

Donde

T = Período de la ola

θ = ángulo de propagación del oleaje

ω_s = Velocidad de sedimentación (Camenen, 2007)

$$\omega_s = \frac{v}{d} \left[\sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{A}{B}\right)^{2/m} + \left(\frac{4 d_*^3}{3 B}\right)^{1/m}} - \frac{1}{2} \left(\frac{A}{B}\right)^{1/m} \right]^m$$

Donde

v = es la viscosidad cinemática del fluido (agua, $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ a 20°C)

d = diámetro de la partícula (d_{50})

A , B y m varían de acuerdo a el material y el autor

$$d_* = \left(\frac{(s-1)g}{v^2} \right)^{1/3} d$$

Donde

s = densidad relativa de la partícula

$$s = \frac{\rho_s}{\rho_f}$$

ρ_s = densidad de la arena (cuarzo, 2650 Kg/m^3)

ρ_f = densidad del fluido (agua, 1000 Kg/m^3)

Cuadro 8. Coeficientes de calibración por autor (Camenen, 2007).

Autor	Material	A	B	m
Dallavalle (1948)	Partículas esféricas	24.0	0.40	2.0
Julien (1995)	Arena natural	24.0	1.50	1.0
Soulsby (1997)	Arena natural	26.4	1.27	1.0
Cheng (1997)	Arena natural	32.0	1.00	1.5

Nota: Para los cálculos se utilizaron los valores de Cheng.

Rango de Marea Relativo

$$RMR = \frac{RMM}{H_{sb}}$$

Donde

RMM es el Rango de Marea Medio y

H_{sb} = altura máxima de rotura

Distribución granulométrica de los sedimentos en el perfil de playa

La dirección del gradiente energético de las playas se determina mediante una gráfica de distribución granulométrica del transecto playa-duna frontal. El tamaño promedio del sedimento (d_{50}) se refirió al sedimento más grueso del área de estudio (d_{50max}).

$$d_{50}(adimensional) = \frac{d_{50}}{d_{50max}}$$

Donde

d_{50} = tamaño que representa al 50% de la muestra en porcentaje peso.

d_{50max} = tamaño del sedimento más grueso del área de estudio.

Distribución de Infraestructura en la zona paralela a la línea de costa

La presencia de infraestructura en la zona inmediata a la línea de costa altera la dinámica sedimentaria. Para el proceso de opresión costera es aún más importante la distribución de la infraestructura a lo largo de la zona paralela a la línea de costa. Mediante imagen satelital de las playas se clasificaran en:

1. Playa sin/o escasa presencia de viviendas en la zona paralela a la línea de costa. O bien con una localidad cercana -hacia tierra adentro-. No interfieren con la dinámica sedimentaria.
2. Playa con presencia de viviendas espaciadas en la zona paralela a la línea de costa que podrían interferir la dinámica sedimentaria.
3. Playa con presencia de viviendas continuas en la zona paralela a la línea de costa, con posible afectación de la dinámica sedimentaria.

Vegetación

Previo a la salida de campo se realizó una revisión bibliográfica de la vegetación de dunas del Golfo de México utilizando: El diagnóstico de dunas costeras de México; la base de datos de la CONABIO (ficha informativa) y el documento "Native Plants for Coastal Dune Restoration. What, When and How for Florida" debido a que compartimos algunas especies. En campo se contó con la experiencia en comunidades de plantas de dunas costeras de la Dra. Ma. Luisa Martínez Vázquez.

La caracterización se realizó mediante cuadros de 2 X 2 m, tamaño adecuado para el muestreo de la vegetación herbácea, para lo cual fue necesario distribuir cuadros de forma alterna a la largo del transecto y con orientación perpendicular a la línea de costa. El muestreo de la vegetación abarcó desde la zona donde se encuentran las primeras dunas embrionarias hasta el primer cordón de duna estabilizada. Se muestran imágenes de algunos transectos en la Figura 30.

En campo no se lograron identificar dos ejemplares, los cuales se recolectaron en una prensa y se identificaron con el nombre de playa a la que pertenecían, para posteriormente ser cotejados con los herbarios MEXU y XAL.

Análisis de datos obtenidos de la vegetación del sistema playa-duna frontal

Índice de diversidad de Shannon-Weaver

El índice de diversidad de Shannon-Weaver refleja la heterogeneidad de una comunidad. De acuerdo a Poole (1974) uno de los méritos de la función de Shannon-Weaver resulta de su independencia respecto al tamaño de la muestra, ya que estima la diversidad con base a una muestra extraída al azar, y que presumiblemente contiene todas las especies de la comunidad.

$$H' = - \sum_{n=1}^S P_i \ln P_i$$

Donde

H' = índice de diversidad de Shannon-Weaver

P_i = abundancia proporcional de la especie i

S = número de especies

De forma similar se obtendrá el índice de diversidad para los Grupos Funcionales de Plantas.

Transecto perpendicular	Vista horizontal
 <p>El Farallón</p>	 <p>El Farallón</p>
 <p>Lechuguillas</p>	 <p>Lechuguillas</p>
 <p>Casitas</p>	 <p>Casitas</p>
 <p>2 m X 2 m</p> <p>Punta delgada</p>	 <p>Punta Delgada</p>
<p>Método de cuadros</p>	

Figura 30. Caracterización de vegetación de duna.

Riqueza

La riqueza es el número de especies en una comunidad.

Importancia Relativa

La importancia relativa (*IR*) muestra la dominancia de especies.

$$IR = \frac{Pi + Fr}{2}$$

Donde

Pi= abundancia proporcional de la especie *i*

Fr=frecuencia relativa

$$Fr = \frac{Fi}{\sum_{n=1}^S Fi}$$

Fi= frecuencia de la especies

S= número de especies

Jerarquía de especies

Se ordena el valor de la importancia relativa de mayor a menor, se construye una gráfica de vara donde el valor mayor corresponde a la especie dominante.

Agrupación de playas por porcentaje de cobertura de los GFP

Las plantas del sistema playa-duna frontal están adaptadas a condiciones ambientales restrictivas como poca disposición de nutrientes, salinidad y movilidad del sustrato. Por esta razón su presencia/ausencia indica qué tan alterada podría estar una playa. Se agrupan las pantas propias del sistema playa-duna frontal (GFP 1 y 2) y aquellas que no lo son (GFP 3, 4 y 5) mediante el porcentaje de cobertura de la siguiente forma:

1. 75% < Porcentaje de cobertura de los GFP 1 y 2 < 100%
2. 25% < Porcentaje de cobertura de los GFP 3, 4 y 5 comienza a cobrar importancia < 50%
3. Porcentaje de cobertura los GFP 3, 4 y 5 > Porcentaje de cobertura de los GFP 1 y 2

Integración del índice de riesgo de ocurrencia de opresión costera.

Para obtener el índice de riesgo de ocurrencia de opresión costera primero se asignará una categoría a las variables consideradas conforme a las características de cada playa a evaluar, Cuadro 9

Cuadro 9. Ponderación de los factores que inciden en el riesgo de ocurrencia de opresión costera.

Factor	Variable	Sin O.C.	En vías de O.C.	Con O.C.
Geomorfología de la costa	Evolución de línea de costa	Costa regresiva La línea de costa se ha desplazado hacia el mar 1	Costa estable No hay cambio espacial de la línea de costa 2	Costa transgresiva La línea de costa se ha desplazado hacia el continente 3
	Distribución de infraestructura en la zona paralela a la línea de costa	Playa sin/o escasa presencia de viviendas en la zona paralela a la línea de costa. O bien con una localidad cercana –hacia tierra dentro- No interfieren con la dinámica sedimentaria 1	Playa con presencia de viviendas espaciadas en la zona paralela a la línea de costa que podrían interferir la dinámica sedimentaria 2	Playa con presencia de viviendas continuas en la zona paralela a la línea de costa, con posible afectación de la dinámica sedimentaria 3
Sedimento	Distribución granulométrica de los sedimentos en el sistema playa-duna frontal	El sedimento más grueso se localizó en infraplaya y disminuyo de tamaño hacia tierra adentro 1	El sedimento más grueso se localizó en mesoplaya y disminuyo de tamaño en ambas direcciones, hacia el mar y también hacia tierra adentro 2	El sedimento más grueso se localizó en playa seca y disminuyo hacia el mar 3
	Morfología del perfil de playa	Con barra disipativo 1	Terraza con barra 2	Perfil reflejante 3
Vegetación	% cobertura de GFP	75% < Porcentaje de cobertura del GFP 1 y 2 < 100% 1	25< Porcentaje de cobertura de GFP 3, 4 y 5 < 50% 2	Porcentaje de cobertura de los GFP 3, 4 y 5 > Porcentaje de cobertura de los GFP 1 y 2 3

O.C.=Opresión Costera; **1**=Sin propensión de O.C. **2**=Favorece la propensión de O.C. y **3**= Propicia la O.C

Se realizará la ponderación de los factores considerados en la opresión costera usando diferentes valores para los coeficientes de la siguiente ecuación hasta que se ajuste a las condiciones de las playas evaluadas.

$$O.C = (A)Evolución\ línea\ de\ costa + (B)Morfología\ perfil\ de\ playa + (C)Distribución\ granulométrica\ sed. + (D)Distribución\ infraestructura + (E)Vegetación$$

Los coeficientes **A**, **B**, **C**, **D** y **E** representan la importancia de las variables involucradas en el riesgo de ocurrencia de opresión costera.

El valor de la categoría se multiplicará por la ponderación obtenida para cada factor considerado en el proceso, Cuadro 10.

Cuadro 10. Producto de la categoría por el coeficiente de los factores considerados en la integración del índice de riesgo de ocurrencia de opresión costera.

Variable	Sin O.C.	En vías de O.C.	Con O.C.
Evolución de línea de costa	Costa regresiva La línea de costa se ha desplazado hacia el mar 1 (A)	Costa estable No hay cambio espacial de la línea de costa 2 (A)	Costa transgresiva La línea de costa se ha desplazado hacia el continente 3 (A)
Morfología del perfil de playa	Con barra disipativo 1 (B)	Terraza con barra 2 (B)	Perfil reflejante 3 (B)
Distribución granulométrica de los sedimentos en el sistema playa-duna frontal	El sedimento más grueso se localizó en infraplaya y disminuyo de tamaño hacia tierra adentro 1 (C)	El sedimento más grueso se localizó en mesoplaya y disminuyo de tamaño en ambas direcciones, hacia el mar y también hacia tierra adentro 2 (C)	El sedimento más grueso se localizó en playa seca y disminuyo hacia el mar 3 (C)
Distribución de infraestructura en la zona paralela a la línea de costa	Playa sin/o escasa presencia de viviendas en la zona paralela a la línea de costa. O bien con una localidad cercana –hacia tierra dentro- No interfieren con la dinámica sedimentaria 1 (D)	Playa con presencia de viviendas espaciadas en la zona paralela a la línea de costa que podrían interferir la dinámica sedimentaria 2 (D)	Playa con presencia de viviendas continuas en la zona paralela a la línea de costa, con posible afectación de la dinámica sedimentaria 3 (D)
% cobertura de GFP	75% < Porcentaje de cobertura del GFP 1 y 2 < 100% 1 (E)	25 < Porcentaje de cobertura de GFP 3, 4 y 5 < 50% 2 (E)	Porcentaje de cobertura de los GFP 3, 4 y 5 > Porcentaje de cobertura de los GFP 1 y 2 3 (E)

Una vez obtenidos los productos (multiplicación de la categoría por el coeficiente), se realizara la sumatoria conforme la ecuación que integra los factores involucrados en el proceso de opresión costera. Una vez obtenida la sumatoria, con los valores mínimos y máximos obtenidos, se realizará un ajuste lineal para determinar los rangos del nivel de ocurrencia de opresión costera.

$$O.C = (A)(1, 2 \text{ o } 3) + (B)(1, 2 \text{ o } 3) + (C)(1, 2 \text{ o } 3) + (D)(1, 2 \text{ o } 3) + (E)(1, 2 \text{ o } 3) = \text{Sumatoria}$$

Una vez obtenidos estos rangos se etiquetará a la playa con su respectivo nivel de riesgo de opresión costera.

Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos para las características físicas y parámetros texturales de los sedimentos, la evolución de la línea de costa, la morfología del perfil de playa, la distribución granulométrica de los sedimentos, la distribución de infraestructura, la vegetación (riqueza de especies, diversidad de especies, importancia relativa, GFP, y diversidad de los GFP) del área de estudio, y la integración de esta información para obtener el índice de ocurrencia de opresión costera.

Sedimentos

Características físicas

Redondez y Esfericidad

En general se observa que los sedimentos de la duna tienden a ser más redondos y esféricos que los de la playa (Figura 31). De las 47 muestras colectadas en las playas, 45 presentaron valores de redondez entre 0.86 y 0.90 (Anexo III), estos valores se relacionan con sedimentos muy redondeados. Generalmente los sedimentos con gran redondez indican grandes distancias de transporte, lo cual sugiere que el principal proveedor de sedimentos en las playas podrían ser los ríos que desembocan en el área de estudio. Por otra parte los sedimentos angulosos se relacionan a una fuente cercana, en la mesoplaya de Playa Azul y Playa La Mancha se encontraron sedimentos angulosos, ambas playas presentan un promontorio rocoso en el norte (Figura 32), y como la dirección del transporte litoral es de norte a sur, este tipo de sedimento anguloso podría ser transportado hasta ellas. En contraste, los sedimentos con mayor redondez, se encontraron en la Infraplaya de playa Doña Juana, siendo la única en presentar una orientación del NE hacia el SO. La orientación del resto de las playas fue de NO a SE. Por otro lado las 43 muestras del ambiente Duna presentaron valores de redondez entre 0.87 y 0.89 (Anexo IV). Los sedimentos de la duna los provee la playa, cuando la arena está seca el viento la levanta y al caer rebota provocando que otros granos entren en saltación. Al chocar las partículas se van desgastando y por ello los sedimentos que conforman la duna presentan mayor redondez que aquéllos que conforman la playa.

Los valores de esfericidad de los sedimentos cercanos a la unidad corresponden a sedimentos muy esféricos. De las 47 muestras del ambiente Playa, 46 presentaron sedimentos predominantemente esféricos con valores entre 0.81 y 0.88 (Anexo III), con excepción de mesoplaya de Playa Azul con un valor de 0.68. En contraste en Playa Doña Juana los sedimentos de infraplaya fueron los más esféricos con un valor de 0.88. En el ambiente Duna 41 de las 43 muestras presentaron también sedimentos predominantemente esféricos con valores entre 0.85 y 0.87 (Anexo IV). Con dos excepciones, una en cima duna de Playa Santander con un valor de 0.82 y otra en cima duna de Playa Casitas con un valor de 0.83. Cabe destacar que la esfericidad de los sedimentos responde principalmente a su composición y no tanto al desgaste por transporte.

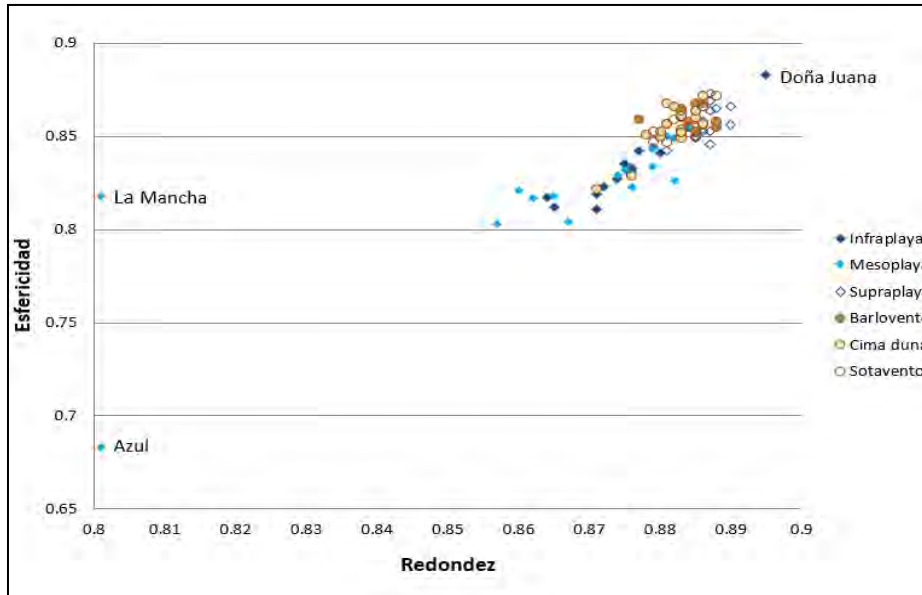


Figura 31. Se observa que los sedimentos de las dunas tienden a presentar mayor redondez y esfericidad que los de las playas.



Figura 32. Promontorios rocosos ubicados al norte de playa Azul y playa La Mancha.

Para corroborar la redondez de los sedimentos obtenida mediante el equipo CAMSIZER, se tomaron fotografías de los sedimentos de la mesoplaya a través de microscopio estereoscópico marca VELAB modelo VE-S5C, Figura 33. Se eligió la mesoplaya debido a que fue la zona donde se presentaron los valores mínimos tanto de redondez como de esfericidad. De esta forma se confirmó que los sedimentos Playa Azul y La Mancha fueron los más angulosos.

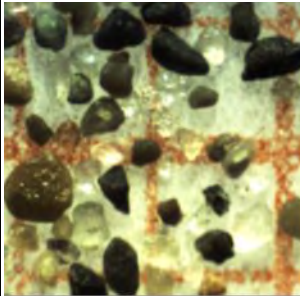
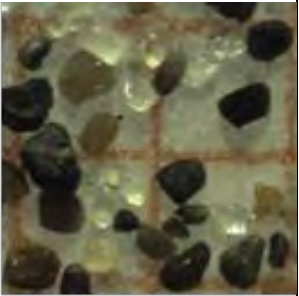
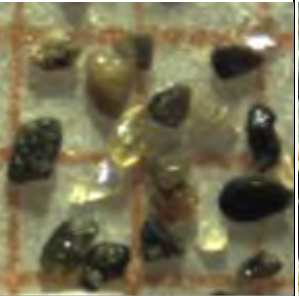
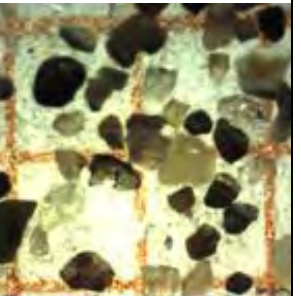

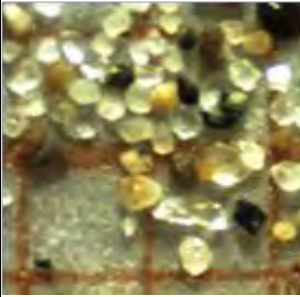
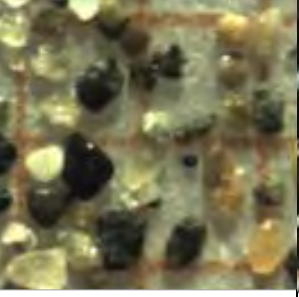
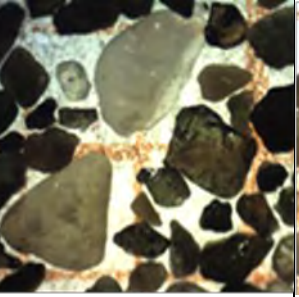
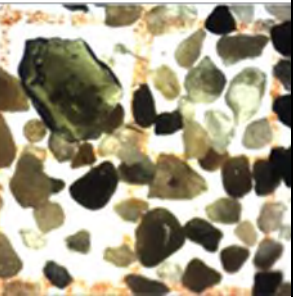
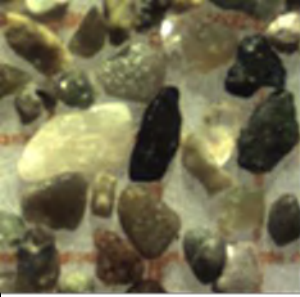
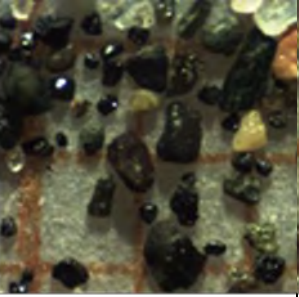
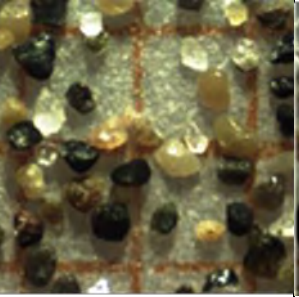
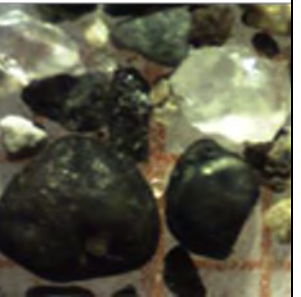

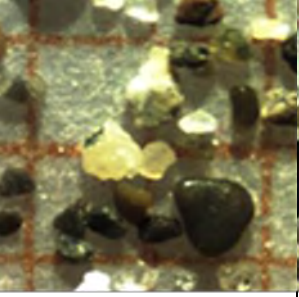
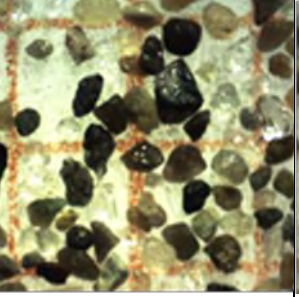
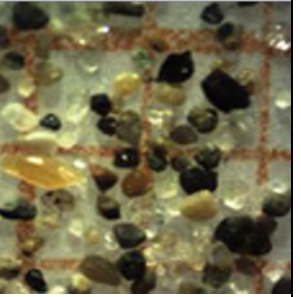
			
Azul			
	Casitas	Lechuguillas	El Farallón
			
Tecolutla	Istirinchá	Santander	La Mancha
			
Riachuelos	El Laurel	Boca de Ovejas	Doña Juana
			
Oriente	Navarro	Punta Delgada	Chachalacas

Figura 33. Fotografía del Sedimento de Mesoplaya (Microscopio estereoscópico, VELAB VE-S5C)

Forma

En cuanto a la forma de los sedimentos tanto de la playa como el de duna. En general se trata de partículas predominantemente redondeadas que tienden a ser esféricas. Relacionando los valores de redondez (0.8 -0.9) y esfericidad (0.82 a 0.87) se obtuvo la forma de los sedimentos del área de estudio (extremo superior derecho de la Figura 34).

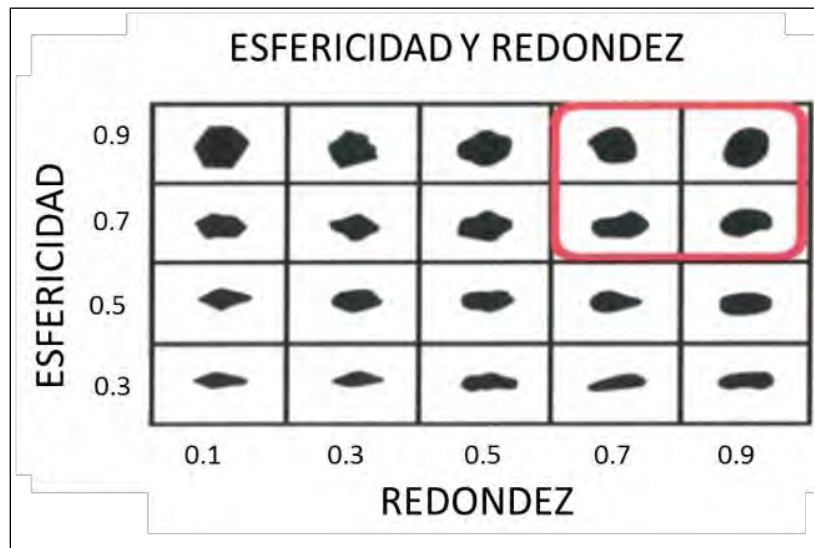


Figura 34. Forma de los sedimentos conforme su redondez y esfericidad. Tomado de: <http://www.ampmineral.com/cu/fracturacion-hidraulica/ARENAS-FRACTURACION-HIDRAULICA.php>

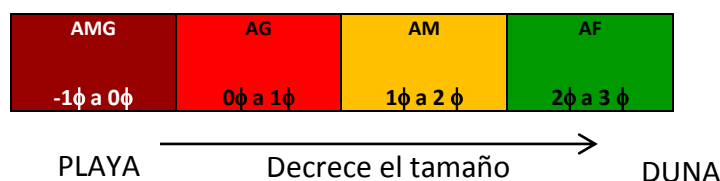
Parámetros texturales

Tamaño

En los sedimentos del área de estudio las fracciones más finas correspondieron a las dunas y las fracciones más gruesas a las playas. En las playas la tendencia fue arena gruesa en Infraplaya, y arena media en mesoplaya y supraplaya; la excepción a esta tendencia fue Playa Azul con arena gruesa en los tres subambiente (infraplaya, mesoplaya y supraplaya), Cuadro 11. Por otra parte en los subambiente de la duna (barlovento, cima duna, y sotavento) predominó la arena media (93 %). Sólo cima duna de Playa Azul y Playa Tecolutla; así como el sotavento de Playa El Farallón mostraron arena fina.

Cuadro 11. Categoría del sedimento por Tamaño (Folk, 1974), utilizando una escala de colores para facilidad de interpretación.

AMG=Arena Muy Gruesa; AG=Arena Gruesa; AM=Arena Media; AF=Arena Fina



Playa	PLAYA			DUNA		
	Infraplaya	Mesoplaya	Supraplaya	Barlovento	Cima Duna	Sotavento
Azul	0.98	0.77	0.60	1.92	2.04	—
Tecolutla	1.90	1.68	1.90	1.90	2.01	1.88
Riachuelos	0.84	0.97	1.42	1.80	1.93	1.96
Oriente	1.07	1.07	1.80	1.90	1.78	—
Casitas	1.39	1.46	1.73	1.87	1.92	1.88
Istirinchá	1.47	1.57	1.37	1.40	1.77	1.40
El Laurel	0.99	1.10	0.88	1.50	1.33	1.68
Navarro	0.87	1.03	1.65	1.89	1.72	—
Lechuguillas	0.82	1.13	1.55	1.49	1.84	—
Santander	—	0.78	1.43	1.50	1.44	1.61
Boca de Ovejas	1.13	1.53	1.63	1.54	1.53	—
Punta Delgada	1.37	1.49	1.81	1.81	1.93	1.91
El Farallón	0.47	1.43	1.52	1.98	1.90	2.47
La Mancha	1.01	1.46	1.72	1.72	1.81	1.74
Doña Juana	-1.00	0.47	1.31	1.06	0.54	1.20
Chachalacas	0.54	1.75	1.55	1.97	1.99	1.74

— Sin muestra

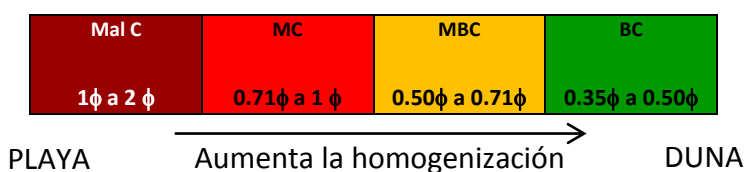
Clasificación

En el área de estudio los sedimentos de la duna se encontraron mejor clasificados que los sedimentos de la playa. En la playa los sedimentos de mesoplaya y supraplaya mostraron mejor clasificación que los de infraplaya. Sólo 2 playas no presentaron ésta tendencia: Doña Juana y Chachalacas, Cuadro 12. Por otra parte en los sedimentos de la duna predominó la categoría de Bien Clasificado (70 %) sobre Moderadamente Bien Clasificado (28 %). Únicamente Barlovento de Playa Doña Juana mostro la categoría de Moderadamente Clasificado.

Cuando existe una mezcla de material grueso y fino en la playa, esta heterogeneidad en el tamaño resulta en una deficiente clasificación.

Cuadro 12. Categoría del sedimento por Clasificación (Folk, 1974), utilizando una escala de colores para facilidad de interpretación.

Mal C= Mal Clasificado; MC=Moderadamente Clasificado; MBC=Moderadamente Bien Clasificado; BC=Bien Clasificado.



Playa	PLAYA			DUNA		
	Infraplaya	Mesoplaya	Supraplaya	Barlovento	Cima Duna	Sotavento
Azul	0.72	0.90	0.51	0.47	0.48	—
Tecolutla	0.40	0.59	0.40	0.42	0.41	0.39
Riachuelos	0.61	0.45	0.52	0.50	0.48	0.45
Oriente	0.59	0.51	0.54	0.41	0.49	—
Casitas	0.52	0.47	0.45	0.45	0.55	0.50
Istirinchá	0.48	0.54	0.45	0.44	0.43	0.37
El Laurel	0.58	0.63	0.52	0.52	0.63	0.47
Navarro	1.32	0.68	0.45	0.42	0.48	—
Lechuguillas	0.68	0.53	0.46	0.46	0.39	—
Santander	—	0.64	0.44	0.42	0.51	0.48
Boca de Ovejas	0.51	0.45	0.45	0.52	0.44	—
Punta Delgada	0.57	0.55	0.42	0.41	0.43	0.45
El Farallón	1.13	0.59	0.49	0.46	0.54	0.45
La Mancha	0.73	0.50	0.49	0.52	0.45	0.52
Doña Juana	0.52	0.73	0.61	0.89	0.65	0.59
Chachalacas	1.16	0.50	0.74	0.59	0.49	0.55

— Sin muestra

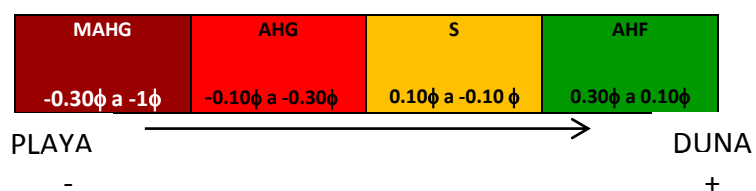
Asimetría

En general la frecuencia de la categoría Simétrico predominó tanto en la playa (66 %) como en la duna (79 %). En infraplaya las categorías de asimetría hacia gruesos y simétrico presentaron la misma frecuencia (46 %), mesoplaya presentó diferentes categorías aunque la más frecuente fue simétrico (50 %), y en supraplaya sólo se presentó esta última, Cuadro 13. En la duna también predominó la categoría simétrico en barlovento (87 %) y sotavento (90 %). Mientras que en cima duna la asimetría fue variable presentando con mayor frecuencia la categoría de Simétrico (62 %) seguida de asimetría hacia gruesos (31 %).

En caso de ocurrir una opresión costera se esperaría encontrar sedimentos finos en Infraplaya debido a que el avance del mar estaría erosionando la duna, llevando los sedimentos finos hacia el mar, presentando posiblemente una asimetría hacia finos.

Cuadro 13. Categoría del sedimento por Asimetría (Folk, 1984), utilizando una escala de colores para facilidad de interpretación.

MAHG= Muy asimétrico hacia gruesos; AHG=Asimétrico hacia gruesos; S=Simétrico; AHF=Asimétrico hacia finos.



Playa	PLAYA			DUNA		
	Infraplaya	Mesoplaya	Supraplaya	Barlovento	Cima Duna	Sotavento
Azul	-0.12	-0.26	+0.03	+0.04	-0.04	—
Tecolutla	-0.04	-0.02	-0.04	-0.05	+0.01	-0.05
Riachuelos	-0.08	+0.06	+0.05	-0.01	-0.06	-0.09
Oriente	-0.16	-0.18	+0.10	+0.02	+0.07	—
Casitas	0.00	-0.02	+0.08	-0.09	-0.18	0.00
Istirinchá	+0.02	+0.15	-0.09	+0.02	-0.04	-0.02
El Laurel	+0.02	+0.05	-0.05	+0.01	-0.29	-0.05
Navarro	-0.44	-0.16	0.00	-0.06	+0.02	—
Lechuguillas	-0.13	-0.19	-0.10	+0.05	+0.13	—
Santander	—	-0.35	-0.06	+0.01	-0.11	0.00
Boca de	-0.13	+0.01	-0.06	+0.12	-0.04	—
Punta Delgada	-0.03	0.00	-0.05	-0.07	-0.08	0.00
El Farallón	-0.24	-0.09	-0.07	-0.07	-0.04	-0.03
La Mancha	-0.05	+0.02	+0.04	-0.08	-0.10	-0.05
Doña Juana	-0.18	+0.17	+0.01	-0.24	-0.21	-0.03
Chachalacas	-0.15	-0.12	-0.09	-0.08	0.00	+0.10

— Sin muestra

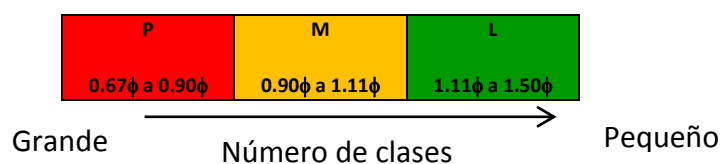
Curtosis

Tanto en la playa como en la duna la curtosis se distribuyó entre dos categorías: mesocúrtica y leptocúrtica. La categoría mesocúrtica dominó en las dunas (72 %), y también en más de la mitad de las playas (53 %). En cambio la categoría Platicúrtica fue menor tanto en la playa como en la duna (2% y 4 % respectivamente), Cuadro14.

En la playa la distribución Leptocúrtica predominó en la mesoplaya (68 %), en cambio fue menor en infraplaya (33 %) y supraplaya (31 %). Por otro lado en infraplaya y supraplaya predominó la categoría mesocúrtica (66 % y 68 % respectivamente). Y únicamente mesoplaya de playa Azul presentó la categoría Platicúrtica (6 %). Por otra parte en la duna la distribución mesocúrtica (87 %) predominó en barlovento, y dominó ligeramente en cima duna y sotavento (62 y 63 % respectivamente). Y únicamente cima duna de Playa El Laurel y sotavento de Playa Riachuelos presentaron la categoría Platicúrtica. En caso de erosión habría diferentes poblaciones de sedimento debido a la mezcla de sedimentos gruesos de la paya con los sedimentos finos de la Duna.

Cuadro 14. Categoría del sedimento por Curtosis (Folk, 1984), utilizando una escala de colores para facilidad de interpretación.

L=Leptocúrtica; M=Mesocúrtica; P=Platicúrtica



Playa	PLAYA			DUNA		
	Infraplaya	Mesoplaya	Supraplaya	Barlovento	Cima Duna	Sotavento
Azul	1.21	0.86	1.07	0.98	0.94	—
Tecolutla	1.15	1.21	1.07	1.12	1.06	1.23
Riachuelos	1.17	1.04	1.16	1.07	0.94	0.88
Oriente	1.12	1.17	1.14	1.01	1.04	—
Casitas	1.06	1.13	1.12	1.02	1.37	1.30
Istirinchá	0.98	1.23	1.12	0.99	0.99	0.95
El Laurel	0.92	1.13	1.00	1.16	0.78	1.00
Navarro	0.95	0.90	1.08	0.99	1.00	—
Lechuguillas	1.14	1.17	1.18	1.02	1.17	—
Santander	—	1.39	1.02	1.04	1.07	1.13
Boca de Ovejas	1.05	1.18	1.06	1.07	1.10	—
Punta Delgada	1.08	1.27	1.04	1.04	1.14	1.06
El Farallón	1.05	1.24	0.95	1.04	1.28	0.96
La Mancha	1.02	1.00	1.04	1.08	1.02	0.94
Doña Juana	0.94	1.12	0.96	1.00	1.33	0.96
Chachalacas	0.95	1.07	1.06	1.06	0.95	1.01

— Sin muestra

Los parámetros texturales de los sedimentos reflejan su distribución en el ambiente. En el área de estudio se determinó que la fracción gruesa se localizó regularmente en la playa, específicamente en infraplaya donde los sedimentos gruesos pueden soportar la fuerza del rompimiento de las olas; y la fracción fina se presentó exclusivamente en la duna (cima duna y sotavento) donde actúa el proceso selectivo de la deflación. Por otro lado la clasificación de los sedimentos depende de la constancia de los procesos, de su forma y tamaño. Así, los sedimentos de la duna presentaron mayor redondez y menor tamaño respecto a los sedimentos de la playa, por lo que presentaron también mejor clasificación. Finalmente los parámetros texturales de asimetría y curtosis están relacionados con las diferentes poblaciones que conforman a los sedimentos, dada la variabilidad en el viento y la presencia de dos sistemas de dunas (San Agustín y San Isidro), además de un importante sistema fluvial se encontró gran variabilidad en éstos parámetros.

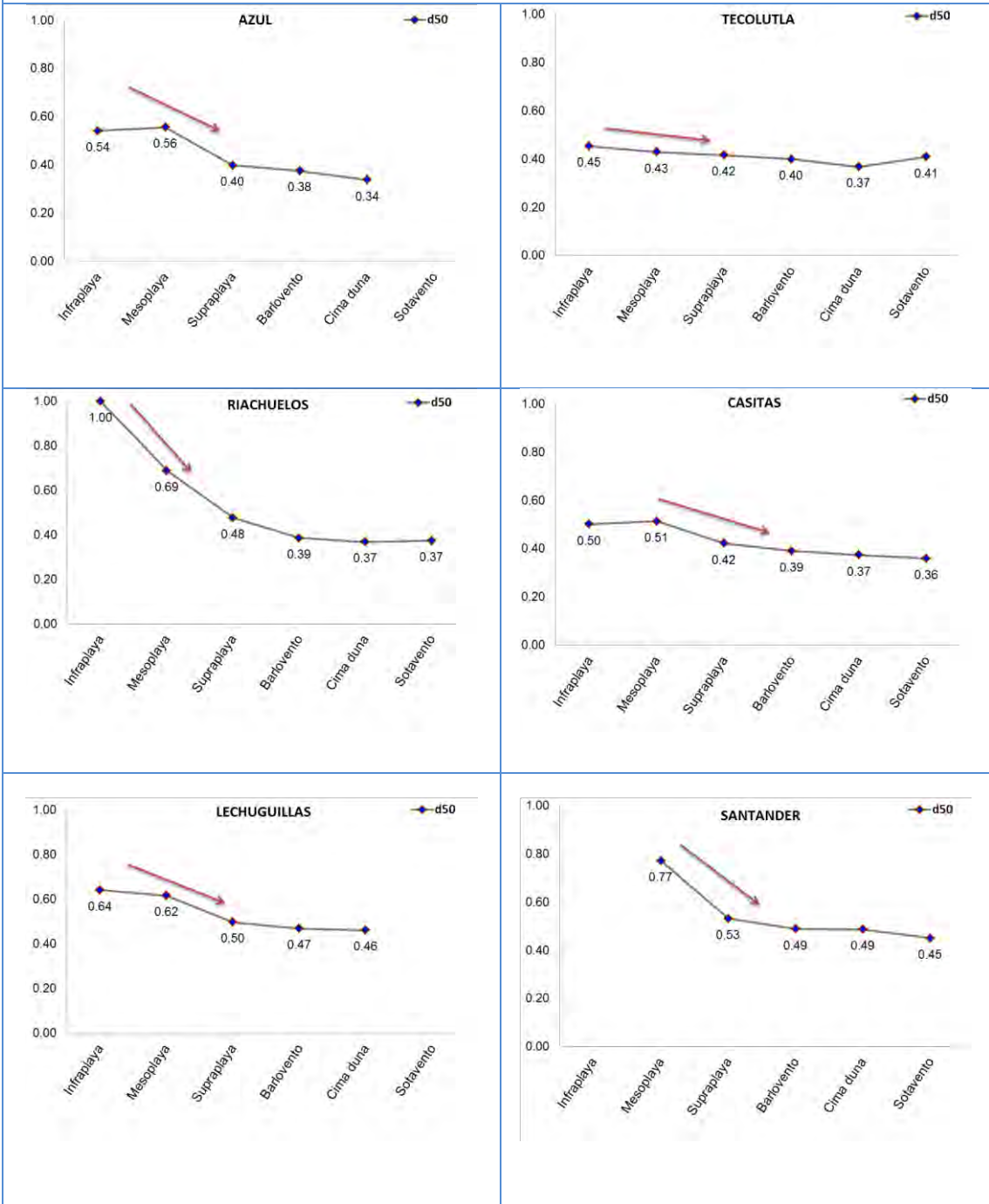
Por otro lado además de los parámetros texturales, la distribución granulométrica de los sedimentos a lo largo del perfil transversal de la playa indica un proceso de regresión o transgresión de la línea de costa. Como se mencionó anteriormente en la playa las zonas de mayor energía (infraplaya y mesoplaya) muestran el material más grueso (Cooke y Doornkamp, 1990), pero cuando se eleva el nivel medio del mar las olas pueden alcanzar las dunas frontales y erosionarlas (Hesp, 2000), en consecuencia habría presencia de material fino en infraplaya o mesoplaya, lo cual se asocia a un proceso de erosión.

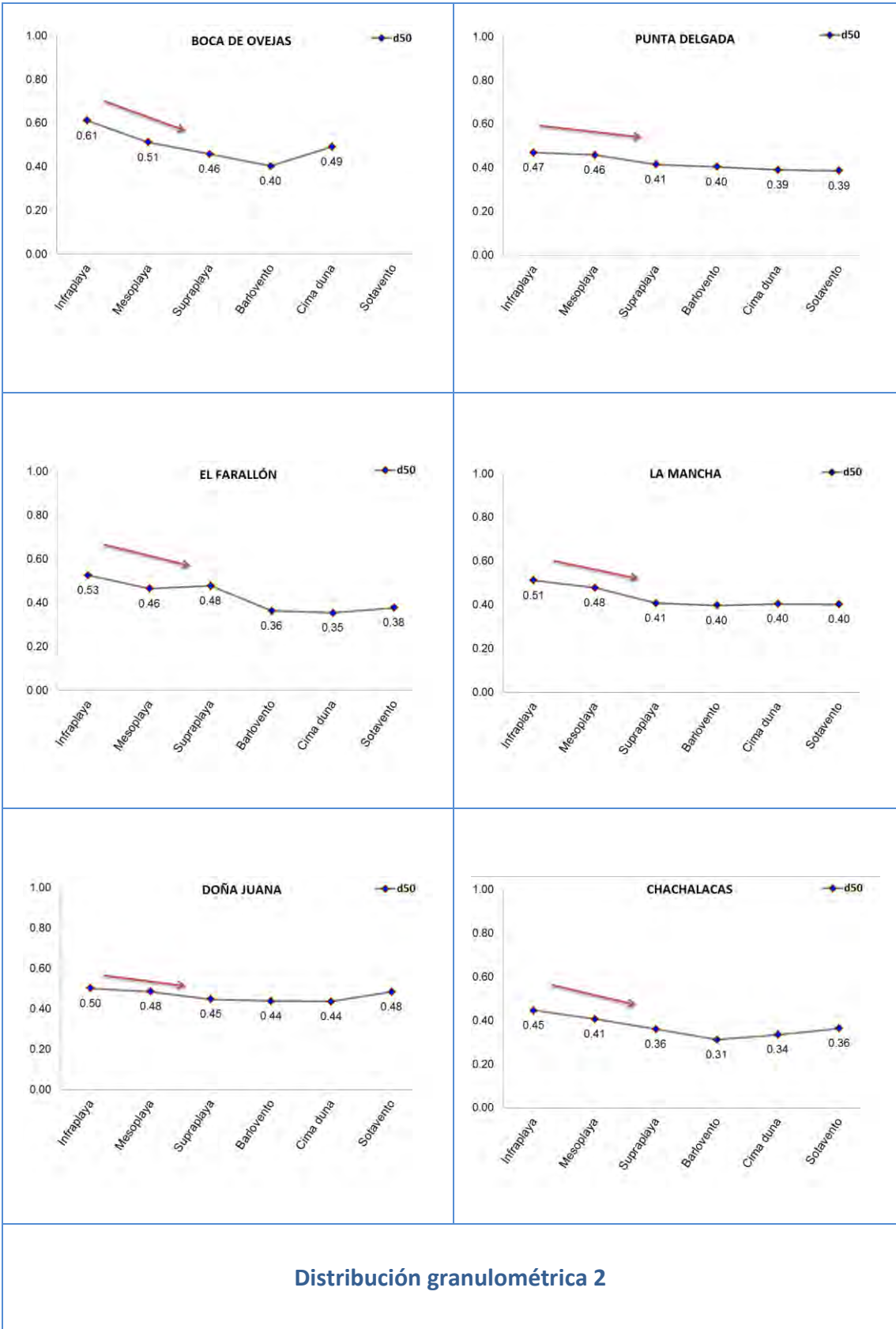
Distribución granulométrica de los sedimentos

En el área de estudio se presentaron tres tipos de distribución granulométrica de los sedimentos que conforman la playa. 1) El sedimento más grueso se localizó en infraplaya y disminuyó de tamaño hacia tierra adentro, esta distribución se asocia a la regresión de la playa. 2) El sedimento más grueso se localizó en mesoplaya y disminuyó de tamaño en ambas direcciones, hacia el mar y también hacia tierra adentro, por lo que no es claro si la playa está en regresión o transgresión y 3) El sedimento más grueso se localizó en playa seca y disminuyó de tamaño en dirección al mar, esta distribución se asocia a la transgresión de la playa, Figura 35.

La distribución granulométrica varía en el espacio y tiempo, sin dejar de ser un reflejo de la distribución de la energía en la playa. En el área de estudio doce de las dieciséis y seis playas presentaron la distribución granulométrica 1, que indica regresión de la playa: Azul, Tecolutla, Riachuelos, Casitas, Lechuguillas, Santander, Boca de Ovejas, Punta Delgada, El Farallón, La Mancha, Doña Juana y Chachalacas. Por su parte Playa Oriente y Playa Navarro mostraron la distribución granulométrica 2, que no muestra una tendencia hacia regresión o transgresión de la playa. Finalmente Playa Istirinchá y Playa El Laurel presentaron la distribución granulométrica 3, que indica transgresión de la playa.

Distribución granulométrica 1





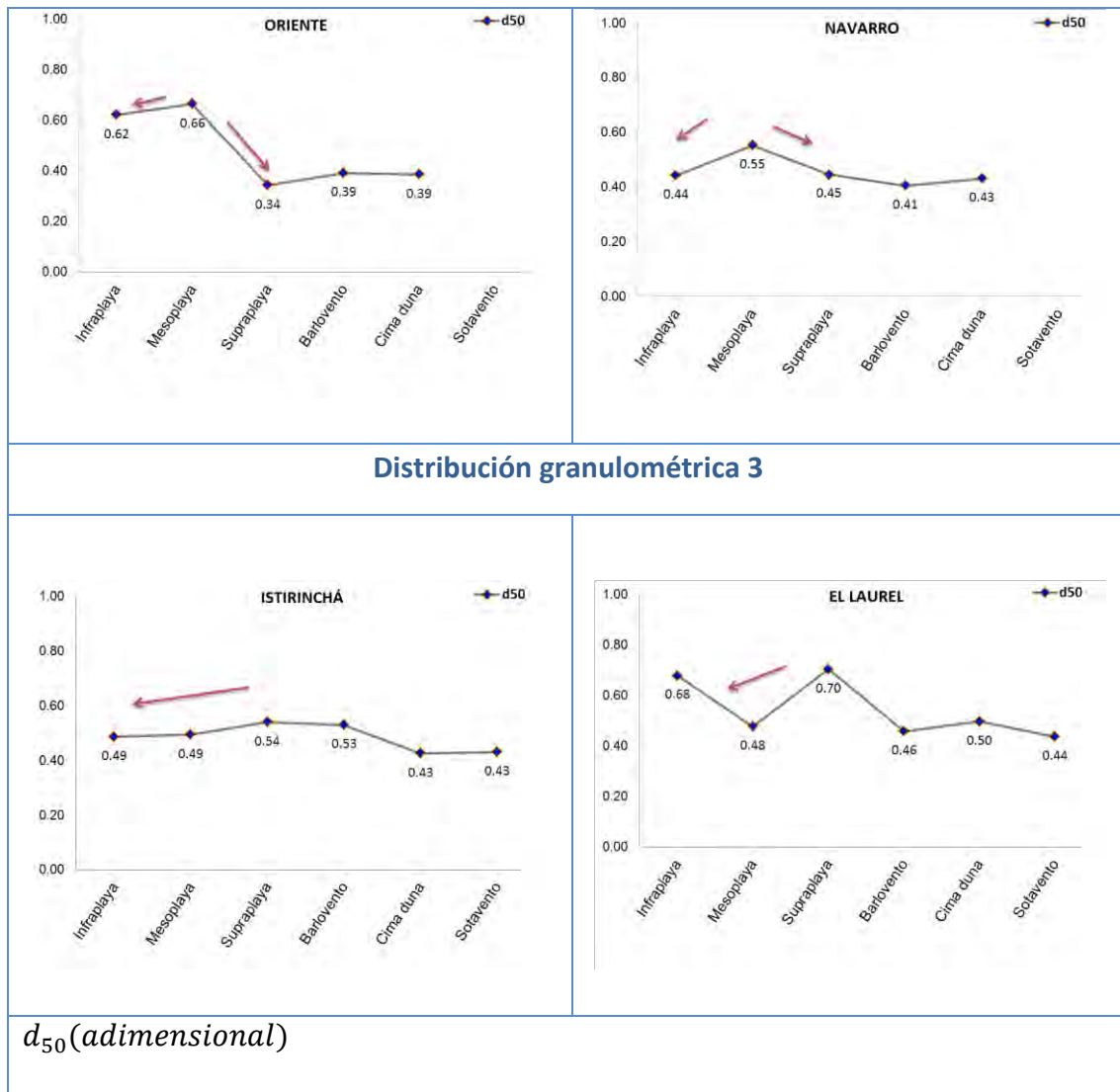


Figura 35. Distribución granulométrica de los sedimentos que conforman las playas del área de estudio.

Geomorfología y evolución de la línea de costa.

La tendencia de la playa a un proceso de acreción, erosión o estabilidad de la playa se determinó considerando la secuencia temporal porque tiene etapas que determinan la morfología resultante. Se considera que una playa con tendencia a la erosión sería más propensa a la ocurrencia de opresión costera que una con tendencia a la acreción. Siguiendo esta suposición se asignó la siguiente ponderación: 3 a las playas con tendencia a erosionarse, 2 a las playas que tiende a ser estables y 1 a las playas en acreción, Cuadro 15. Se observó tendencia a acreción en Playa Tecolutla, Riachuelos, El Laurel, Navarro, Lechuguillas, El Farallón y la Mancha. Por el contrario la tendencia a erosión predominó en Playa Casitas, Boca de Ovejas, Punta Delgada, Doña Juana y Chachalacas. Por otra parte Playa Oriente, playa Istirinchá y playa Santander presentaron tendencia a la estabilidad.

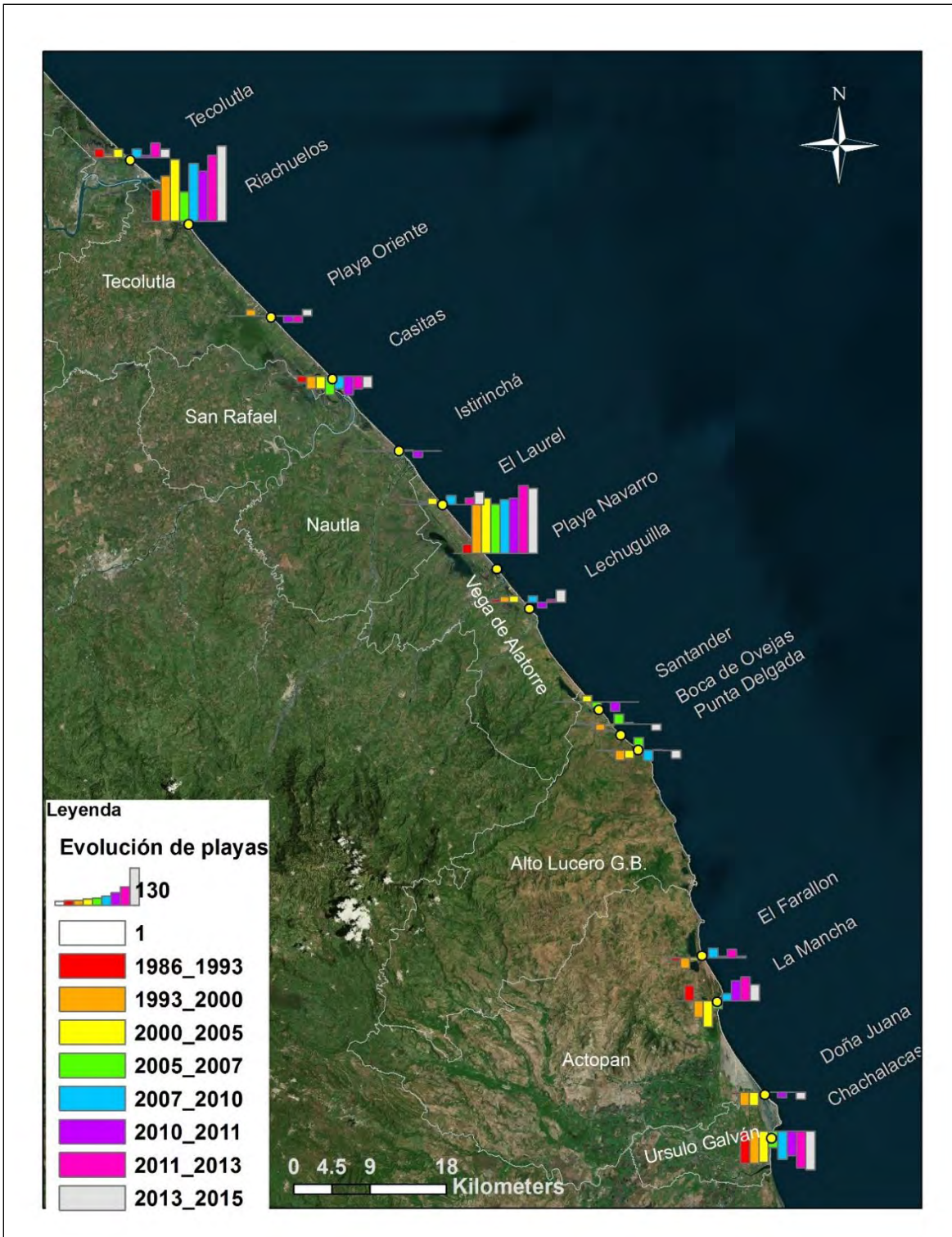
Para observar claramente el cambio espacial de la línea de costa en cada playa, se realizó una gráfica de barras, en la cual los valores positivos representan acreción, el valor cero estabilidad y los valores negativos erosión. Se destaca playa Riachuelos y Navarro en acreción y playa Chachalacas en erosión (Figura 36).

Cuadro 15. Proceso resultante del cambio espacial de la línea de costa en el área de estudio, utilizando una escala de colores para facilidad de interpretación.

Erosión	Estable	Acreción
---------	---------	----------

Playa	Período								Tendencia 1986-2015	Ponderación
	1986-1993	1993-2000	2000-2005	2005-2007	2007-2010	2010-2011	2011-2013	2013-2015		
Tecolutla	28.97	7.67	29.02	7.67	29.02	7.67	50.17	28.73	Acreción	1
Riachuelos	105.27	152.33	207.71	96.94	193.93	169.03	221.71	254.14	Acreción	1
Oriente	0	21.35	0	-21.31	0	-21.31	-21.44	21.35	Estable	2
Casitas	-21.35	-42.66	-42.66	-63.81	-42.66	-63.81	-42.66	-38.95	Erosión	3
Istirinchá	0	0	4.02	-21.14	4.52	-21.14	0	0	Estable	2
El Laurel	0	5.06	21.14	0	29.82	0	21.14	42.45	Acreción	1
Navarro	30.97	187.96	186.85	165.9	182.24	186.85	229.52	221.45	Acreción	1
Lechuguillas	9.17	19.59	21.35	0	21.35	-18.6	9.17	42.5	Acreción	1
Santander	0	0.31	21.31	-21.31	0	-32.78	0	0	Estable	2
Boca de	-1.6	-21.31	-6.02	33.49	5.36	0	0	-21.31	erosión	3
Punta Delgada	-2.71	-35.18	-28.72	43.01	-36.38	0.71	-1.29	-28.72	erosión	3
El Farallón	-10.14	-35.76	-8.38	0	32.72	4.25	28.47	5.34	acreción	1
La Mancha	53.18	-56.6	-88.8	-27.27	25.7	68.24	80.66	55.97	acreción	1
Doña Juana	-6.1	-46.24	-46.24	-18.19	0	-18.19	0	-23.12	erosión	3
Chachalacas	-109.22	-109.34	-104.35	-54.98	-94.65	-82.39	-124.05	-129.99	erosión	3

No se contó con información de playa Azul.



130=Número de datos para construir las gráficas; 1=valor de referencia entre valores positivos y negativos.

Figura 36. Evolución de la línea de costa en las playas del área de estudio.

Morfología del perfil de playa

Para las playas que conforman el área de estudio se obtuvo la morfología de su perfil de acuerdo a Masselink y Short (1993) para casos de micro marea, Cuadro 16.

Cuadro 16. Morfología del perfil de las playas que conforman el área de estudio.

Playa	Ω	RMMR	PERFIL (Masselink y Short, 1993)	Ponderación
Azul	3.479	1.48	Reflejante	3
Tecolutla	13.904	0.48	Con barra disipativo	1
Riachuelos	0.796	3.33	Reflejante	3
Oriente	1.501	2.92	Reflejante	3
Casitas	1.967	2.92	Reflejante	3
Istirinchá	8.895	0.67	Con barra disipativo	1
El Laurel	5.137	0.77	Con barra disipativo	1
Navarro	8.801	0.77	Con barra disipativo	1
Lechuguillas	7.462	0.56	Con barra disipativo	1
Santander*	—	—	—	—
Boca de Ovejas	10.614	0.42	Con barra disipativo	1
Punta Delgada	16.975	0.37	Con barra disipativo	1
El Farallón	15.279	0.35	Con barra disipativo	1
La Mancha	16.494	0.34	Con barra disipativo	1
Doña Juana	17.967	0.32	Con barra disipativo	1
Chachalacas	13.990	0.48	Con barra disipativo	1

*No fue posible determinar el perfil de playa Santander ya que no se obtuvo muestra de sedimentos en la zona de rompiente (d_{50}).

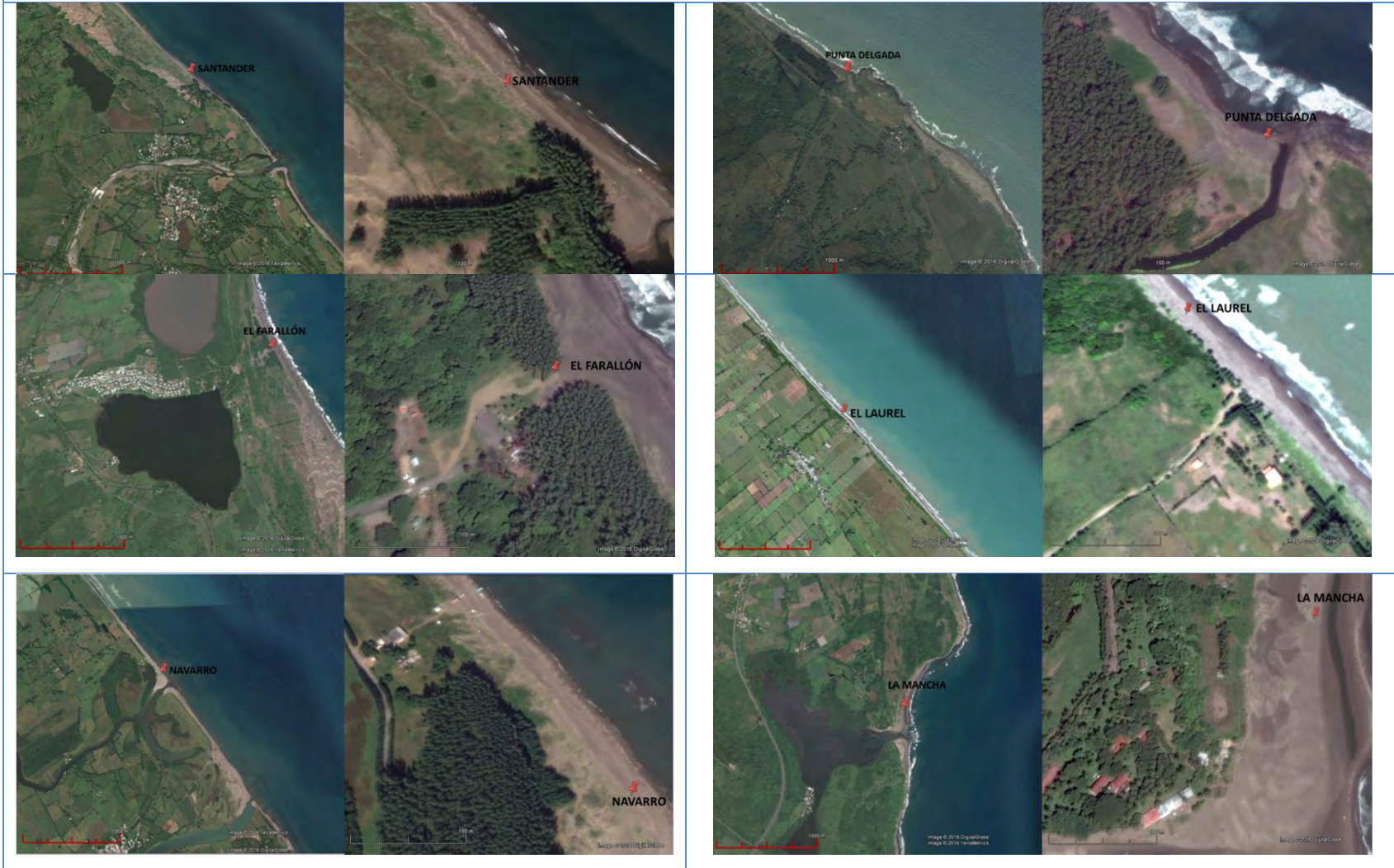
Once de las dieciséis playas presentaron perfil con barra disipativo. Las características de este tipo de perfil de playa son que presentan una pendiente muy suave $>2^\circ$; con una zona de rompiente extensa, en la cual se disipa la energía progresivamente, además puede presentar una o varias barras paralelas a la playa (Sánchez-Arcilla y Jiménez, 1994; Vidal *et al.* 1995). La(s) barra(s) arenosas actúa(n) como una barrera flexible en la cual las olas disipan entre el 78-99 % de su energía (Carter, 1988). Un perfil disipativo se produce durante la acción de oleaje de baja energía. Bajo estas condiciones el sedimento erosionado y depositado como barra arenosa, comienza a ser transportado hacia la costa, produciendo un avance de la misma hacia el mar.

El otro tipo de perfil que mostraron cuatro de las dieciséis playas del área de estudio fue el reflejante. Las características de este tipo de perfil son una pendiente pronunciada $<4^\circ$, con una zona de rompiente generalmente estrecha y ausencia de barras sumergidas, por lo que las olas rompen directamente en el frente de playa. Además durante períodos energéticos en los que hay ascensos y descensos acentuados en el frente de playa, si éstos rebasan la berma pueden hacer cortes en la playa (escarpe) (Sánchez-Arcilla y Jiménez, 1994; Vidal *et al.* 1995). El perfil reflejante se produce durante la acción de oleaje de gran contenido energético que genera durante su proceso de rotura corrientes de retorno de gran intensidad, bajo estas condiciones se produce erosión de la parte interna del perfil retrocediendo la línea de costa y transportando el material hacia mar adentro (Sánchez-Arcilla y Jiménez, 1994).

Distribución de infraestructura en la zona paralela a la línea de costa

De acuerdo a la clasificación respecto a la distribución de infraestructura en las playas del área de estudio, se tiene que siete de las dieciséis playas mostraron la distribución 1; en la cual no existe, o es escasa la presencia de viviendas en la zona paralela a la línea de costa, o bien hay una localidad cercana hacia tierra adentro, por lo que no interfieren con la dinámica sedimentaria, estas playas fueron: Santander, Punta Delgada, El Laurel, Navarro, El Farallón, La Mancha y Doña Juana. Por otra parte cuatro playas presentaron la distribución 2, donde la presencia de viviendas en la zona paralela a la línea de costa es espaciada, y se presentó en: Azul, Istirinchá, Boca de Ovejas y Lechuguillas. Finalmente las cinco playas restantes exhibieron la distribución 3, con presencia continua de viviendas en la zona paralela a la línea de costa, fueron: Tecolutla, Chachalacas, Casitas, Oriente y Riachuelos. Figura 37

Distribución 1, Playa sin/o escasa presencia de viviendas en la zona paralela a la línea de costa, o bien con una localidad cercana tierra adentro. No interfieren con la dinámica sedimentaria.





Distribución 2. Playa con presencia de viviendas espaciadas en la zona paralela a la línea de costa



Distribución 3, Playa con presencia de viviendas continuas en la zona paralela a la línea de costa



Figura 37. Clasificación de las playas del área de estudio conforme la distribución de la infraestructura en la zona paralela a la línea de costa. Foto izquierda, escala a 1000 m. Foto derecha, escala a 100 m. (Fuente Google Earth, 14/09/2014).

Vegetación

En el área de estudio se encontró un total de 23 especies pertenecientes a 14 familias, de las cuales las Fabaceae y Poaceae fueron las de mayor riqueza (4 especies c/u). En la familia Poaceae el 75 % de sus especies son propias del sistema playa-duna frontal. Mientras que en la familia Fabaceae el 50 % de sus especies no cuentan con rasgos de especialización para dicho ambiente. En cuanto a forma de crecimiento de las especies que se encontraron en el área de estudio, 11 son hierbas, 6 son arbustivas, 4 rastreras, 1 trepadora y 1 arbórea, en la familia Fabaceae el 75 % de las especies son arbustos y en la familia Poaceae el 75% son hierbas. Cabe destacar que ninguna de las 23 especies del área de estudio se encuentra en peligro o amenaza conforme la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés) y tampoco aparecen en el listado de especies nativas en categoría de riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010, Cuadro 17.

Cuadro 17. Listado de especies encontradas a lo largo de 200 km de costa en el Centro-Norte del estado de Veracruz.

Familia	Especie	Forma de crecimiento	Distribución local	Distribución geográfica	Estado de protección o amenaza
Aizoaceae	<i>Sesuvium portulacastrum</i> (L.) L.	Hierba	Playas, Dunas móviles y Manglares	Nativa de México	IUCN (LC)
Araliaceae	<i>Hidrocotyle bonariensis</i>	Hierba	Duna estable	Norteamérica y el Caribe	IUCN (LC)
Arecaceae	<i>Cocos nucifera</i> (L.)	Árbol	Duna estable	Pantropical	IUCN (LC)
Asteraceae	<i>Bidens pilosa</i> (L.)	Hierba	Duna estable	Pantropical	IUCN (LC)
	<i>Palafoxia lindenii</i> (DC.)	Arbusto bajo	Playas y dunas móviles	Nativa de Veracruz y Tabasco	IUCN (LC)
Chrysobalanaceae	<i>Chrisobalanus icaco</i> (L.)	Arbusto	Dunas móviles	Pantropical	IUCN (LC)
Commelinaceae	<i>Commelina erecta</i> (L.)	Hierba	Duna estable	Nativa de México, del Sur de E.U hasta Argentina	IUCN (LC)
Convolvulaceae	<i>Ipomoea imperatii</i> (Vahl)	Rastrera	Playas y dunas móviles	Pantropical	IUCN (LC)
	<i>Ipomoea pes-caprae</i> (L.)	Rastrera	Playas y dunas móviles	Pantropical	IUCN (LC)
Euphorbiaceae	<i>Croton punctactus</i> (Jacq.)	Arbusto bajo	Dunas móviles	Pantropical	IUCN (LC)
	<i>Euphorbia torrida</i> (DC)	Hierba	Duna estable	Endémica de Veracruz, México	IUCN (LC)

Familia	Especie	Forma de crecimiento	Distribución local	Distribución geográfica	Estado de protección o amenaza
Fabaceae	<i>Canavalia rosea</i> (Thouars)	Rastrera	Playas	Pantropical	IUCN (LC)
	<i>Chamaecrista chamaecristoides</i> (Collad.) Greene	Arbusto bajo	Dunas móviles	Nativa de México: Golfo de México y Pacífico	IUCN (LC)
	<i>Crotolaria incana</i> (L.)	Arbusto	Bosque seco y áreas perturbadas	Pantropical	IUCN (LC)
	<i>Macroptilium atropurpureum</i> (Moc. & Sesse ex DC.) Urban	Trepadora	Potreros, bordes de caminos, también se encuentra en vegetación costera	Endémica de México, Pantropical	IUCN (LC)
Martyniaceae	<i>Martynia annua</i> (L.)	Hierba	Potreros, zona ruderal y áreas perturbadas	Pantropical	IUCN (LC)
Nyctaginaceae	<i>Okenia hypogea</i> (Schltdl y Cham.)	Hierba	Playas y dunas móviles	Nativa de México y Estados Unidos	IUCN (LC)
Onagráceas	<i>Oenothera drummondii</i> (Hook.)	Hierba	Playas y dunas costeras	Costa atlántica de Norteamérica y Europa, Mediterráneo	IUCN (LC)
Poaceae	<i>Distichlis spicata</i> (L.) Greene	Rastrera	Playas y dunas móviles	Nativa de México	IUCN (LC)
	<i>Panicum maximum</i> (Jacq.)	Hierba	Duna estable	Exótica, Zonas tropicales	IUCN (LC)
	<i>Schizachyrium scoparium</i> (Michx.) Nash	Hierba	Dunas móviles	Estados Unidos; Canadá y México.	IUCN (LC)
	<i>Sporobolus virginicus</i> (L.) Kunth	Hierba	Dunas móviles	Pantropical	IUCN (LC)
Rubiaceae	<i>Randia laetevirens</i> (Standl.)	Arbusto	Duna estable	Pantropical	IUCN (LC)

IUCN= Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus en inglés); LC= Baja Preocupación.

Frecuencia relativa de especies en el área de estudio

Las especies con mayores porcentajes de frecuencia relativa en el área de estudio (50% o más) fueron *Ipomoea imperatii*, *Croton punctatus* e *Ipomoea pes-caprae*. Estas especies son tolerantes al enterramiento con arena, y además, *Ipomoea imperatii* como *Ipomoea pes-caprae* también son tolerantes a la salinidad. *Ipomoea imperatii* fue la especie con mayor frecuencia de aparición fue ya que se encontró en 10 de las 16 playas (Figura 38) (Anexo V). También se observa que, a pesar de que *Crotalaria incana*, *Panicum maximum* y *Euphorbia torrida* no tienen características particulares para el ambiente playa-duna, sino que son especies de tierra adentro se encontraron en el 19 % de las playas del área de estudio, su presencia podría sugerir una posible transgresión de la línea de costa en las playas donde se presentaron. Por otra parte, *Okenia hypogaea*, *Chamaecrista chamaecristoides*, *Chrisobalanus icaco* y *Schizachyrium scoparium* a pesar de ser especies características de la zona playa-duna frontal se encontraron sólo en el 6% de los sitios.

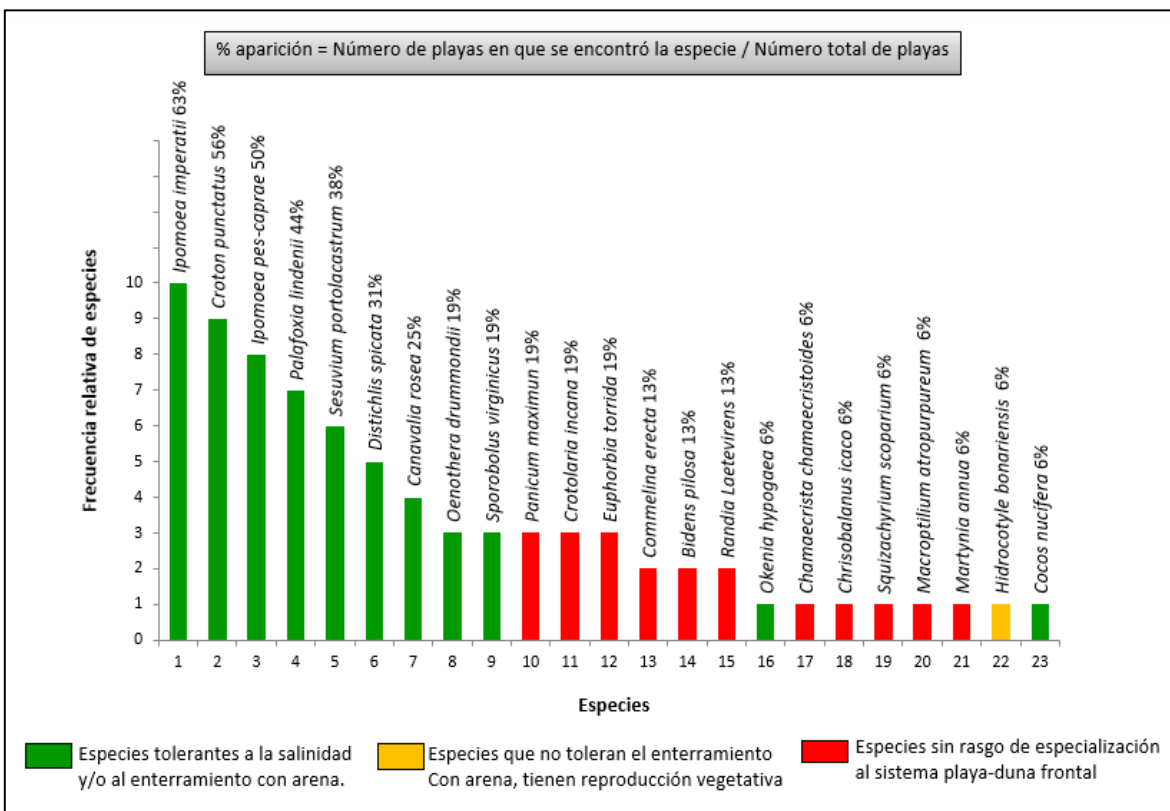


Figura 38. Frecuencia relativa de especies en el sistema playa-duna frontal del área de estudio. Aquellas que son propias del sistema son más frecuentes debido a su afinidad a la salinidad y/o al sustrato móvil.

Riqueza de especies por playa

La riqueza fue variable a lo largo de la zona de estudio. Playa Oriente y La Mancha fueron las playas con mayor riqueza (8 y 9 especies respectivamente); mientras que Playa Navarro, Punta Delgada y Doña Juana fueron las de menor riqueza (2, 2 y 1 especies respectivamente); para el resto de las playas la riqueza fluctuó entre 3 y 6 (Figura 39).

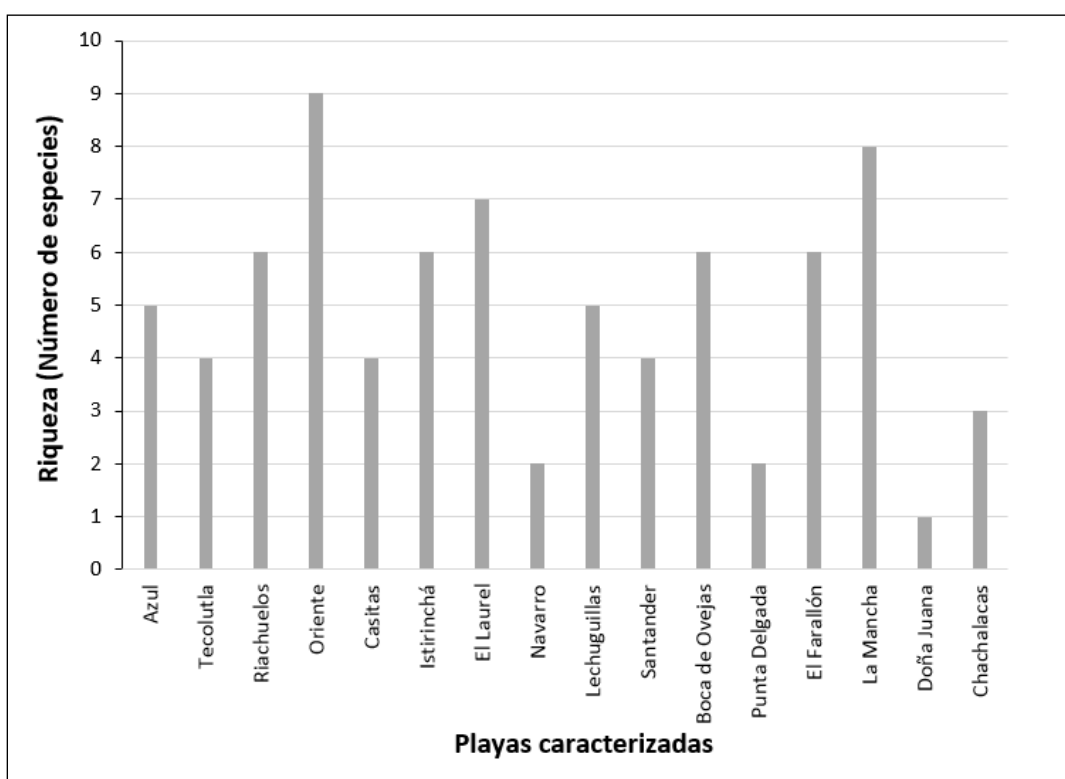


Figura 39. Riqueza de especies vegetales encontradas en el sistema playa-duna frontal en 16 playas localizadas en el Centro-Norte del estado de Veracruz (playas ordenadas de N a S).

Los datos muestran que ocho especies sólo se observaron en una playa (*Chamaecrista chamaecristoides*, *Chrisobalanus icaco*, *Crotalaria incana* y *Schizachyrium scoparium* entre otras), mientras que fueron pocas las especies muy frecuentes y que se encontraron entre 6 y 10 playas (*Ipomoea imperatii*, 10; *Croton punctatus*, 9; *Ipomoea pes-caprae*, 8; *Palafoxia lindenbergii*, 7 y *Sesuvium portulacastrum*, 6). Las especies más frecuentes son las que además son características de la zona de playa (Figura 40).

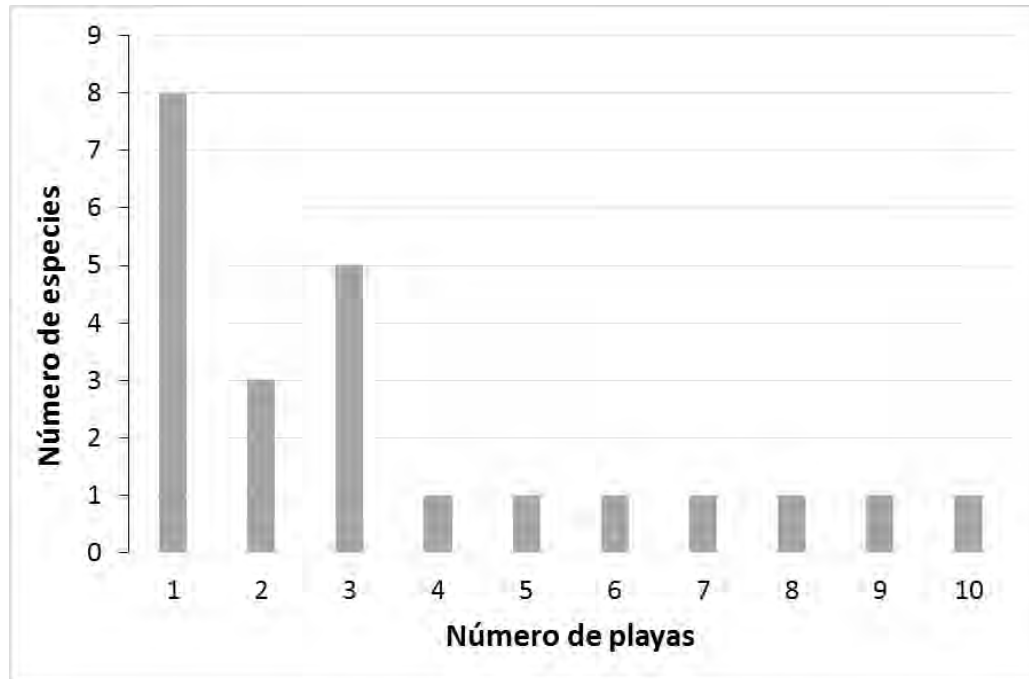


Figura 40. Frecuencia de especies en las playas que conforman el área de estudio.

Importancia Relativa

De las 16 playas que conforman el área de estudio en 7 de ellas la especie dominante fue *Ipomoea pes-caprae*. En Boca de Ovejas, Navarro y Chachalacas mostró una dominancia fuerte (pendiente muy pronunciada en la curva de jerarquía). Mientras que en Riachuelos, Punta Delgada, El Farallón y La Mancha su dominancia fue menor. Por otra parte, la especie endémica *Chamaecrista chamaecristoides* solo se encontró en playa Tecolutla presentando además la mayor dominancia en esta playa. También se aprecia que *Sesuvium portulacastrum* fue la especie dominante de playa Doña Juana debido a que fue la única especie que se encontró en ella (Figura 41).

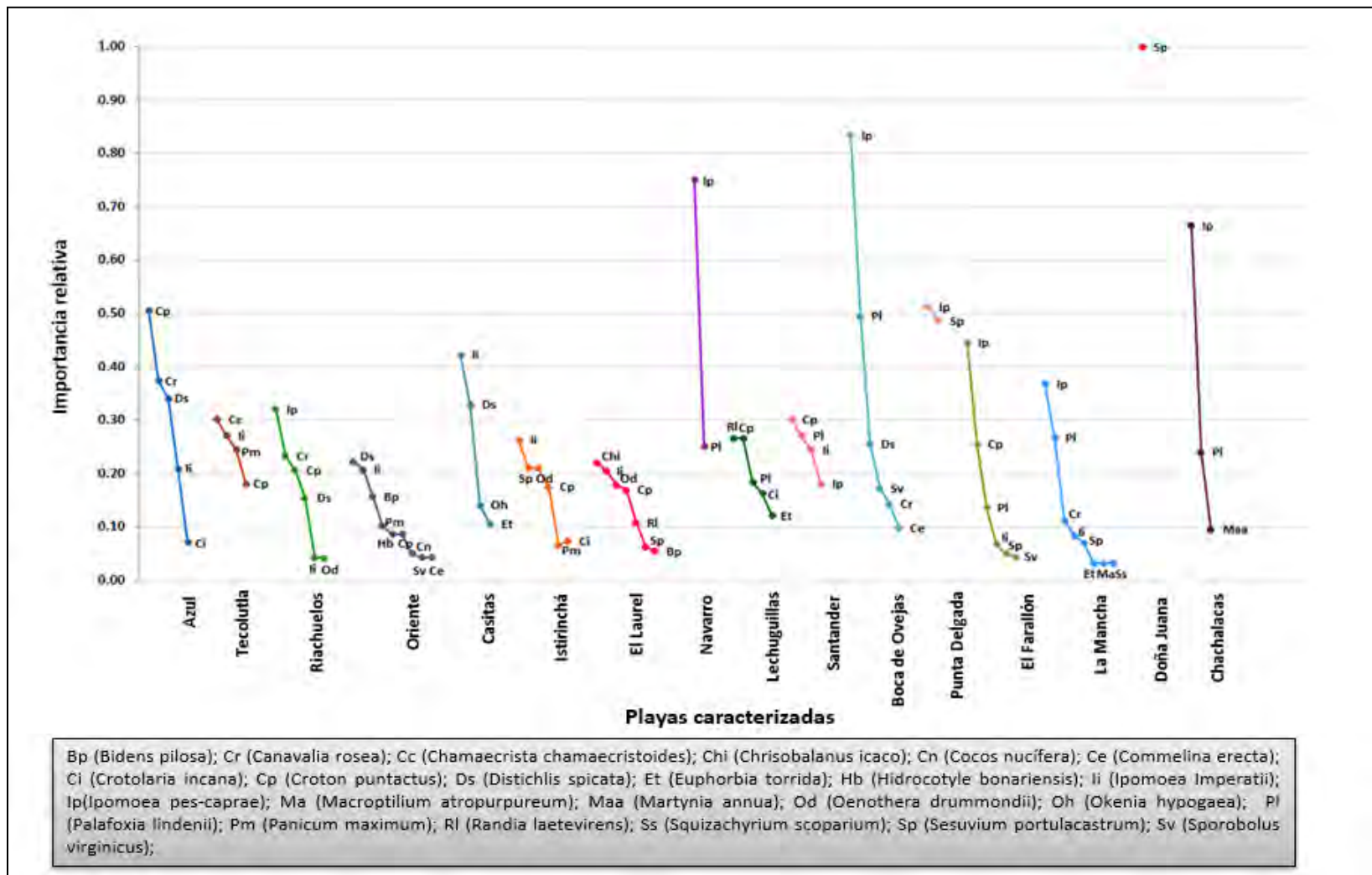


Figura 411. Jerarquía de especies vegetales caracterizada en 16 playas localizadas en el Centro-Norte del estado de Veracruz, (playas ordenadas de N a S).

Índice de Diversidad de Shannon-Weaver (H')

En coincidencia con la riqueza, el índice de diversidad fue heterogéneo, ya que, en general, fluctuó entre 0.45 (playa Navarro) hasta 1.67 (playa Oriente). Las playas con mayor diversidad, en orden decreciente fueron: Oriente, Istirinchá, El Laurel y La Mancha, mientras que las de menor diversidad, también en orden decreciente fueron: Punta Delgada, Chachalacas y Navarro. Cabe señalar que en playa Doña Juana solo se encontró una especie, por lo que su diversidad fue nula (Figura 42).

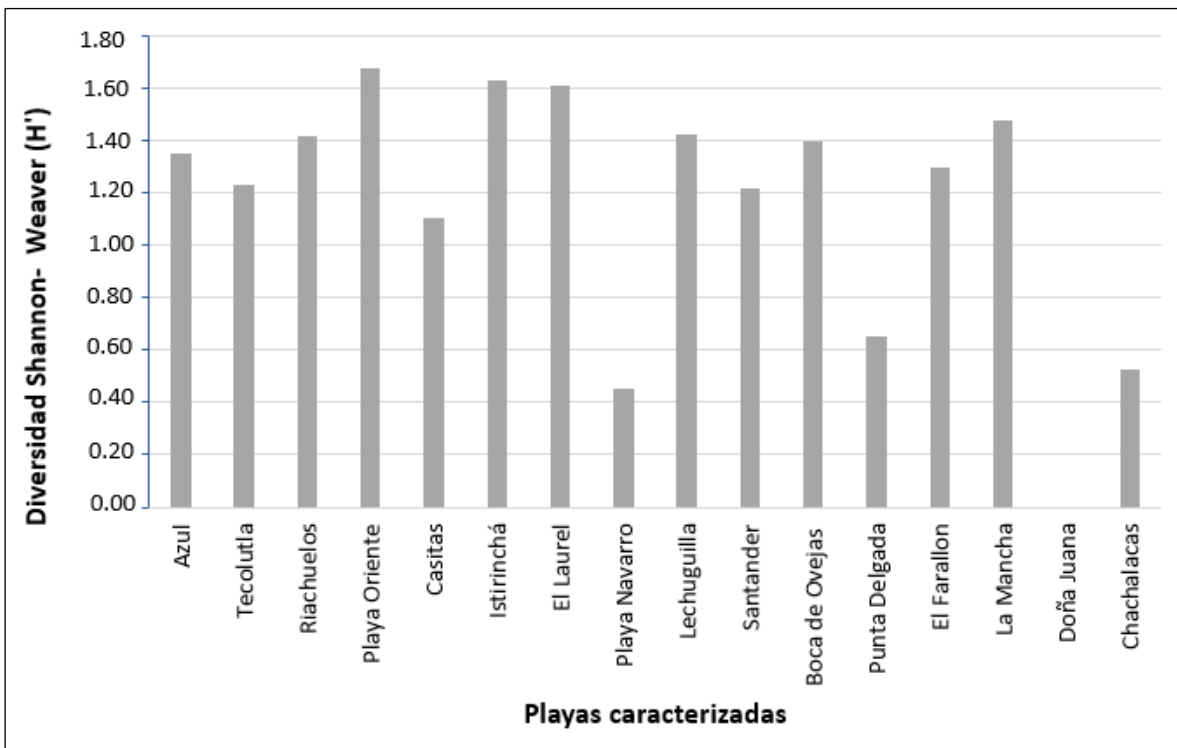


Figura 42. Diversidad vegetal en 16 playas localizadas en el Centro-Norte del estado de Veracruz (playas ordenadas de N a S).

Grupos funcionales de plantas

Las diferentes características de las 23 especies encontradas en las playas que conforman el área de estudio permitieron clasificarlas en diferentes grupos funcionales conforme Gallego-Fernández y Martínez, 2011. Trece de ellas crecen principalmente en la playa y duna frontal, por lo que pertenecen bien al grupo funcional 1 o 2. Las diez especies restantes no presentan ningún rasgo de especialización para el ambiente playa-duna frontal, por lo que pertenecen al grupo funcional 3, 4 o 5 (Anexo VI).

La diversidad local de los GFP en las playas del área de estudio fue bastante heterogénea. El Laurel presentó la mayor diversidad funcional, seguida en orden decreciente de Tecolutla, Istirinchá y Oriente. De éstas, Playa Oriente e Istirinchá presentaron más grupos

funcionales (1, 2, 4, y 5). En contraste playa Punta Delgada y Doña Juana solo presentaron un grupo funcional (1), razón por la que no mostraron diversidad funcional. Finalmente la playa con menor valor de diversidad funcional fue Casitas (Figura 43).

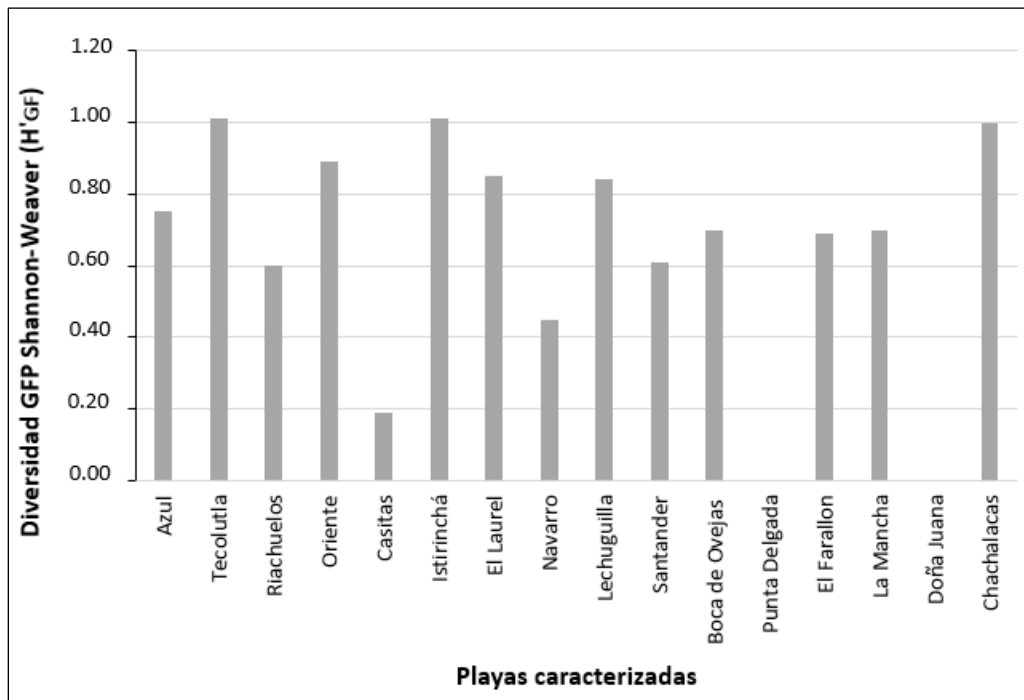


Figura 432. Índice de diversidad funcional en las 16 playas localizadas en el Centro-Norte del estado de Veracruz (playas ordenadas de N a S).

Por otra parte las playas que presentaron especies propias del sistema playa-duna frontal (GFP 1 y 2) fueron: Riachuelos, Navarro, Santander y El Farallón. Mientras que aquellas que presentaron un importante porcentaje de aparición de GFP que no pertenecen al sistema playa-duna frontal (GFP 3, 4, y 5), en orden decreciente fueron: Playa Lechuguillas, Tecolutla y Oriente (Figura 44).

Para diferenciar la presencia de especies propias del sistema playa-duna frontal de otro tipo de vegetación se agruparon los GFP 1 y 2; y los GFP 3, 4 y 5, sumando su porcentaje de cobertura, Cuadro 18.

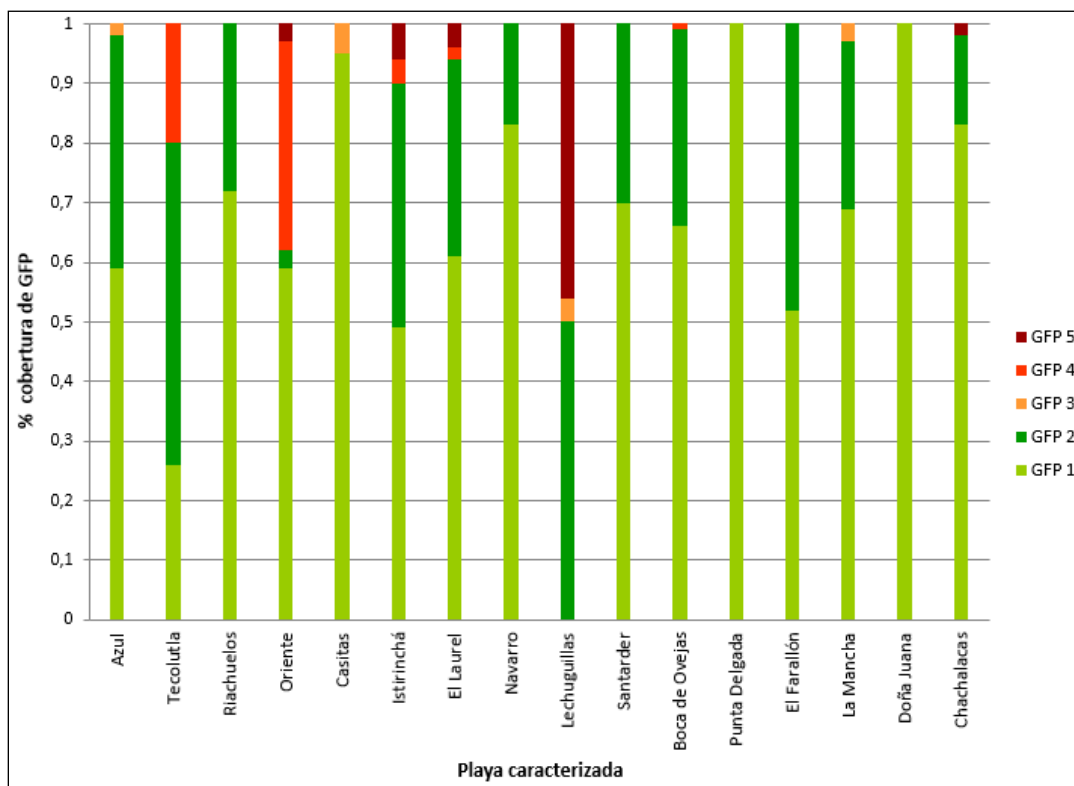


Figura 44. Porcentaje de aparición de GFP por playa, en 16 playas localizadas en el Centro-Norte del estado de Veracruz (playas ordenadas de N a S).

Cuadro 18. Porcentaje de aparición agrupando los GFP en las playas del área de estudio.

PLAYAS	GRUPOS FUNCIONALES (% cobertura)		TOTAL	Ponderación
	1 y 2	3, 4 y 5		
Azul	98%	2%	100%	1
Tecolutla	80%	20%	100%	1
Riachuelos	100%	—	100%	1
Oriente	62%	38%	100%	2
Casitas	95%	5%	100%	1
Istirinchá	90%	10%	100%	1
El Laurel	94%	6%	100%	1
Navarro	100%	—	100%	1
Lechuguillas	50%	50%	100%	3
Santander	100%	—	100%	1
Boca de Ovejas	99%	1%	100%	1
Punta Delgada	100%	—	100%	1
El Farallón	100%	—	100%	1
La Mancha	97%	3%	100%	1
Doña Juana	100%	—	100%	1
Chachalacas	98%	2%	100%	1

Ponderación de las variables que integran el índice de opresión costera

Una vez categorizadas las variables se realizó un ejercicio en el cual se otorgaron diferentes valores de importancia a sus coeficientes (A, B, C, D y E). Así, se calculó el índice de opresión costera a partir de los diversos indicadores, eligiéndose aquellos que reflejaron mejor las diferentes condiciones de las playas del área de estudio, Cuadro 19.

Cuadro 19. Ajuste de los coeficientes de las variables consideradas en el riesgo de ocurrencia de opresión costera.

Variable	Cambio espacial de la línea de costa	Morfología del perfil de playa	Distribución granulométrica de los sedimentos	Distribución de infraestructura a lo largo de la línea de costa	Porcentaje agrupado de cobertura de GFP
Coeficiente	A	B	C	D	E
Valor	1	1	2	3	1

La ecuación con los coeficientes quedo de la siguiente forma:

$$O. C. = (1)\text{Evolución línea de costa} + (1)\text{Morfología perfil de playa} \\ + (2)\text{Distribución granulométrica sed.} + (3)\text{Distribución infraestructura} + (1)\text{Vegetación}$$

A partir de esta ecuación, se obtuvieron los valores mínimos y máximos (Cuadro 20). El valor mínimo es resultado de las características con menor riesgo de opresión costera y el máximo es resultado de las características con mayor riesgo de opresión costera.

Cuadro 20. Rango de valores de la sumatoria total de las variables consideradas en el riesgo de ocurrencia de opresión costera.

Variable	Cambio espacial de la línea de costa	Morfología del perfil de playa	Distribución granulométrica de los sedimentos	Distribución de infraestructura a lo largo de la línea de costa	Porcentaje agrupado de cobertura de GFP	Sumatoria Total
Ponderación	(1)1 (1)2 (1)3	(1)1 (1)2 (1)3	(2)1 (2)2 (2)3	(3)1 (3)2 (3)3	(1)1 (1)2 (1)3	8 16 24

Ajuste lineal de la ecuación

Para ajustar el resultado de la ecuación que integra los factores que indican proceso de opresión costera en un intervalo entre cero y uno (y), se procedió a distribuir equitativamente sus posibles valores (x), Cuadro 21.

Cuadro 21. Distribución equitativa del rango de valores (x, y).

x	Y
8	0.00
12	0.25
16	0.50
20	0.75
24	1.00

A partir del cuadro anterior se ajustó la curva por regresión lineal (mínimos cuadrados) y se obtuvo la siguiente relación $y = 0.0625x - 0.5$, Cuadro 22.

Cuadro 22. Equivalencia del rango de resultados.

X	Y
8	0.0000
9	0.0625
10	0.1250
11	0.1875
12	0.2500
13	0.3125
14	0.3750
15	0.4375
16	0.5000
17	0.5625
18	0.6250
19	0.6875
20	0.7500
21	0.8125
22	0.8750
23	0.9375
24	1.0000

Para fijar los rangos que reflejen el nivel del riesgo de ocurrencia de opresión costera, se consideraron tres posibilidades (clasificación) cuyos límites se asociaron a los percentiles (0.00-0.25, 0.25-0.50, y 0.50-1.00), Cuadro 23.

Cuadro 23. Rangos que indican el nivel de riesgo de ocurrencia de opresión costera.

Valores	Rango	Nivel de riesgo de ocurrencia de opresión costera
8-11	$0.0000 < y < 0.2500$	Sin riesgo de ocurrencia de opresión costera
12-15	$0.2500 \leq y < 0.5000$	En vías de ocurrencia de opresión costera
16-24	$0.5000 \leq y \leq 1.000^*$	Existe ocurrencia de opresión costera

*Se unieron tercer y cuarto percentil porque ambos reflejan la existencia de opresión costera.

Evaluación de las playas utilizando el índice de riesgo de ocurrencia de opresión costera desarrollado.

Para evaluar las playas del área de estudio aplicando el índice de riesgo de ocurrencia de opresión costera, se multiplica el coeficiente de las variables consideradas por el valor de la ponderación (conforme los resultados obtenidos), Cuadro 24. El valor resultante así como la sumatoria total se presenta en el Cuadro 25.

Cuadro 24. Variables ponderadas y coeficientes ajustados de las playas del área de estudio.

Playa	(Coeficiente) Categoría				
	Evolución de línea de costa	Morfología del perfil de playa	Distribución granulométrica de los sedimentos	Distribución de infraestructura en la zona paralela a la línea de costa	Agrupación del porcentaje de cobertura de los GFP
Tecolutla	(1)1	(1)1	(2)1	(3)3	(1)1
Riachuelos	(1)1	(1)3	(2)1	(3)3	(1)1
Oriente	(1)2	(1)3	(2)2	(3)3	(1)2
Casitas	(1)3	(1)3	(2)1	(3)3	(1)1
Istirinchá	(1)2	(1)1	(2)3	(3)2	(1)1
El Laurel	(1)1	(1)1	(2)3	(3)1	(1)1
Navarro	(1)1	(1)1	(2)2	(3)1	(1)1
Lechuguillas	(1)1	(1)1	(2)1	(3)2	(1)3
Boca de Ovejas	(1)3	(1)1	(2)1	(3)2	(1)1
Punta Delgada	(1)3	(1)1	(2)1	(3)1	(1)1
El Farallón	(1)1	(1)1	(2)1	(3)1	(1)1
La Mancha	(1)1	(1)1	(2)1	(3)1	(1)1
Doña Juana	(1)3	(1)1	(2)1	(3)1	(1)1
Chachalacas	(1)3	(1)1	(2)1	(3)3	(1)1

Cuadro 25. Resultado de la evaluación del índice de riesgo de ocurrencia de opresión costera.

Playa	Resultado=(Coeficiente)Categoría					Sumatoria Total
	Evolución de línea de costa	Morfología del perfil de playa	Distribución granulométrica de los sedimentos	Distribución de infraestructura en la zona paralela a la línea de costa	Agrupación del porcentaje de cobertura de los GFP	
Tecolutla	1	1	2	9	1	14
Riachuelos	1	3	2	9	1	16
Oriente	2	3	4	9	2	20
Casitas	3	3	2	9	1	18
Istirinchá	2	1	6	6	1	16
El Laurel	1	1	6	3	1	12
Navarro	1	1	4	3	1	10
Lechuguillas	1	1	2	6	3	13
Boca de Ovejas	3	1	2	6	1	13
Punta Delgada	3	1	2	3	1	10
El Farallón	1	1	2	3	1	8
La Mancha	1	1	2	3	1	8
Doña Juana	3	1	2	3	1	10
Chachalacas	3	1	2	9	1	16

Las playas que no pudieron ser evaluadas fueron:

- playa Azul, por no tener información de la evolución de su línea de costa y
- playa Santander, de la cual no se pudo obtener el perfil morfológico de la playa.

El resultado de la evaluación de las playas con el índice (sumatoria total, x) se ajustó con la ecuación $y = 0.0625x - 0.5$; y se presentan conforme la clasificación del riesgo de ocurrencia de opresión costera, Cuadro 26.

Cuadro 26. Clasificación de las playas de acuerdo al nivel de riesgo de ocurrencia de opresión costera, utilizando una escala de colores para facilidad de interpretación.

Playa	Sumatoria Total (x)	y	Clasificación del índice de riesgo de ocurrencia de opresión costera
Oriente	20	0.7500	Existe ocurrencia de opresión costera
Casitas	18	0.6250	Existe ocurrencia de opresión costera
Chachalacas	16	0.5000	Existe ocurrencia de opresión costera
Riachuelos	16	0.5000	Existe ocurrencia de opresión costera
Istirinchá	16	0.5000	Existe ocurrencia de opresión costera
Tecolutla	14	0.3750	En vías de ocurrencia de opresión costera
Lechuguillas	13	0.3125	En vías de ocurrencia de opresión costera
Boca de Ovejas	13	0.3125	En vías de ocurrencia de opresión costera
El Laurel	12	0.2500	En vías de ocurrencia de opresión costera
Navarro	10	0.1250	Sin riesgo de ocurrencia de opresión costera
Punta Delgada	10	0.1250	Sin riesgo de ocurrencia de opresión costera
Doña Juana	10	0.1250	Sin riesgo de ocurrencia de opresión costera
El Farallón	8	0.0000	Sin riesgo de ocurrencia de opresión costera
La Mancha	8	0.0000	Sin riesgo de ocurrencia de opresión costera

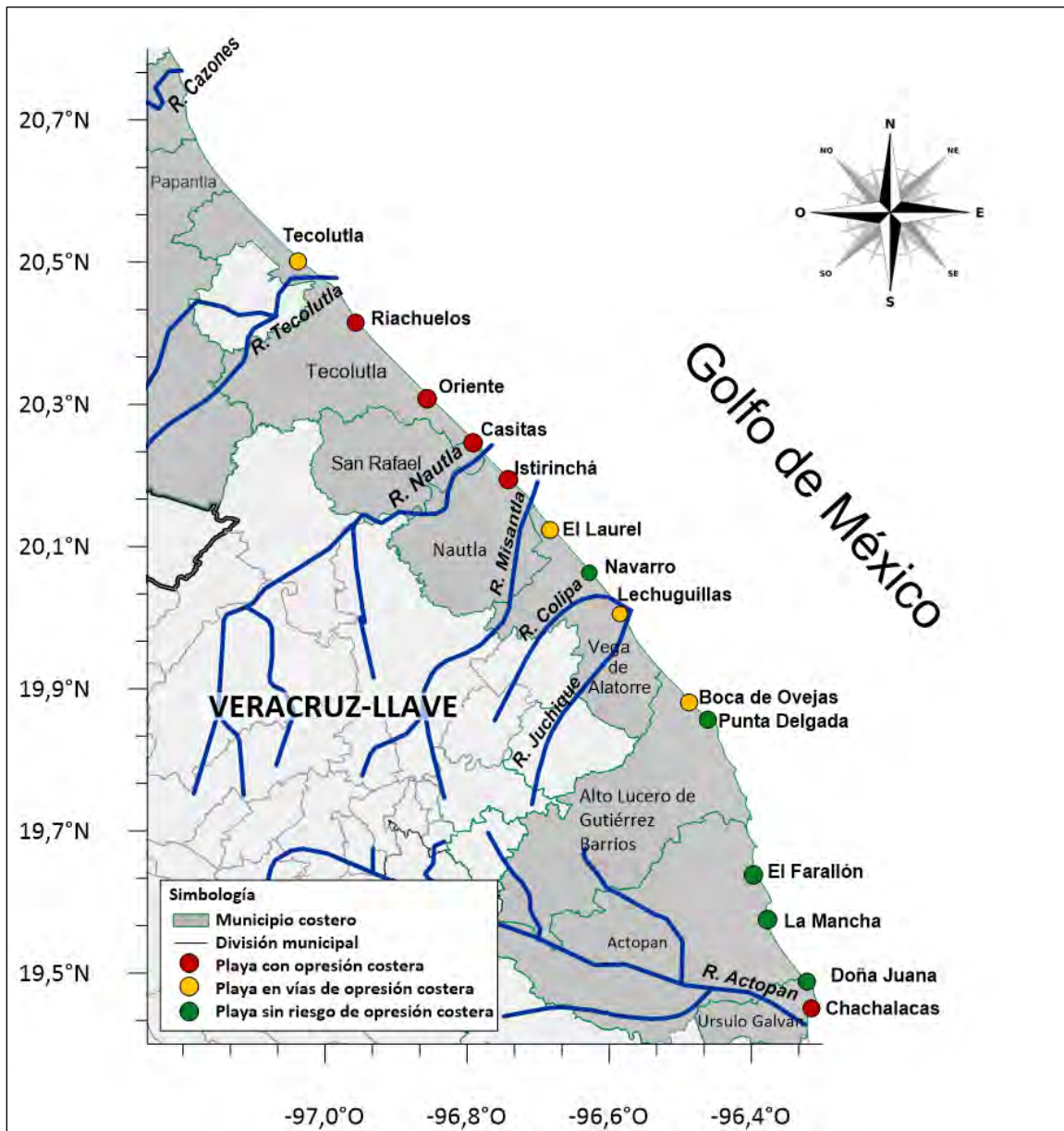


Figura 45. Mapa del nivel de opresión costera obtenido al evaluar las playas del área de estudio con el índice generado.

Playas con opresión costera

Las playas con ocurrencia de opresión costera, en orden decreciente, son Oriente, Casitas, Chachalacas, Riachuelos e Istirinchá. Las características de estas playas son heterogéneas aunque resalta la presencia de viviendas en la línea de costa en Oriente, Casitas, Chachalacas y Riachuelos. Así como la vegetación propia del sistema playa-duna frontal en Casitas, Chachalacas, Riachuelos e Istirinchá. Además Istirinchá es la playa con menor densidad de infraestructura aunque tiene un hotel. En el caso de la vegetación, playa Oriente difiere del resto porque se encontraron especies de tierra adentro.

Playa Oriente es la que tiene el valor de ocurrencia de opresión más alto. Las características únicas de esta playa son la distribución granulométrica sin una tendencia definida así como la presencia de especies de tierra adentro. Esta playa, Casitas y Riachuelos comparten un perfil reflejante; mientras que, Chachalacas e Istirinchá tienen un perfil disipativo.

Por su parte, Chachalacas y Casitas comparten una tendencia erosiva de la línea de costa, una distribución granulométrica que indica regresión y solo se encontró vegetación del sistema playa duna. Sin embargo, difieren entre sí en la morfología del perfil, ya que en el primer caso, el perfil es disipativo; mientras que, en el último caso es reflejante. De manera similar, Riachuelos tiene una distribución granulométrica que indica regresión así como vegetación propia del sistema playa duna pero ésta es la única playa de la categoría que está en acreción. Cabe mencionar que Istirinchá es la playa con menor puntaje dentro de las playas con opresión costera. Sin embargo, tiene una distribución granulométrica que indica transgresión de la playa y aunque la infraestructura es poca, ésta es turística.

Playas en vías de opresión costera

Por otra parte las playas que resultaron en vías de ocurrencia de opresión costera en orden descendiente fueron: Tecolutla, Lechuguillas, Boca de Ovejas y El Laurel. Todas comparten un perfil con barra disipativo y, con excepción de Boca de Ovejas, presentan tendencia a la acreción.

Resalta que, además de las características antes mencionadas, playa Tecolutla tiene una distribución granulométrica de los sedimentos asociada a la regresión de la playa y vegetación propia del sistema playa-duna frontal. Sin embargo, se consideró en vías de opresión porque es una playa urbana que presenta viviendas continuas en toda la línea de costa. Por su parte, playa Lechuguillas y Boca de Ovejas tuvieron el mismo valor de opresión debido a que comparten características como el mismo tipo de perfil, distribución granulométrica que indica regresión de la playa y la presencia de viviendas espaciadas. Sin embargo, difieren en la tendencia de la línea de costa y el tipo de vegetación. Lechuguillas tiene una tendencia a la acreción y la misma proporción de especies de tierra adentro que de especies propias del sistema playa-duna. En cambio, Boca de Ovejas es una playa erosiva que solo tiene especies del sistema playa-duna. El Laurel obtuvo el menor puntaje dentro de esta categoría debido a que es una playa que

está en acreción, viviendas espaciadas y vegetación propia del sistema. Sin embargo, su distribución granulométrica indica transgresión.

Playas sin opresión costera

Las playas sin riesgo de ocurrencia de opresión costera fueron playa Navarro, Punta Delgada, El Farallón, la Mancha y Doña Juana. Estas playas comparten características como un perfil con barra disipativo, una distribución granulométrica de los sedimentos que indica un proceso de regresión o sin una tendencia en específico, vegetación propia del sistema playa-duna frontal y escasa o nula infraestructura en la línea de costa.

Cabe mencionar que playa Navarro tiene una distribución granulométrica que no reflejó una tendencia de regresión o de transgresión de la playa. Además, playa Punta Delgada y Doña Juana tienen una tendencia erosiva. Sin embargo, dichas características se deben a su dinámica sedimentaria.

Discusión

En el presente estudio se generó un índice de riesgo sobre ocurrencia de opresión costera en el Centro-Norte del Estado de Veracruz, considerando la evolución de la línea de costa, la distribución granulométrica de los sedimentos, la morfología del perfil de playa, la distribución de la infraestructura en la zona paralela a la línea de costa y los grupos funcionales de plantas.

Existe opresión costera natural y antrópica, se consideró solo la antrópica debido a que la infraestructura urbana y defensa en la línea de costa son de “origen” humano. De las catorce playas evaluadas con el índice generado, se determinó que cinco están sujetas a opresión costera (Oriente, Casitas, Chachalacas, Riachuelos e Istirinchá); cuatro en riesgo de que suceda la opresión costera (Tecolutla, Lechuguillas, Boca de Ovejas y El Laurel); y las cinco restantes sin riesgo de opresión costera (Navarro, Punta Delgada, El Farallón, La Mancha y Doña Juana).

En un principio se consideró que la tendencia erosiva en la línea de costa causaría opresión costera y que lo contrario sucedería cuando hubiera acreción de la línea de costa. Solo dos de las cinco playas con opresión costera presentaron tendencia erosiva Casitas y Chachalacas. Además otras características que contribuyeron al proceso fue que ambas presentaron una distribución granulométrica de los sedimentos que indicó transgresión y presencia continua de infraestructura urbana en la línea de costa. En concordancia con esto último Schleupner (2008) estudió la opresión costera en Isla Martinica considerando entre sus parámetros los escenarios de incremento del nivel del mar (10-50 cm para 2015 y aprox. 65 cm para 2100), la presencia de infraestructura humana, y las tasas de erosión/acreción, concluyendo que el riesgo de erosión se debió en parte a la urbanización de la costa por la construcción masiva de hoteles localizados en la costa entre 5 y 10 msnm. En Casitas se observó un perfil reflejante y en Chachalacas uno con barra disipativo. Ambas playas presentaron únicamente vegetación propia del sistema playa-duna frontal. En coincidencia con este estudio, Martínez *et al.* (2014) analizaron la opresión costera a lo largo de Veracruz, mediante el análisis del cambio de uso de suelo (1995-2006), escenarios de incremento del nivel del mar (1m y 6m) y modelación del nicho ecológico determinando que el área urbana en Chachalacas se duplicó entre 1995 y 2006, desplazando pastizales y dunas. Cerca del 50% de las dunas costeras de México han sido transformadas para uso agropecuario o urbanizadas (Jiménez-Orocio *et al.* 2014). En Chachalacas la presencia de rompeolas ha disminuido la erosión y las especies vegetales están moderadamente amenazadas. El presente estudio corrobora que la zona urbana de Chachalacas siguió creciendo desde 2006, por lo que está sujeta a opresión costera.

Las tres playas restantes sujetas a opresión costera mostraron una tendencia diferente a la erosiva. En Riachuelos hay una tendencia acresiva y en Oriente e Istirinchá la línea costera tiende a ser estable. En Riachuelos la presencia de viviendas contiguas en una zona paralela a la línea de costa, aunada a la distribución granulométrica de los sedimentos que indicó transgresión de la playa, permiten caracterizarla como sujeta a

opresión costera. Aunque sólo presentó especies propias del sistema playa-duna frontal (*Ipomoea pes-caprae*, *Ipomoea imperatii*, *Canavalia rosea*, *Croton punctatus*, *Distichlis spicata* y *Oenothera drummondii*) lo cual concuerda con lo reportado por Castillo y Moreno-Casasola (1998). Oriente, a pesar de mostrar estabilidad en la línea de costa, presentó características que la identificaron como una zona expuesta a la opresión costera: un perfil reflejante; una distribución granulométrica de los sedimentos que no pudo asociarse a regresión o transgresión de la playa; la continua presencia de infraestructura urbana en la zona paralela a la línea de costa; y la presencia tanto de especies del sistema playa-duna frontal como de especies propias de tierra adentro. Por su parte en Istirinchá, además de mostrar estabilidad en la línea de costa, hay otras características que también permiten clasificarla como una zona expuesta a opresión costera: un perfil con barra disipativo y especies propias del sistema playa-duna frontal; una distribución granulométrica que indica transgresión de la playa y la presencia de viviendas espaciadas en la zona inmediata a la línea de costa.

Retomando la tendencia erosiva como un factor de mayor propensión de opresión costera. Boca de Ovejas, Punta Delgada y Doña Juana fueron otras playas del área de estudio que mostraron esta tendencia. No obstante, Boca de Ovejas se clasificó en vías de opresión costera y tanto Punta Delgada como Doña Juana se clasificaron sin riesgo a dicho proceso. Las características que contribuyeron a que Boca de Ovejas estuviera en vías de opresión costera fueron: tendencia erosiva y la presencia de viviendas espaciadas en la zona paralela a la línea de costa a pesar de presentar un perfil con barra disipativo, una distribución granulométrica que indicó regresión de la playa y vegetación exclusiva del sistema playa-duna frontal. En cuanto a Punta Delgada y Doña Juana ambas presentaron perfil con barra disipativo, distribución granulométrica de los sedimentos que indicó regresión de la playa, escasa o nula presencia de infraestructura urbana en la zona inmediata a la línea de costa sí como vegetación exclusiva del sistema playa-duna frontal, por lo que cual no se encuentran en riesgo de ocurrencia de opresión costera.

En cuanto a Tecolutla, cabe destacar que fue la única playa del área de estudio con ámbito urbano (SEDESOL, 2010), característica que la posicionó como la playa con mayor propensión a ocurrencia de opresión costera de esta categoría. El resto de sus características contribuyen a que continúe en acreción su línea de costa; el perfil con barra disipativo, la distribución granulométrica de los sedimentos que indica regresión de la playa, y el presentar exclusivamente vegetación del sistema playa-duna frontal, a pesar de haber sido alterada de manera antropogénica hasta convertirse en una playa urbanizada, sugieren que Tecolutla es una playa con gran **resiliencia** (capacidad de absorber perturbaciones, sin alterar significativamente sus características de estructura y funcionalidad) por lo que está en vías de opresión costera.

Flores (2016) analizó la opresión costera considerando erosión, urbanización y distribución de la vegetación a lo largo del litoral veracruzano y concluyó que en Tecolutla ya está sucediendo este proceso por la ausencia de especies nativas de playa o duna, la existencia de infraestructura dura en la línea de costa y la erosión de la playa. La información que concordó en ambos estudios fue el perfil de playa disipativo y la presencia de

infraestructura en la zona inmediata a la línea de costa. En lo que difieren es en el ciclo sedimentario Flores (2016) reportó erosión mientras que el presente estudio determinó que la línea de costa ha estado en contante acreción de 1986-2015. En cuanto a la vegetación Flores (2016), no reportó plantas nativas de playa o duna, mientras que en el presente estudio se encontraron únicamente especies propias del sistema playa-duna frontal, cabe destacar que en ambos estudios se realizó un muestreo único de vegetación.

Otras playas en vías de opresión costera fueron Lechuguillas y El Laurel, ambas con tendencia estable en la línea de costa y perfil con barra disipativo. Para Lechuguillas las características que la colocaron en esta clasificación fueron; presencia de viviendas espaciadas en la línea de costa así como el mismo porcentaje entre especies del sistema playa-duna frontal y especies de tierra adentro a pesar de presentar una distribución granulométrica que indicó regresión de la playa. En el caso de El Laurel la distribución granulométrica que indicó transgresión de la playa fue determinante para colocarla dentro de esta clasificación, aun cuando presentó escasa infraestructura en la línea de costa y vegetación exclusiva del sistema playa-duna frontal.

Finalmente las playas Navarro, El Farallón y La Mancha no están en riesgo de opresión costera. Sus características comunes fueron la tendencia acresiva en la línea de costa, el perfil de barra disipativo, la escasa o nula presencia de infraestructura urbana en la línea de costa y la vegetación propia del sistema playa-duna frontal. Solo difirieron en que en Navarro no hay una clara tendencia a regresión o transgresión de la playa, mientras tanto en El Farallón como en La Mancha la distribución granulométrica corresponde a una playa en regresión.

A propósito del incremento del NMM y los ecosistemas costeros, Plater y Kirby (2011) determinaron que las playas se ajustan continuamente en función de los cambios hidrodinámicos y el suministro de sedimentos. También encontraron que, como en mi caso, la erosión de las playas arenosas tiende a incrementarse por el impacto humano en la zona costera e interna, lo que aumenta el riesgo de opresión costera. Aunado a lo anterior, el tamaño y forma de las dunas también incide en su capacidad de respuesta frente a la opresión costera. Así, las dunas pequeñas, como las incipientes, embrionarias y frontales son más vulnerables a la erosión por eventos hidrometeorológicos. En cambio, los campos de dunas estabilizadas tienen mayor capacidad para responder a estos fenómenos. Sin embargo, muchos sistemas de dunas son manipulados antropogénicamente, por lo que no solo tendrían que responder ante el posible incremento en intensidad y frecuencia de los eventos hidrometeorológicos, sino también al impacto de las actividades humanas que limitan las respuestas frente a los fenómenos hidrometeorológicos, ya que restringen el funcionamiento dinámico de las costas. Por otro lado Hadley (2009) determinó que es muy difícil predecir cambios futuros en los hábitats costeros. Sin embargo, es probable que se pierda más hábitat intermareal a medida que el nivel del mar suba y haya pocas oportunidades para la migración de la línea de costa hacia tierra adentro. La erosión, la reclamación de tierras y la opresión costera dejaron una sustancial pérdida de hábitat intermareal durante el siglo XX. Helensfield *et al.* (2004) determinaron que Europa perdió el 25% de las dunas durante el siglo XX y el

85% del resto puede estar amenazada, las principales razones de esta disminución fue el fomento agrícola, el desarrollo urbano, el turismo y la recreación. En el futuro el mayor problema para las dunas costeras de Europa es la elevación del NMM que junto con el desarrollo urbano y agrícola aumentarán el fenómeno de opresión costera. Acorde con los trabajos mencionados se reafirma que el cambio de los ecosistemas costeros no solo depende del incremento del NMM sino que además intervienen varios procesos físicos e interacciones antropogénicas. Por último, este estudio concuerda con lo establecido por Hanley *et al.* (2014) respecto a que las playas y dunas son importantes en la prevención de erosión e inundación, pero su valor aumenta debido a los procesos biológicos que se llevan a cabo en ellas.

Recomendaciones

En los estudios publicados sobre opresión costera se recomienda considerar la presencia de organismos en la zona entre mareas, los escenarios de aumento del NMM y cambio en el rango de marea, cambio de uso de suelo, erosión de la playa, identificación de áreas de manglar degradadas, presencia de infraestructura en la playa o sobre las dunas y tipo de vegetación, entre otros (Schleupner, 2008; Jackson y McIlveny, 2011; Martínez *et al.* 2014). Es importante contar con un índice que evalúe la opresión costera en el sistema playa-duna frontal, que integre factores significativos que intervienen en el proceso, ya que este valor numérico permite identificar claramente el nivel de riesgo de ocurrencia de opresión costera.

La ponderación de los factores para obtener el índice, corresponde a las condiciones del área de estudio, por lo que es importante caracterizar la zona en donde busca calcularse dicho valor. Además debe considerarse si las condiciones meteorológicas del área de estudio están sujetos a fenómenos meteorológicos como nortes y ciclones. En el estado de Veracruz, los ciclones tropicales tienen un impacto moderado (CONAGUA, 2016) y la incidencia de nortes es menor en la parte del centro-norte que en el sur del estado, pero esto puede cambiar en zonas más expuestas a ciclones, como en Quintana Roo o Nayarit.

En cuanto a la distribución granulométrica de los sedimentos, tendría mayor certidumbre obtenerla a través de muestreos distribuidos en las diferentes épocas del año, por lo menos en invierno y verano, ya que este trabajo solo consideró un muestreo de sedimentos por lo que podría no ser representativo. Respecto a la vegetación se concuerda con Flores (2016) en efectuar más de un muestreo, debido a que es una zona con gran dinamismo aunado a que la urbanización afecta la distribución y presencia de especies.

Respecto a la evolución de línea de costa se recomienda no solo obtener el ancho de la playa, sino además determinar en el caso de erosión, si este cambio está relacionado con la alteración antrópica de fuentes y/o sumideros de sedimentos o es un comportamiento natural de la playa.

Por último, el área de estudio presentó poca infraestructura de defensa, en total una escollera en Tecolutla y dos rompeolas en Chachalacas. A pesar de su presencia, se decidió no considerar el efecto de estas estructuras en la dinámica sedimentaria de dicha playas, ya que el transecto de caracterización se localizó al Norte de estas estructuras y la dirección del transporte litoral del área de estudio es de Norte a Sur. Por lo anterior, sería recomendable que se considerara la ubicación del transecto a muestrear contemplando la ubicación de la infraestructura de defensa, ya que esta interfiere directamente con la dinámica sedimentaria del sistema playa-duna frontal.

Este índice puede servir para agilizar el diagnóstico de ocurrencia de opresión costera y respaldar la toma de decisiones en el manejo de estos ambientes. En algunos sitios el tiempo es un factor determinante para tomar acciones que puedan contrarrestar o detener dicho proceso. Por ejemplo Martínez *et al.* (2014) determinaron que Chachalacas en 2006 se encontraba en vías de opresión costera, desafortunadamente esto se reportó recientemente, por lo que no fue posible tomar medidas precautorias respecto al cambio de uso de suelo, continuando la urbanización de esta playa por lo que actualmente está en opresión costera. Este índice podría utilizarse como una herramienta que permita prevenir la opresión costera, ya que identifica que factor podría incidir en la ocurrencia del proceso y generar una gestión preventiva más que una de restauración.

Conclusiones

Se logró obtener un índice de riesgo de ocurrencia de opresión costera analizando la dinámica sedimentaria, los cambios geomorfológicos y la vegetación del sistema playa-duna frontal.

Respecto a los objetivos particulares, se concluye que:

Los parámetros texturales del sedimento resultaron no ser un factor determinante en el desarrollo del índice de riesgo de ocurrencia de opresión costera, pero sí proporcionaron información sobre la dinámica sedimentaria entre la playa y la duna frontal.

La presencia de infraestructura urbana así como su distribución en la zona inmediata a la línea de costa resulto ser el factor con mayor peso en el índice generado.

A pesar de que la vegetación es un rasgo representativo de la conservación o degradación del sistema playa-duna frontal, no siempre correspondió a lo esperado en un proceso de opresión costera. Por lo que habría que considerar también la existencia de especies propias de tierra adentro como resultado de actividades de jardinería y no de un proceso de sucesión natural.

Los resultados de evaluar con el índice generado las playas del área de estudio, hacen posible validarlo, debido a que las características de las playas concordaron con el grado de opresión costera obtenido.

Las playas clasificadas con opresión costera son un claro ejemplo de que dicho proceso es resultado de la interrelación de la evolución de la línea de costa, la distribución granulométrica de los sedimentos, la morfología del perfil de playa, la distribución de infraestructura urbana en la línea de costa y la vegetación presente en el sistema. La dinámica de cada playa refleja un fenómeno por el cual actúan en sinergia un conjunto de factores que en combinación determinan la ocurrencia de opresión costera.

Es de suma importancia generar una gestión preventiva que evite la pérdida de los ecosistemas costeros. Al valor estético del sistema playa-duna frontal estudiado en esta tesis debe añadirse que en casos de tormenta protege la línea de costa al disipar la energía de estos eventos.

Bibliografía

- Anikouchine, W. y Sternberg R. W., 1973. The World Ocean. An Introduction to Oceanography. Ed. Prentice-Hall. U.S.A., 118-119 pp.
- Benavente, J., García, F. J., Del Río, L. Anfuso, G. y Rodríguez-Ramírez, A., 2015. Caracterización morfodinámica de las playas españolas del Golfo de Cádiz. *Boletín Geológico y Minero*, **126** (2-3):409-426.
- Bernabeu, A. M., Medina, R., Vidal, C. y Muñoz-Pérez, J.J. 2001. Estudio morfológico del perfil de playa: modelo de perfil de equilibrio en dos tramos. *Revista Sociedad Geológica de España*, **14** (3-4): 227-236.
- Bird, E. C. F. 1996. Beach management. Ed. John Wiley & Sons. U.K., 281 pp.
- Boggs, S. Jr. 2006. Chapter 1: Weathering and Soils. En: Principles of Sedimentology and Stratigraphy, Fourth Edition, PEARSON. Ed. Prentice Hall. U.S.A., 3-19 pp.
- Buzinde, C. N., Navarrete, M. D y Duarte M. E. E. Y. 2010. Tourist's Perceptions in a Climate of Change, Eroding Destinations. *Elsevier, Annals of Tourism Research*, **37** (2), 333-354.
- Camacho, V. V. y Ruiz, L. A. 2012. Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Biociencias*, **1**(4):3-15.
- Camenen B. 2007. Simple and General Formula for the Settling Velocity of Particles. *Journal of Hydraulic Engineering*. **133** (2): 229-233.
- Carranza, E.A. y Caso, C. M., 1994. Zonificación del perfil de playa. *Geo-UNAM*, **2**(2): 26-32.
- Carranza, E. A. 2001. Grain Size and Sorting in Modern Beach Sands. *Journal of Coastal Research*, **17** (1): 38-52.
- Carranza, E. A., Kasper, Z. J. J., Rosales H.L., Morales, G.E.A. y Lozano S. C. R. 2009. Beach sand composition and provenance in a sector of the southwestern Mexican Pacific. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. **26** (2): 433-447.
- Carter, R.W.G. 1988. An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines. Ed. Academic Press. U.K. 616 pp.
- Casanoves, F., Pla, L. y Di Rienzo, J.A. 2011. Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos. *Serie Técnica, Informe Técnico No. 384*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Turrialba, Costa Rica. Disponible en:<http://www.nucleodiversus.org/uploads/file/Casanoves%20et%20al%202011%20Serie%20Tecnica%20CATIE.pdf>.

- Cojan, I. y Renard, M. 2002. Chapter II: Sediment Supply and Transport. En: Sedimentology. Ed. A. A. Balkema Publishers. India. 47-107 pp.
- CONAGUA, 2016. "Danielle 2016". Organismo de Cuenca Golfo Centro Dirección Técnica. Disponible en: <file:///C:/Users/LETI/Desktop/tabla%20de%20huracanes%20y%20tormentas.pdf>
- Cooke, R.U. y Doornkamp J.C. 1990. Chapter 10. Coastal Environments. En: Geomorphology in Environmental Management a New Introduction, Second edition. Ed. Clarendon Press. U.S.A. pp 269-302
- Davis Jr., R. A. y FitzGerald, D. M. 2004. Chapter 3: Sediments and rocks: Materials of coastal environments. En: Beaches and Coasts. Davis Jr. R.A. & FitzGerald, D.M. Ed. Blackwell Publishing. U.S.A., 47-55 pp.
- Day, T. 2003. Exploring the Ocean. Vol 1: The Physical Ocean. Ed. Oxford University Press. U.S.A, 28-29 pp.
- Doody, P. J. 2004 Coastal squeeze- an historical perspective *Journal of Coastal Conservation*. **10**:129-138 pp.
- Doody, P.J. 2013. Coastal squeeze and managed realignment in southeast England, does it tell us anything about the future? *Elsevier, Ocean & Coastal Management*. **79**: 34-41.
- Estadísticas del Agua en México, 2011. Capítulo 2 Situación de los recursos hídricos. Disponible en: http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/SINA/Capitulo_2.pdf
- Feagin, A. R. y X. Ben Wu, 2007. The Spatial Patterns of Functional Groups and Successional Direction in a Coastal Dune Community. *Rangeland Ecology and Management*. **60**: 417-425.
- Flor, R.G. 1990. Tipología de dunas eólicas. Procesos de erosión-sedimentación costera y evolución litoral de la provincia de Huelva (Golfo de Cádiz Occidental, Sur de España). *Estudios geológicos*. **46**:99-109.
- Flores, B. P.A. 2016. Evaluación de la opresión costera y sus consecuencias en las playas arenosas y dunas costeras de Veracruz. Tesis de maestría. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz. 188 pp.
- Folk, R. L. 1974. Petrology of Sedimentary Rocks. Austin, Texas, 182 pp.
- Frias, V. A. y Moreno, C. G. 1988. Ingeniería de Costas, Segunda Edición, Ed. Limusa. México, 333 pp.
- Friedman, G. M., Sanders, J. E., Kopaska-Merkel D. C. 1992. Chapter 2: Sediments: Names, Particles, Bulk Properties. En: Principles of Sedimentary Deposits. Stratigraphy and Sedimentology. McMillian Publishing Company, New York, 23-95 pp.

- Fujii, T., y Raffaelli, D. 2008. Sea-level rise, expected Environmental changes, and responses of intertidal benthic macrofauna in the Humer estuary, UK. *Marine Ecology Progress Series*. **175**: 725-735 pp.
- Gallego-Fernández, J.B. y Martínez, M. L. 2011. Environmental filtering and plant functional types on Mexican foredunes along the Gulf of Mexico. *Écoscience*. **18** (1): 52-62.
- García, F. M y Maza, A.J.A. 1998. Capítulo 7: Origen y propiedades de los sedimentos. En: Manual de Ingeniería de Ríos. Serie del Instituto de Ingeniería 601.
- García-Mora, M.R., Gallego-Fernández, J.B. y García-Novo, F. 1999. Plant functional types in coastal foredunes in relation to environmental stress and disturbance. *Journal of Vegetation Science*. **10**: 27-34.
- García-Mora, M.R., Gallego-Fernández, J.B., Williams A. T. y García-Novo, F. 2001. A Coastal Dune Vulnerability Classification. A Case Study of the SW Iberian Peninsula. *Journal of Coastal Research*. **17**(4): 802-811.
- Gobierno del Estado de Veracruz. V Informe de gobierno 2014-2015. Resumen ejecutivo. Disponible en: http://quintoinforme.veracruz.gob.mx/Resumen_Ejecutivo/#1/z
- Goldsmith, V. 1985. Chapter 5: Coastal Dunes. En: Coastal Sedimentary Environments, Second Revised, Expanded Edition, Edited by Davis Jr. Richard A. Ed. Springer-Verlag. U.S.A., 303-378 pp.
- Hadley, D. 2009. Land use and the coastal zone. *Elsevier, Land use Policy*, **26S**: S198-S203
- Hanley, M. E., Hoggart, S. P. G., Simmonds, D. J. Bichot, A., Colangelo, M. A., Bozzeda, F., Heurtefeux, H., Ondiviela, B., Ostrowski, R., Recio, M., Trude, R., Zawadzka-Kahlau, E. y Thompson, R. C. 2014. Shifting sands? Coastal protection by sand banks, beaches and dunes. *Elsevier: Coastal Engineering*. **87**:136-146.
- Helensfield, P., Jungerius, P. D., Klijn, J. A., 2004. European policy for coastal dunes. En: Martínez, M. L., Psuty, N. P. (Eds.), Coastal Dunes- Ecology and Conservation. Ecological Studies, 171. Springer-Verlag, berlin, Germany, 335-351 pp.
- Hernández, R. S. A. y Ramírez, B. M. A. 2014. Nuestro medio. Nunca digas, “de esta agua no beberé”. *La Ciencia y el Hombre. REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA DE LA UNIVERSIDAD VERACRUZANA*. **XXVII** (2) Mayo-Agosto. Disponible en: <https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol27num2/articulos/nunca-digas.html>
- Hesp, P. A. 2000. Coastal Sand Dunes: Form and Function. *Coastal Dune Vegetation Network, Technical Bulletin*. **4**, Massey University, Nueva Zelanda. 28 pp. Disponible en: <http://117.6.132.190:8088/dls5/users/data/TV%20STK/Coastal%20sand%20dunes.pdf>.
- Hill, K. 2001. Beach Habitats. Smithsonian Marine Station. Disponible en: <http://www.sms.si.edu/irlspec/Beaches.htm>

- Günther, H., Hasselmann, S., y Janssen, P. A. 1992. The WAM model cycle 4. Deutsches Klimarechenzentrum (DKRZ), Hamburg (Germany).
- INECC. 2008. Informe final Evaluación regional de la vulnerabilidad actual y futura de la zona costera mexicana y los deltas más impactados ante el incremento del nivel del mar debido al cambio climático y fenómenos hidrometeorológicos extremos. Disponible en:
http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimaticoe2008_ev_regional_zcm.pdf
- INEGI, Clima de Veracruz Ignacio de la Llave. Disponible en:
<http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/ver/territorio/clima.aspx?tema=me&e=30>
- INEGI. 2013. Anuario Estadístico y Geográfico de los Estados Unidos Mexicanos 2013, 2014. Disponible en:
http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espa%F101/bvinegi/productos/integraci%F3n/pais/aeum/2013/AEGEUM2013.pdf
- IPCC, PNUMA y OMM. 2007. Informe del grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Informe de síntesis. Disponible en: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
- Jackson, A. C. y McIlvenny, J., 2011 Coastal squeeze on rock shores in northern Scotland and some possible ecological impacts. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. **400**, 314-321.
- Jevrejeva, S., Moore, J. C., Grinsted, A. 2010. How will sea level respond to changes in natural and anthropogenic forcing by 2100? *Geophysical Research Letters* **37**, (article number) L007703.
- Johnson, J.W. 1956. Chapter 5: Dynamics of nearshore sediment movement. En: *Beach processes and coastal hydrodynamics*. (Eds.). Benchmark Paper in Geology. **39**: 121-142.
- Kasper, Z.J.J y Carranza, E.A. 2005. Grain size discrimination between sands of desert and coastal dunes from northwestern Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, **22** (3): 383-390.
- Kasper, Z.J.J., Armstrong, A.J.S., Carranza, E. A., Morton, B.O. y Lozano, S.C.R. 2013. Control in Beach and Dune Sands of the Gulf of Mexico and the Role of Nearby Rivers. *International Journal of Geosciences*. **4**: 1157-1174.
- Keddy, P.A. 1992. Assembly and response rules: Two goals for predictive community ecology. *Journal of Vegetation Science*. **3**: 157-164.
- Ley-Vega, S.C., Gallego-Fernández J.B. y Vidal P.C. 2007. Manual de restauración de dunas costeras. Gobierno de España, Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Costas. Disponible

en:http://www.magrama.gob.es/es/costas/publicaciones/cap01_introduccion_tcm7-198449.pdf

- Mani M.R. y Dinesh K.P.K. 2014. Implications of sea level rise scenarios on land use/land cover classes of the coastal zones of Cochin, India, *Elsevier: Journal of Environmental Management*, 1-10. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.06.010>
- Marín, G.A. P. y Carranza E.A. 2011. Inferencia de transporte litoral dominante del Golfo de México. En: *Interacciones en el Planeta Tierra*. Gío A.R. & Rosales H.M.T.L. Ed. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. México, 39-46 pp.
- Martínez, M.L., Gallego, F.J.B., García, F. J.G., Moctezuma, C. y Jiménez C. D. 2006. Assessment of coastal dune vulnerability to natural and anthropogenic disturbances along the Gulf of Mexico. En: *Costal Dunes: Environmental Conservation*. **33**(2): 109-117.
- Martínez, M. L., Intralawan, A, Vázquez, Pérez-Maqueo, O, Sutton, P y Landgrave, R. 2007. The coasts of our world: Ecological, economic and social importance. *Elsevier: Ecological Economics*. **63**:254-272.
- Martínez, M. L. 2009. Las playas y las dunas costeras: un hogar en movimiento. Ed. Fondo de Cultura Económica: México, 24-139 pp.
- Martínez, M.L., Mendoza-González, G., Silva-Casarín, E. y Mendoza-Baldwin. 2014. Land use changes and sea level rise may induce a "coastal squeeze" on the coasts of Veracruz, Mexico. *Global Environmental Change*.**29**: 180-188.
- Martínez, R.S 2013. Estudio morfodinámico de una playa lineal. Aplicación al caso de Gandia. Trabajo final de Máster Universitario en Evaluación y Seguimiento Ambiental de Ecosistemas Marinos y Costeros, Universidad Politécnica de Valencia y Universidad Politécnica Superior de Gandia. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/34979/Estudio%20morfodin%C3%A1mico%20de%20una%20playa%20lineal%20.%20Aplicaci%C3%B3n%20al%20caso%20de%20Gand%C3%ADa.pdf?sequence=1>
- Masselink, G. y Short, A.D. 1993. The Effect of Tide Range on Beach Morphodynamics and Morphology: A Conceptual Beach Model. *Journal of Coastal Research*. **9** (3):785-800.
- McKena, J., MacLeod, M., Power, J, Cooper, A. 2000. Rural Beach Management: A Good Practice Guide. Ed. Donegal County Council. Ireland. 116 pp.
- Medina, R., Losada, I., Losada, M. A. y Vidal C. 1995. Variabilidad de los perfiles de playa: Forma y distribución granulométrica. *Ingeniería del Agua*. **2**(Num. Extraordinario): 133-142 pp.
- Merlotto, A. y Bértola, G. 2008. Evolución urbana y su influencia en la erosión costera en el Balneario Parque Mar Chiquita, Argentina. *Papeles de Geografía*, **47-48**, 143-158 pp.

- Moreno-Casasola, P. 2004. Capítulo 3: Las playas y dunas del Golfo de México. En Diagnóstico Ambiental del Golfo de México. INE-SEMARNAT Compiladores Margarita Cas, Irene Pisanty y Exequiel Ezcurra. **1**:491-520.
- Müller, H. K. 1992. Las dunas como ecosistemas: experiencias en Europa, Arabia y Africa. *Bosque, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales*.**13** (1): 9-21.
- Pérez, M. O., Muñoz, V.L., Vázquez, G., Equihua Z. M. y León, R.P. 2006. Recursos hídricos. Disponible en:
http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/pdf/Veracruz/Volumen_I/Seccion_IV-B.pdf
- Pethick, J. 2001. Coastal management and sea-level rise. *Elsevier*.**42**: 307-322.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E., Siever, R. 1973. Chapter 9: Transport, Deposition, and Deformation of Sand. En: Sand and Sandstone. Ed. Springer-Varlag, New York, 327-382 pp.
- Pham, A.M., Descantes, Y. y de Larrard F. 2011. Determination of sieve grading curves using an optical device. *Elsevier: Mechatronics*.**21**: 298-309.
- Phillips, M.R. y Jones A.L. 2006. Erosion and tourism infrastructure in the coastal zone: Problems, consequences and management. *Elsevier*. **27**: 517-524.
- Plater, A. J. y Kirby J. R. 2011. Sea-Level Change and Coastal Geomorphic Response. En: Wolanski, E y McLusky, D.S. Eds. Treatise on Estuarine and Coastal Science. Elsevier Academic Press.
- PNUMA. 2013. Informe anual de 2013. Disponible en:
http://www.unep.org/spanish/Annualreport/2013/docs/PNUMA_Annual%20Report_low.pdf
- Pontee, N. 2013. Defining coastal squeeze: A discussion. *Elsevier*. **84**: 204-207.
- Reineck, H. E y Singh, I.B. 1973. Part I. Primary Structures and Textures: Sediment Grain Parameters. En: Depositional Sedimentary Environments. Ed. Springer-Varlag, New York, 132-137 pp.
- Ritchie, W. 1993. A Classification of the Coastal Dunes of Louisiana. En: Coastlines of the Gulf of Mexico, Shirley Laska and Andrew Puffer. Ed. ASCE 18-28 pp.
- Ruiz, G., Silva, R., Posada, G., Pérez, D. & Bautista, E. 2009. Modelo híbrido para la caracterización del oleaje. *Ingeniería Hidráulica en México*. **XXIV** (3): 5-22.
- Sánchez-Arcilla, A y Jiménez, J.A. 1994. Ingeniería de Playas (I): Conceptos de Morfología Costera, *Ingeniería del Agua*. **1**(2): 97-114.
- 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.

- Schleupner, C. 2008. Evaluation of coastal squeeze and its consequences for the Caribbean island Martinique. *Elsevier: Ocean Coastal Management*. **51**: 383-390.
- Scott, T., Masselink, G. y Russell, P. 2011. Morphodynamic characteristics and classification of beaches in England and Wales. *Elsevier: Marine Geology*. doi:10.1016/j.margeo.2011.04.004
- SCT, 2008. Programa rector del desarrollo litoral del Estado de Veracruz, de Ignacio de la Llave. Disponible en: <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/CGPMM/PNDP2008/doc/pred/pver.pdf>
- SEDESOL, 2010. Catálogo de localidades. Disponible en: <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/LocdeMun.aspx?tipo=clave&campo=loc&ent=30&mun=033>
- Shelley, Richard. 2000. Chapter 2: Weathering and the Sedimentary Cycle En Applied Sedimentology, Second Edition. Ed. Academic Press. U.S.A., 21-39 pp.
- Silva, R., Díaz, G., Contreras, A., Bautista, G. & Sánchez, C. 2000. Determination of oceanographic risks from hurricanes on Mexican Coast. 6th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting. Monterrey, California. 137-151.
- Silva, R., Govaere, G., Salles, P., Bautista, G. & Díaz, G. 2002. Oceanographic vulnerability to hurricanes on the Mexican coast. ASCE, Coastal Engineering, 39-51.
- Solomon, P.E., Berg, R.L., Martin W.D. y Ville, C. 1998. Capítulo 53: Ecología de comunidades. En: *Biología de Ville*. Ed. McGraw-Hill Interamericana. 1150-1166 pp.
- Tarback, E.J., y Lutgens, F.K. 2005. Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física. Ed. PEARSON Prentice Hall, 214-220 pp.
- Taylor, J. A., Murdock, A. P. y Pontee, N. L. 2004. A macroscale analysis of coastal steepening around the coast of England and Wales. *Geographical Journal* **170** (3). 179-188 pp.
- Thurman, H. 1990. Essentials of Oceanography. Third Edition. Ed Merrill Publishing Company, 83-87 pp.
- UC, 2016. Geoformas eólicas. Universidad Católica de Chile, Instituto de Geografía. Disponible en: http://www7.uc.cl/sw_educ/geografia/geomorfologia/html/5_2_3.html
- Van Rijn, L. C. 1998. Chapter 4: Sand Coasts, 4.1: Cross-shore profile morphology. En: Principles of Coastal Morphology. Ed. Aqua Publications. Amsterdam. 4.229-4.237 pp.
- Vázquez, B. A. 2008. Evaluación regional de la vulnerabilidad actual y futura de la zona costera mexicana y los deltas más impactados ante el incremento del nivel del mar debido al cambio climático y fenómenos hidrometeorológicos extremos. Informe final. Ed. INE, UNAM y SEMARNAT. 121 pp.

- Vidal C., Losada, M.A., Medina, R. y Losada I. 1995. Modelos de morfodinámica de playas. *Ingeniería del Agua*. **2** (Num. Extraordinario). 55-74 pp.
- WAMDI GROUP. 1988. The WAM model – A third generation ocean wave prediction model. *Journal of Physical Oceanography*. **18**: 1775-1810.
- Zavala, H.J., S.L. Morey, y J.J. O'Brien. 2003. Seasonal circulation on the western shelf of the Gulf of Mexico using a high-resolution numerical model. *Journal of Geophysical Research*. **108**:19-1 to 19-19.

Anexos

Tratamiento previo al análisis granulométrico

Es necesario que la muestra de sedimento se seque previamente al análisis granulométrico, la razón es que los granos de arena estén bien separados ya que la humedad provoca adherencia entre ellos. El secado debe realizarse en condiciones controladas ya que una temperatura muy elevada podría llegar a cementar los granos de arena.

Secado de la muestra de sedimento

Se retiró la humedad de la muestra de sedimento utilizando una estufa Barnstead International (BI), Modelo 3512, Volts 120, Amp. 6.6, Watts 800, Hz. 50/60; para lo cual fue necesario vaciar aprox. 250 gr de muestra en una cápsula de porcelana depositar ésta dentro de la estufa durante 12 horas a 40 °C (Imagen 1).

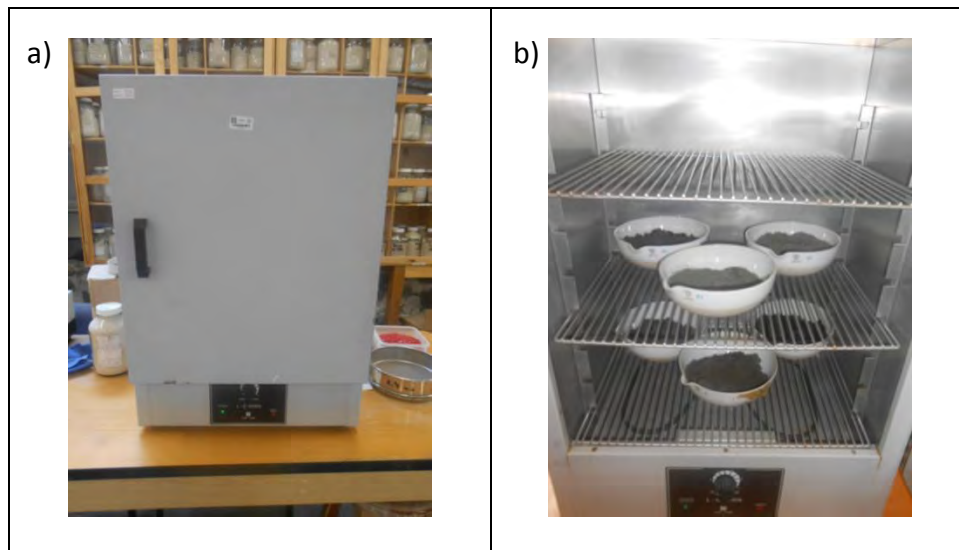


Imagen 1. Proceso de secado usando a) Estufa con temperatura controlada. b) Muestra de sedimento en proceso de secado.

Para las muestras que seguían presentando humedad posterior a este tratamiento, se vertía la muestra en una secadora Restsch, TG200 de lecho fluidizado para su secado total, esta secadora actúa de forma cuidadosa y sin sobrecalentamiento puntual, ya que cuenta con un ventilador que proporciona un caudal óptimo (185 m³/h) que separa y mezcla bien el material a secar en corto tiempo (Imagen 2).

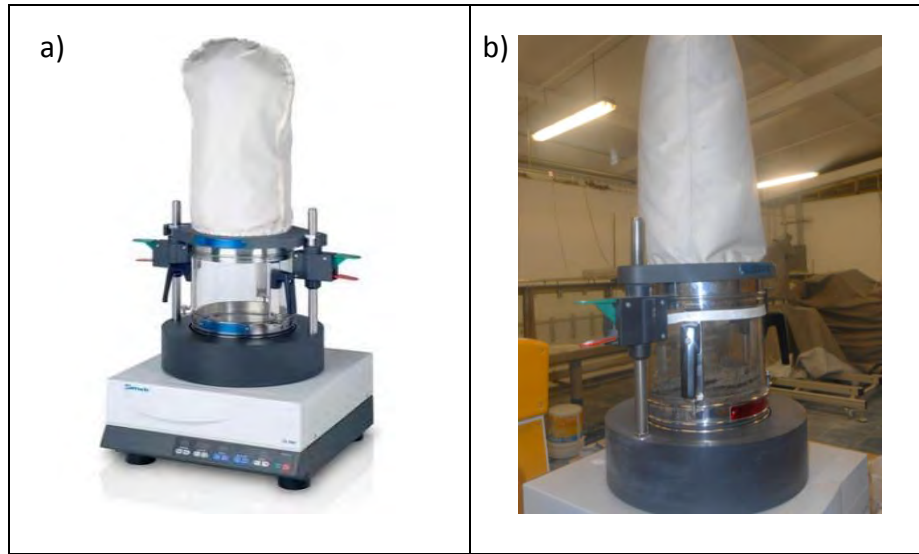


Imagen 2. Secado total por medio de a) Secadora de lecho fluidizado. b) Muestra de sedimento en proceso de secado. a) <http://www.directindustry.es/prod/retsch/secadores-lecho-fluidizado-laboratorio-19308-409183.html>

Pesaje de la muestra de sedimento

Después del secado total de cada muestra de sedimento, se pesaron 100 gr en una balanza OHAUS, PIONEER, Modelo PA512C, con calibración interna y sensibilidad de 0.01 g, con capacidad máxima de 510 g, burbuja de nivel frontal para su nivelación, 8-14 Volts y 50/60 Hz. (Imagen 3).



Imagen 3. Pesaje de muestra de sedimento.

Análisis granulométrico utilizando el equipo CAMSIZER

Para ubicar una muestra de sedimentos dentro de cualquier clasificación, se requiere de la prueba de cribado a través de la cual se obtiene la curva de distribución granulométrica. Esta prueba se realizó mediante el equipo CAMSIZER Restsch Technology.

El CAMSIZER emplea el análisis dinámico de imágenes para medir simultáneamente la distribución granulométrica, la forma de las partículas y otros parámetros, el caudal de sedimento pasa entre la fuente de luz y las cámaras (Imagen 4). Las sombras proyectadas por las partículas son ópticamente registradas, digitalizadas y procesadas en el ordenador conectado. Además de que el principio de medición está libre de interferencias ya que el proceso es automatizado, el rango de medición es de 30 μm a 3.0 mm y tiene excelente reproducibilidad y compatibilidad con el análisis por tamizado.

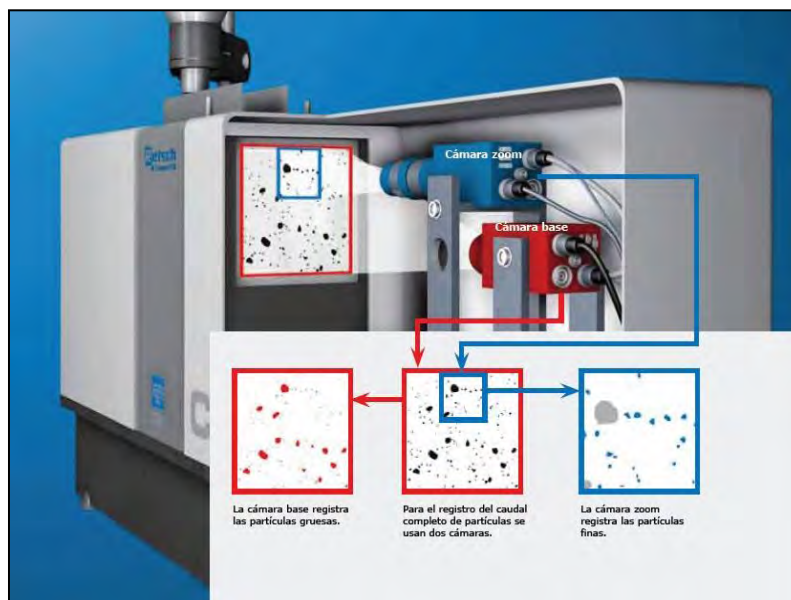


Imagen 4. Funcionamiento del CAMSIZER. Tomado de http://www.retsch-technology.es/dltmp/www/53e4b55c-5e9c-420a-832f-636500000000-4ce9255d1a75/brochure_camsizer_es.pdf

La muestra de sedimento (100 gr) se vierte a través de una tolva de acero inoxidable, la carga de la muestra se realiza mediante un canal de alimentación que hace que las partículas se separen al caer después pasan por placas deflectoras las cuales permiten que hasta los materiales más finos caigan sin turbulencia en el área de enfoque de cámaras (Imagen 5).

En el área de medición dos cámaras digitales (CCD) se reparten el registro de partículas: la cámara base (CCB) registra las partículas grandes, y la cámara zoom (CCD-Z) las partículas finas. Lo que permite mediante un software obtener las curvas de distribución granulométrica en tiempo real, la gráfica mencionada se conoce como curva granulométrica y de ella se obtienen diámetros representativo D_x así como el % del material que posee ese diámetro (Imagen6).

A partir de esta curva es posible definir el diámetro y la esfericidad asociados a la media de la distribución de diámetros.

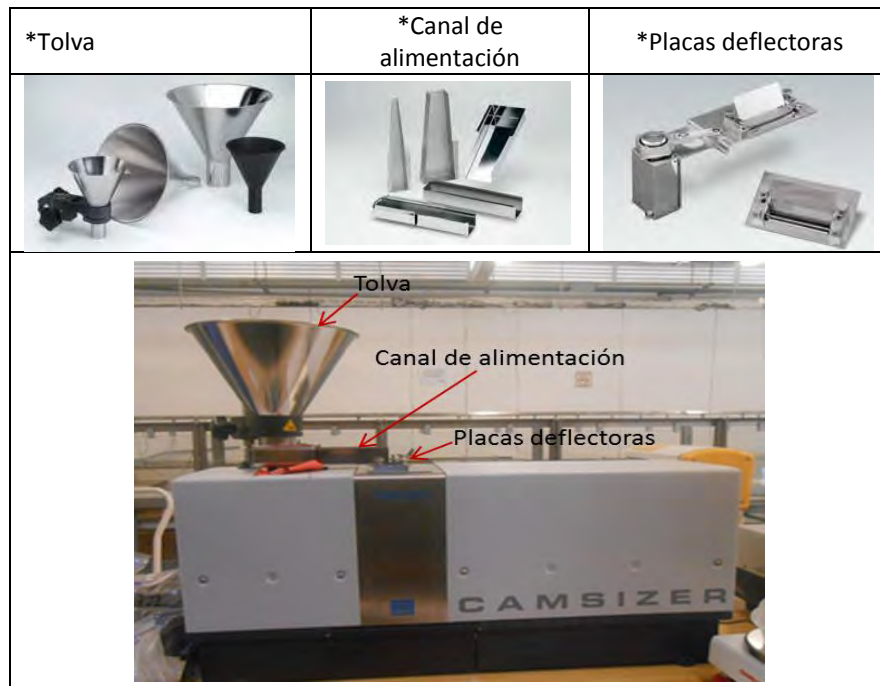


Imagen 5. Equipo de análisis dinámico de imágenes CAMSIZER.* Tomado de http://www.retsch-technology.com/dtmp/www/53e4b554-3654-473b-9a08-636500000000-938b24508580/brochure_camsizer_en.pdf

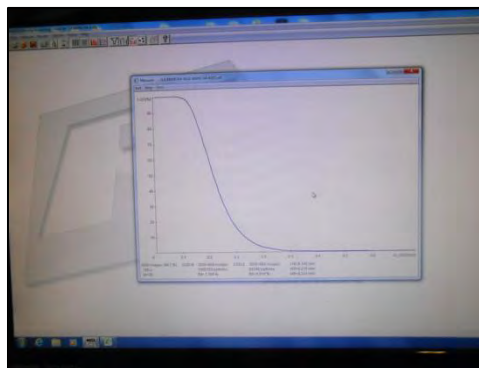


Imagen 6. Obtención de curva granulométrica mediante software.

Redondez y Esfericidad de los sedimentos en Playa

Tabla 1. Redondez y esfericidad de los sedimentos del ambiente Playa.

Playa	Subambiente	Redondez	Esfericidad
Azul	Infraplaya	0.87	0.82
Tecolutla	Infraplaya	0.88	0.84
Riachuelos	Infraplaya	0.87	0.81
Oriente	Infraplaya	0.87	0.81
Casitas	Infraplaya	0.88	0.84
Istirinchá	Infraplaya	0.88	0.84
Laurel	Infraplaya	0.87	0.82
Navarro	Infraplaya	0.88	0.83
Lechuguillas	Infraplaya	0.87	0.83
Santander			
Boca de Ovejas	Infraplaya	0.88	0.83
Punta Delgada	Infraplaya	0.86	0.82
El Farallón	Infraplaya	0.88	0.84
La Mancha	Infraplaya	0.88	0.83
Doña Juana	Infraplaya	0.90	0.88
Chachalacas	Infraplaya	0.88	0.83
Azul	Mesoplaya	0.80	0.68
Tecolutla	Mesoplaya	0.86	0.82
Riachuelos	Mesoplaya	0.88	0.82
Oriente	Mesoplaya	0.88	0.83
Casitas	Mesoplaya	0.88	0.84
Istirinchá	Mesoplaya	0.88	0.85
Laurel	Mesoplaya	0.87	0.83
Navarro	Mesoplaya	0.88	0.83
Lechuguillas	Mesoplaya	0.87	0.80
Santander	Mesoplaya	0.88	0.83
Boca de Ovejas	Mesoplaya	0.88	0.85
Punta Delgada	Mesoplaya	0.87	0.82
El Farallón	Mesoplaya	0.86	0.80
La Mancha	Mesoplaya	0.80	0.82
Doña Juana	Mesoplaya	0.88	0.86
Chachalacas	Mesoplaya	0.86	0.82
Azul	Supraplaya	0.89	0.87
Tecolutla	Supraplaya	0.89	0.87
Riachuelos	Supraplaya	0.89	0.85
Oriente	Supraplaya	0.89	0.87
Casitas	Supraplaya	0.89	0.87
Istirinchá	Supraplaya	0.89	0.86
Laurel	Supraplaya	0.89	0.85
Navarro	Supraplaya	0.89	0.86
Lechuguillas	Supraplaya	0.88	0.84
Santander	Supraplaya	0.89	0.85
Boca de Ovejas	Supraplaya	0.88	0.86
Punta Delgada	Supraplaya	0.89	0.86
El Farallón	Supraplaya	0.89	0.85
La Mancha	Supraplaya	0.89	0.85
Doña Juana	Supraplaya	0.89	0.85
Chachalacas	Supraplaya	0.89	0.86

Valor mínimo destacado en azul y valor máximo destacado en color rojo.

Redondez y Esfericidad de los sedimentos en Duna

Tabla 2. Redondez y esfericidad de los sedimentos del ambiente Duna.

Playa	Subambiente	Redondez	Esfericidad
Azul	Barlovento	0.89	0.87
Tecolutla	Barlovento	0.89	0.87
Riachuelos	Barlovento	0.89	0.86
Oriente	Barlovento	0.88	0.86
Casitas	Barlovento	0.88	0.86
Istirinchá	Barlovento	0.89	0.86
Laurel	Barlovento	0.89	0.85
Navarro	Barlovento	0.88	0.86
Lechuguillas	Barlovento	0.89	0.86
Santander	Barlovento	0.89	0.86
Boca de Ovejas	Barlovento	0.89	0.86
Punta Delgada	Barlovento	0.89	0.86
El Farallón	Barlovento	0.88	0.87
La Mancha	Barlovento	0.88	0.86
Doña Juana	Barlovento	0.88	0.85
Chachalacas	Barlovento	0.88	0.86
Azul	Cima duna	0.88	0.87
Tecolutla	Cima duna	0.88	0.87
Riachuelos	Cima duna	0.88	0.86
Oriente	Cima duna	0.89	0.86
Casitas	Cima duna	0.88	0.83
Istirinchá	Cima duna	0.88	0.85
Laurel	Cima duna	0.88	0.85
Navarro	Cima duna	0.88	0.85
Lechuguillas	Cima duna	0.89	0.86
Santander	Cima duna	0.87	0.82
Boca de Ovejas	Cima duna	0.88	0.85
Punta Delgada	Cima duna	0.88	0.85
El Farallón	Cima duna	0.89	0.86
La Mancha	Cima duna	0.88	0.86
Doña Juana	Cima duna	0.88	0.85
Chachalacas	Cima duna	0.89	0.87
Azul	Sotavento	—	—
Tecolutla	Sotavento	0.89	0.87
Riachuelos	Sotavento	0.88	0.86
Oriente	Sotavento	—	—
Casitas	Sotavento	0.88	0.85
Istirinchá	Sotavento	0.88	0.85
Laurel	Sotavento	0.88	0.85
Navarro	Sotavento	—	—
Lechuguillas	Sotavento	—	—
Santander	Sotavento	0.88	0.85
Boca de Ovejas	Sotavento	—	—
Punta Delgada	Sotavento	0.89	0.87
El Farallón	Sotavento	0.88	0.86
La Mancha	Sotavento	0.88	0.86
Doña Juana	Sotavento	0.89	0.85
Chachalacas	Sotavento	0.89	0.87

Valor mínimo destacado en azul y valor máximo destacado en color rojo.

Especies vegetales en el área de estudio

Tabla 3. Especies vegetales encontradas en las playas del área de estudio.

Especie	Playa															
	Azul	Tecolutia	Riachuelos	Oriente	Casitas	Istirinchá	El Laurel	Navarro	Lechuguillas	Santander	Boca de Ovejas	Punta Delgada	El Farallón	La Mancha	Doña Juana	Chachalacas
<i>Bidens pilosa</i>				X			X									
<i>Canavalia rosea</i>	X		X								X			X		
<i>Chamaecrista chamaecristoides</i>		X														
<i>Chrisobalanus icaco</i>							X									
<i>Cocos nucifera</i>				X												
<i>Commelina erecta</i>				X							X					
<i>Crotolaria incana</i>	X					X			X							
<i>Croton punctatus</i>	X	X	X	X		X	X		X	X			X			
<i>Distichlis spicata</i>	X		X	X	X						X					
<i>Euphorbia torrida</i>					X				X					X		
<i>Hidrocotyle bonariensis</i>	X			X												
<i>Ipomoea imperatii</i>	X	X	X	X	X	X	X			X			X	X		
<i>Ipomoea pes-caprae</i>			X					X		X	X	X	X	X		X
<i>Macroptilium atropurpureum</i>														X		
<i>Martynia annua</i>																X

Especie	Playa															
	Azul	Tecolutla	Riachuelos	Oriente	Casitas	Istirinchá	El Laurel	Navarro	Lechuguilas	Santander	Boca de Ovejas	Punta Delgada	El Farallón	La Mancha	Doña Juana	Chachalacas
<i>Oenothera drummondii</i>			X			X	X									
<i>Okenia hypogea</i>					X											
<i>Palafoxia lindenii</i>								X	X	X	X		X	X		X
<i>Panicum maximum</i>		X		X		X										
<i>Randia laetevirens</i>							X		X							
<i>Schizachyrium scoparium</i>														X		
<i>Sesuvium portulacastrum</i>						X	X					X	X	X	X	
<i>Sporobolus virginicus</i>				X							X		X			

Grupo Funcional de cada especie vegetal

Tabla 4. Grupo Funcional al que pertenece cada especie perteneciente al área de estudio.

Especie	Grupo Funcional de Plantas				
	1	2	3	4	5
<i>Bidens pilosa</i>				X	
<i>Canavalia rosea</i>	X				
<i>Chamaecrista chamaecristoides</i>		X			
<i>Chrisobalanus icaco</i>	X				
<i>Cocos nucifera</i>					X
<i>Commelina erecta</i>				X	
<i>Crotolaria incana</i>					X
<i>Croton punctactus</i>		X			
<i>Distichlis spicata</i>	X				
<i>Euphorbia torrida</i>			X		
<i>Hidrocotyle bonariensis</i>				X	
<i>Ipomoea imperatii</i>	X				
<i>Ipomoea pes-caprae</i>	X				
<i>Macroptilium atropurpureum</i>			X		
<i>Martynia annua</i>					X
<i>Oenothera drummondii</i>		X			
<i>Okenia hypogea</i>	X				
<i>Palafoxia lindenii</i>		X			
<i>Panicum maximum</i>				X	
<i>Randia laetevirens</i>					X
<i>Schizachyrium scoparium</i>		X			
<i>Sesuvium portulacastrum</i>	X				
<i>Sporobolus virginicus</i>	X				

Parámetros para obtener la morfología del perfil de playa

Tabla 5. Altura máxima de rotura de la ola, velocidad de sedimentación, período pico, parámetro adimensional de velocidad de caída del sedimento y rango de marea medio relativo.

Playa	H_{sb}	ω_s	T_p	Ω	RMMR
Azul	0.7425	0.03442	6.2008	3.479	1.48
Tecolutla	2.3125	0.02724	6.1058	13.904	0.48
Riachuelos	0.3300	0.06789	6.1058	0.796	3.33
Oriente	0.3764	0.04071	6.1590	1.501	2.92
Casitas	0.3764	0.03107	6.1590	1.967	2.92
Istirinchá	1.6378	0.02989	6.1590	8.895	0.67
El Laurel	1.4348	0.04515	6.1861	5.137	0.77
Navarro	1.4348	0.02635	6.1861	8.801	0.77
Lechuguillas	1.9705	0.04239	6.2298	7.462	0.56
Santander					0.37
Boca de Ovejas	2.6358	0.03986	6.2298	10.614	0.42
Punta Delgada	3.0056	0.02842	6.2298	16.975	0.37
El Farallón	3.1373	0.03312	6.2006	15.279	0.35
La Mancha	3.2673	0.03195	6.2006	16.494	0.34
Doña Juana	3.4333	0.03107	6.1504	17.967	0.32
Chachalacas	2.2929	0.02665	6.1504	13.990	0.48