



ISSN 2304-0963  
doi: 10.25267/Costas



Vol. 4 (2): 53-76. 2022      Artículo Científico/ Artículo Científico / Scientific Article

Quiroz-Villanueva, E., Cervantes, O., Olivos-Ortiz, A., Martínez-Díaz, T. 2022. Assessment of the vulnerability of the coastal dunes on the Colima, Mexico coast. *Revista Costas*, 4(2): 53-76. <https://doi.org/10.25267/Costas.2023.v4.i2.0304>

# Evaluación de la Vulnerabilidad de las Dunas Costeras en el Litoral de Colima, México

## Assessment of the Vulnerability of the Coastal Dunes on the Colima, Mexico Coast

Enrique Quiroz-Villanueva<sup>1</sup>, Omar Cervantes<sup>\*,1</sup>,  
Aramis Olivos-Ortiz<sup>2</sup>, Teresa Martínez-Díaz<sup>3</sup>

\*e-mail: [omar\\_cervantes@ucol.mx](mailto:omar_cervantes@ucol.mx)

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Marinas, Universidad de Colima.  
Colima, México.  
[enriquequiroz966@gmail.com](mailto:enriquequiroz966@gmail.com) ,

<sup>2</sup> Centro Universitario de Investigaciones Oceanológicas  
CEUNIVO. Colima, México  
[aolivos@ucol.mx](mailto:aolivos@ucol.mx)

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.  
Universidad de Colima. Colima México  
[tere.geo.tierra@gmail.com](mailto:tere.geo.tierra@gmail.com)

Keywords: Coastal dunes, Index and indicators,  
Vulnerability.

### Abstract

Coastal dunes are a natural space resulting from the interaction between the ocean and the continent. Together with the beach, they function as a dissipator of wave, tidal and wind energy and protect the adjacent territory from hydro-meteorological phenomena. Coastal adaptation strategies must respond to the state of the elements of the Dune - Beach system, thus, through the application of 14 biophysical indicators grouped in a Dune Vulnerability Index (DVI), a spatio-temporal analysis of vegetation cover with Google EarthIm 2016, 2017 and 2019 images, geo-referenced ortho mosaics with an eBee drone and the review of planning instruments of five sites on the Pacific coast in Colima, Mexico; this preventive and risk reduction tool for climate variability and sea level rise was developed. The results reveal that vulnerability in the dunes of El Coco, Playa de Oro, Peña Blanca and El Edén

Submitted: May 2022

Accepted: October 2022

Associate Editor: Martina Daniela Camiolo

is low and medium for Pascuales due to the effects of urban growth from construction, tourism, cattle ranching and recreational activities. Changes in vegetation cover show a reduction in vegetation cover between 2016, 2017 and 2019 between 30.7% and 33.68% for Playa El Coco and Playa de Oro; and an increase of 25.73% in Peña Blanca, 19.97% in El Edén and 10.55% in Pascuales. The implemented index demonstrated its potential as an effective input for evaluation, coastal management responses and conservation of coastal dunes..

## Resumen

Las Dunas Costeras son un espacio natural resultado de la interacción entre el océano y el continente, junto con la playa funciona como un disipador de energía del oleaje, las mareas y el viento y de protección al territorio adjunto ante fenómenos hidrometeorológicos. Las estrategias de adaptación costera deben responder al estado de los elementos del sistema Duna – Playa, así, mediante la aplicación de 14 indicadores biofísicos agrupados en un Índice de Vulnerabilidad de Dunas (IVD), un análisis espacio-temporal de la cobertura vegetal con imágenes Google Earth Tm 2016, 2017 y 2019, orto mosaicos geo referenciados con un dron eBee y la revisión de instrumentos de planeación de cinco sitios de la costa del Pacífico en Colima, México; se desarrolló esta herramienta preventiva y de reducción del riesgo ante la variabilidad climática y el ascenso del nivel del mar. Los resultados revelan que la vulnerabilidad en las dunas de El Coco, Playa de Oro, Peña Blanca y El Edén es baja y media para Pascuales por efectos de crecimiento urbano por construcciones, turismo, ganadería y actividades recreativas. Los cambios en la cobertura vegetal manifiestan una reducción en la cobertura vegetal entre 2016, 2017 y 2019 entre el 30.7 % y 33.68 % para Playa El Coco y Playa de Oro; y un incremento del 25.73 % en Peña Blanca, de 19.97 % en El Edén y de 10.55% en Pascuales. El índice implementado demostró su potencial como un insumo efectivo para el diagnóstico y respuestas de gestión y conservación de dunas costeras.

**Palabras clave:** dunas costeras, índices e indicadores, vulnerabilidad.

## 1. Introducción

La zona costera puede considerarse como sistemas socioeconómicos y ecológicos en evolución conjunta (Dada *et al.* 2021), ya que albergan la mayor parte de la población y en ella se realizan actividades industriales. Dichas acciones provocan presión antropogénica que induce a la degradación o destrucción ecológica y del paisaje (Laporte *et al.*, 2021), lo que genera competencia tanto por el espacio como por los recursos (Kvalvik *et al.*, 2020). De igual manera, estas áreas están bajo una presión creciente por el cambio climático y la expansión urbana (Urbis *et al.*, 2019).

Entre los ecosistemas costeros destacan los arenosos, que constan básicamente de geoformas conocidas como dunas costeras, ligados a las playas (Espejel *et al.* 2017). Las dunas costeras son sistemas de transición compleja que albergan altos niveles de biodi-

versidad y proporcionan importantes beneficios a la sociedad (Drius *et al.*, 2019). A causa de los efectos de los fenómenos naturales y actividades antropogénicas como la explotación de recursos naturales, actividades turísticas, inmobiliarias y marítimas, entre un 70 - 80% de las playas a nivel mundial están sujetas a procesos erosivos e interrupción del aporte de sedimento, derivados del desarrollo de obras y actividades que, potencialmente modifican su estructura y función (SEMARNAT, 2013, Soto, 2018, Bertoni *et al.* 2019); aunado a lo anterior se presentan proyecciones del aumento del nivel del mar generado por el cambio climático y la expansión térmica del océano, asimismo se prevé una mayor exposición a la erosión costera e inundaciones (Fernández *et al.*, 2020).

En México, el desarrollo y colonización de las costas ha sido desarticulada y desordenada, impulsado

por una diversidad de políticas públicas; en donde las costas y las playas se encuentran ausentes (Cervantes, 2019); siendo un ejemplo de lo anterior es la asignación de los usos de suelo en la costa de Colima, en donde el 68% corresponde al uso mixto, considerando desde el agropecuario hasta los asentamientos humanos. Lo anterior, ha resultado en la pérdida de las condiciones originales del entorno, y por ende el sistema playa-duna sea vulnerable ante los fenómenos hidrometeorológicos (Moreno-Casasola *et al.*

2014). Así, se plantea la necesidad de implementar una evaluación de las dunas costeras del estado de Colima mediante el Índice de Vulnerabilidad de Dunas (IVD), como un insumo para los organismos gestores y tomadores de decisiones en gestión de las costas, mediante la caracterización de los cambios espacio-temporales en la cobertura vegetal de las dunas costeras e implementar un índice de vulnerabilidad del sistema playa-duna.

## 2. Metodología

### Área de estudio

El estado de Colima se ubica entre los extremos: al norte, 19°30'45", al sur, 18°41'03"; al este, 103°29'11", al oeste, 104°41'26". No obstante, el porcentaje territorial representa el 0.3 % de la superficie del país. Las colindancias del estado de Colima son: al norte, con Jalisco; al este, con Jalisco y Michoacán de Ocampo; al sur, con Michoacán de Ocampo y el Océano Pacífico; al oeste, con el Océano Pacífico y Jalisco (INEGI, 2017).

En el trabajo se consideraron las dunas ubicadas en cinco (5) sitios ubicados en el litoral norte y sur del estado de Colima (figura 1 y tabla 1).

### Metodología

La investigación consideró tres fases y sus respectivas acciones:

#### Fase I: Caracterización de los cambios espacio-temporales en la cobertura vegetal de las dunas costeras

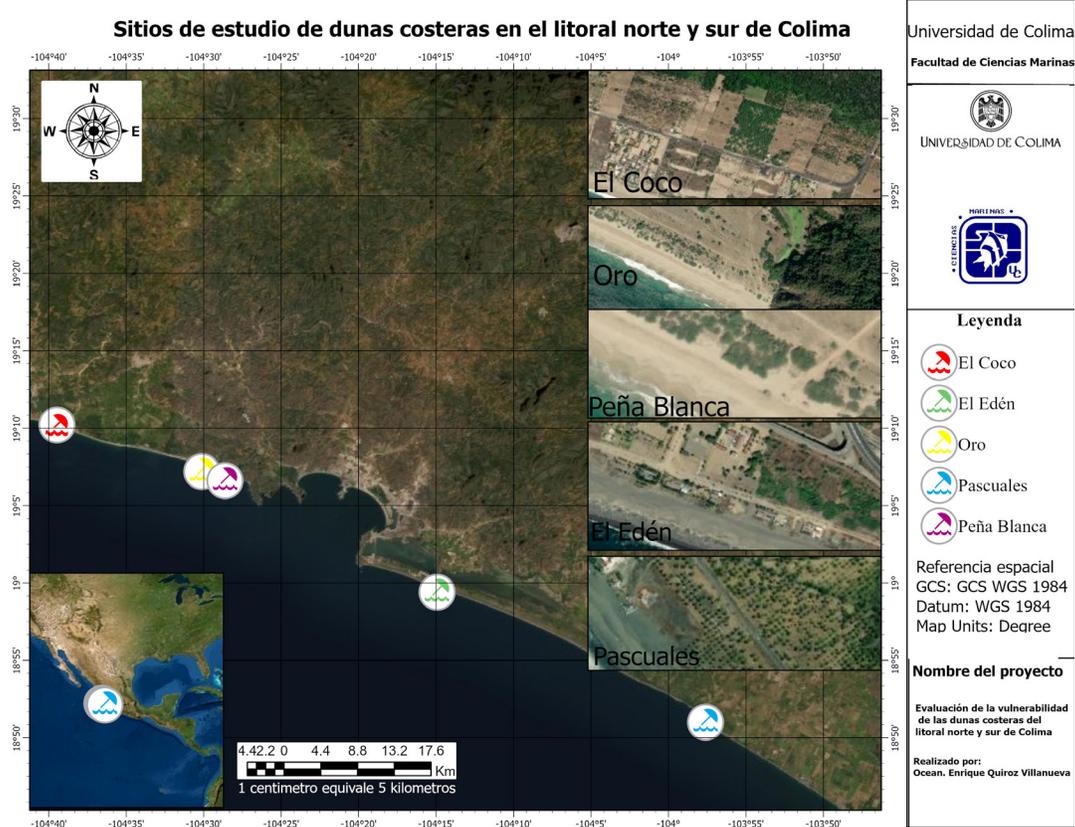
Dentro de la fase I, se realizó lo siguiente: a) Prospección y registro de datos en el sitio; b) Planificación y vuelos de VANT (*Dron Ebee Sensefly™*); c) Identificación de la vegetación de las dunas; y d) Colecta de sedimentos de la duna y análisis de granulométrico.

#### Fase II: Evaluación de los cambios del uso del suelo

La fase II, se contempló lo siguiente: a) Postproceso y generación del orto-mosaico; b) Creación de un banco de imágenes obtenidas de *Google Earth™* para el periodo 2016-2017; c) Delimitación de los polígonos y superficie (Ha y m<sup>2</sup>), y análisis espacio-temporal de la cobertura vegetal y cambio de uso de suelo para los cinco sitios de estudio (figura 2); y d) Análisis espacio-temporal y cambios de uso del suelo en el Programa de Ordenamiento Ecológico Local (POEL) de Manzanillo (Manzanillo, 2016), Programa Regional de Ordenamiento Ecológico y Territorial de la Subcuenca laguna de Cuyutlán, y Programa Estatal de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Estado de Colima (UAEM, 2008), todos instrumentos de política ambiental que establece los usos y actividades en el territorio estatal y municipal (SEMARNAT, 2016).

#### Análisis SIG

En este apartado se utilizó las imágenes obtenidas mediante la utilización de *Google Earth™* y los orto-mosaicos elaborados para su medición y el análisis de las variables 4, 8, 9, 10, 11 y 14 de la tabla 2.

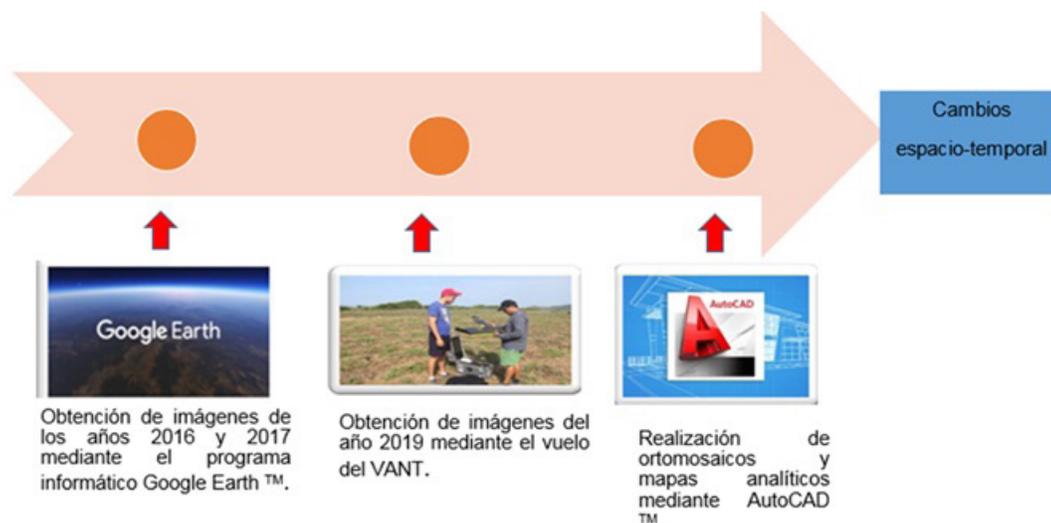


**Figura 1.** Ámbito territorial de los sitios de estudio. Los casos de estudio se indican en los círculos de colores correspondientes.

Fuente: Elaboración propia con base en imágenes de Google Earth™ y Drone eBee™).

**Figure 1.** Territorial space of the study sites. The case studies are indicated in the corresponding colored circles. Source: author elaboration based on images from Google Earth™ and Drone eBee™).

<b>Tabla 1.</b> Coordenadas geográficas de los sitios de dunas en el litoral norte y sur del estado de Colima, México. <b>Table 1.</b> Geographic coordinates of dune sites corresponding on North and South coast of Colima State, México.	
<b>Litoral Norte</b>	<b>Coordenadas geográficas</b>
Playa el Coco	19° 10.098' N y 104° 39.241' W
Playa de Oro	19° 07.772' N y 104° 30.143' W
Playa Peña Blanca	19° 07.255' N y 104° 28.819' W
<b>Litoral Sur</b>	<b>Coordenadas geográficas</b>
Playa el Edén	18° 59.846' N y 104° 15.047' W
Playa Pascuales	18° 51.667' N y 103° 57.997' W



**Figura 2.** Diagrama de una serie de actividades sistemáticas que permite caracterizar los cambios espacio-temporal. Fuente: elaboración propia.

**Figure 2.** Spatial-temporal analysis and description. Source: own elaboration

**Análisis granulométrico.** Se llevó a cabo un análisis granulométrico mediante la técnica de tamizado que consta de una muestra de 100 gramos de sedimento (figura 3), según la técnica propuesta por (Lewis, 1984) la cual tiene por objeto determinar los tamaños de las partículas (gruesas, medias y finas) de las muestras del sedimento, y obtener las fracciones (peso) y su porcentaje correspondiente con respecto al gramaje total. Lo anterior permitió contar con información para el subíndice secundario y las variables: 12, granulometría, y 13, estado modal de la duna (tabla 2).

### Fase III: Implementación del Índice de Vulnerabilidad del sistema playa-duna

Para la última fase, se requirió lo siguiente: a) Recopilación de información de las variables y subíndices del IVD; b) Establecer rangos de valoración; y c) Obtención de Subíndices y Determinación del IVD.

Fueron seleccionadas 14 variables que se clasificaron en *subíndices primarios* (integrado por la Exposición, Resiliencia y Susceptibilidad) y *secundarios*

(Influencia marina, Presión de uso, Resiliencia, Cobertura Vegetal y Geomorfología - sedimentología), soportados por una batería de variables físicas, biológicas y sociales, consideradas las unidades mínimas de análisis. Así, se determinaron los rangos de valoración, comprendido entre 0 (mínimo) y 4 (máximo), que permitieron obtener el valor de los subíndices, su integración en el IVD y la interpretación de los resultados (tabla 2).

El registro de información en campo comprendió el uso de nueve cuadrantes de 100 x 50 m, como muestra en la figura 4; en cada cuadrante se colectó una muestra de sedimento superficial de la playa a cada 25 metros, este procedimiento se realizó para los 5 sitios de estudio que comprende esta investigación. Cabe destacar, que, al realizar estos muestreos, se procede a contestar las variables 3, 5, 6, 7 y 14 que comprenden los indicadores (ver tabla 2).

Así, el valor de los subíndices secundarios ( $I_s$ ), se calcula a partir de la fracción entre la suma de los valores asignados por variable ( $V_i$ ) y una sumatoria de los valores máximos posibles de cada grupo de

**Tabla 2.** Variables con sus respectivos índices primarios y subíndice secundarios.  
**Table 2.** Variables with their respective primary index and secondary sub-indices.

Índice primario	Subíndice secundario	Número	Variables	0	1	2	3	4	Método
Exposición	IM	1	Rango mareal (m).	<2	--	2-4	--	>4	Bibliografía
		2	Intensidad del oleaje (Hs media).	<0,55	0,55-0,85	0,86-1,05	1,06-1,25	>1,25	Bibliografía
	PU	3	Tránsito de vehículos sobre la duna costera.	Ninguno	--	Alguno	--	Muchos	Campo
		4	% de parcela ocupada por infraestructura.	0	<25	<50	<75	>75	Sistema de Información Geográfica (SIG)
		5	Frecuencia de visitante.	Estacional/corta temporada	--	--	--	Continua/larga temporada	SIG y campo
		6	Dificultad de acceso a la zona de duna costera y a la playa.	Alta	--	Media	--	Baja	SIG y Campo
		7	Frecuencia de limpieza de la playa con maquinaria.	Nula	--	Mod-erada	--	Alta	Campo
Recuperabilidad	RC	8	Variación de la superficie de la duna costera (2016-2017 y 2019).	>30 %	≤30 %	≤20 %	≤10 %	≤1 %	SIG
		9	Variación de la cobertura vegetal en la duna costera (2016-2017 y 2019).	>30 %	≤30 %	≤20 %	≤10 %	≤1 %	SIG
Susceptibilidad	CV	10	% de plantas vigorosa en la primera línea de la duna costera.	>75	>50	>25	>10	<10	SIG y campo
		11	Cobertura máxima por estratos en la primera línea en montículos.	>3m	3-2.1m	2-1,1m	1-0,6m	<0,5m	SIG y Campo
	GS	12	Granulometría del sedimento.	<0 mm	--	0 a 2 mm	--	>2 mm	Campo y laboratorio
		13	Estado modal de la playa.	Disipativa	--	Inter-media	--	Reflejante	Campo y laboratorio
		14	Existencia de berma	No	--	--	--	Si	SIG



**Figura 3.** Proceso de tamizado en una muestra de 100 g de sedimento.

**Figure 3.** Granulometry analysis. Sand sample 100 grs.

variables ( $V_p$  Máx), obteniendo un valor único que oscila entre 0 y 1 para cada grupo de variables pertenecientes a cada índice. En seguida, para obtener el valor de los subíndices primarios, se suman los subíndices secundarios correspondientes y se divide por el N de los secundarios, obteniendo un valor de entre 0 a 1. Finalmente, para conocer el valor cuantitativo del IVD, se suma los subíndices primarios y se divide en el total de primarios. Es importante mencionar que en este trabajo se utilizaron diferentes valores de intervalos, mediante la categorización planteada por Popoca y Espejel (2009), con el fin de ampliar el ran-

go de vulnerabilidad; definiéndose un intervalo de 0.20 – 0.46 como Vulnerabilidad Baja, 0.47 – 0.73 de Vulnerabilidad Media y hasta un máximo de 0.74 – 1.0 para Vulnerabilidad Alta.

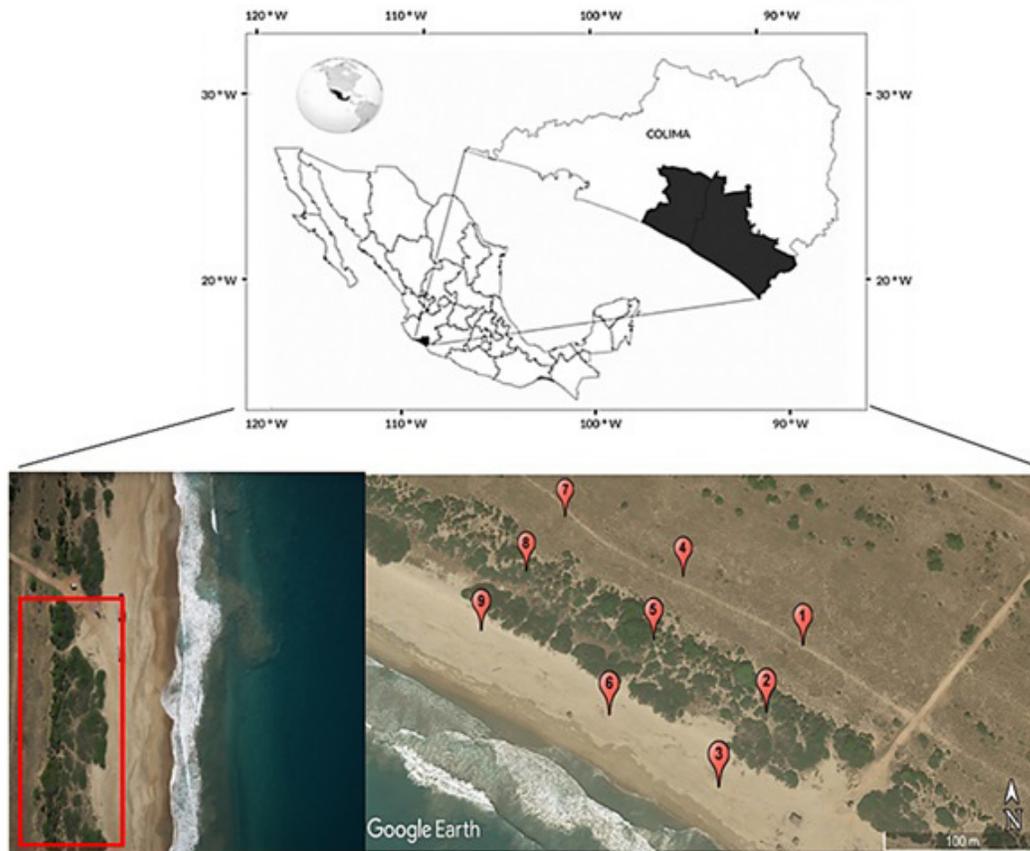
$$I_s = V_i / V_p \text{ max}$$

En donde:

$I_s$ = valor de los subíndices secundarios

$V_i$ = sumatorio de los valores asignados por variables

$V_p \text{ max}$ = suma de los valores máximos posibles de cada grupo de variables.



**Figura 4.** Zona de ejemplo de estudio por transectos y cuadrantes para la evaluación de la duna y colecta de sedimento. Dron Ebee playa Peña Blanca.

**Figure 4** Example study area by transect and quadrats for dune evaluation and sediment collection. *Dron Ebee Peña Blanca Beach.*

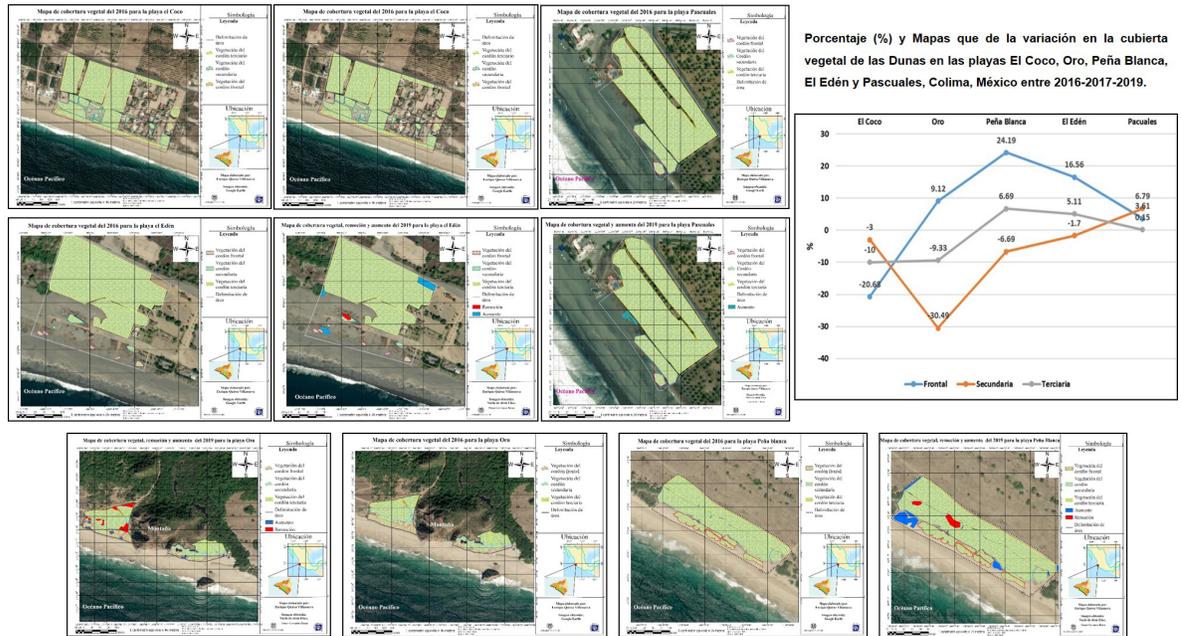
### 3. Resultados

#### Evaluación de los cambios espacio-temporal en la cobertura vegetal

El análisis de la cobertura vegetal para 2016, 2017 y 2019 revela una reducción de la cobertura vegetal en las dunas de las playas el Coco (33.68 %) y el Oro (30.7 %), respecto al conjunto de los cordones frontal, secundaria y terciaria. Sin embargo, para el restante de las dunas consideradas, aumentó la cobertura vegetal: 25.37 % en Peña Blanca, 19.97 % en el Edén y 10.55% en Pascuales (figuras 5 a 8).

#### Identificación del cambio en el uso del suelo

En primera instancia, se revisó el Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial Local del Territorio de Manzanillo (2016) y el Subsistema de Información para el Ordenamiento Ecológico (SIORE) (SEMARNAT, 2016), para tener un panorama de las actividades y lineamientos principales que se pueden desarrollarse en la franja costera de este municipio. En la tabla 3, se puede observar las delimitaciones



**Figura 5.** Porcentaje de variación de cubierta vegetal con base en el área de la duna en las playas el Coco, Oro, Peña Blanca, e l Edén y Pascuales. Durante la temporada de estiaje 2016, 2017 y 2019.

**Figure 5.** Dunes area vegetation cover area at El Coco, Peña Blanca, El Eden and Pascuales beaches. During on dry season 2016, 2017 and 2019.



**Figura 6.** Evidencias obtenidas en Playa de Oro en el año 2019: (a) caminos adyacentes al sitio y (b) heces fecales bovino y restos de heces no identificados (imágenes Enrique Quiroz y Omar Cervantes).

**Figure 6.** Evidence in Oro Beach in 2019: shows roads adjacent (a) to the site and bovine feces and unidentified feces remains (b) (image Enrique Quiroz and Omar Cervantes).



**Figura 7.** Evidencias obtenidas en la playa el Coco en el año 2019: (a) infraestructura construida sobre los cordones dunares, (b) remoción de vegetación para posterior venta del predio y (c) principios de colonización (imágenes Enrique Quiroz y Omar Cervantes).

**Figure 7.** El Coco Beach dunes survey 2019: (a) Buildings on coastal dunes, (b) vegetation removed and real estate sale and c) infrastructures on dunes. (images Enrique Quiroz and Omar Cervantes).



**Figura 8** Residuos orgánicos e inorgánicos en playa Peña Blanca en el año 2019 (imagen Enrique Quiroz y Omar Cervantes).

**Figure 8.** Solid waste at Peña Blanca beach in 2019 (Image Enrique Quiroz and Omar Cervantes).

**Tabla 3** Programa de Ordenamiento Ecológico para los sitios de estudio sobre el litoral de Colima (Tur = turismo; Urb = urbano).

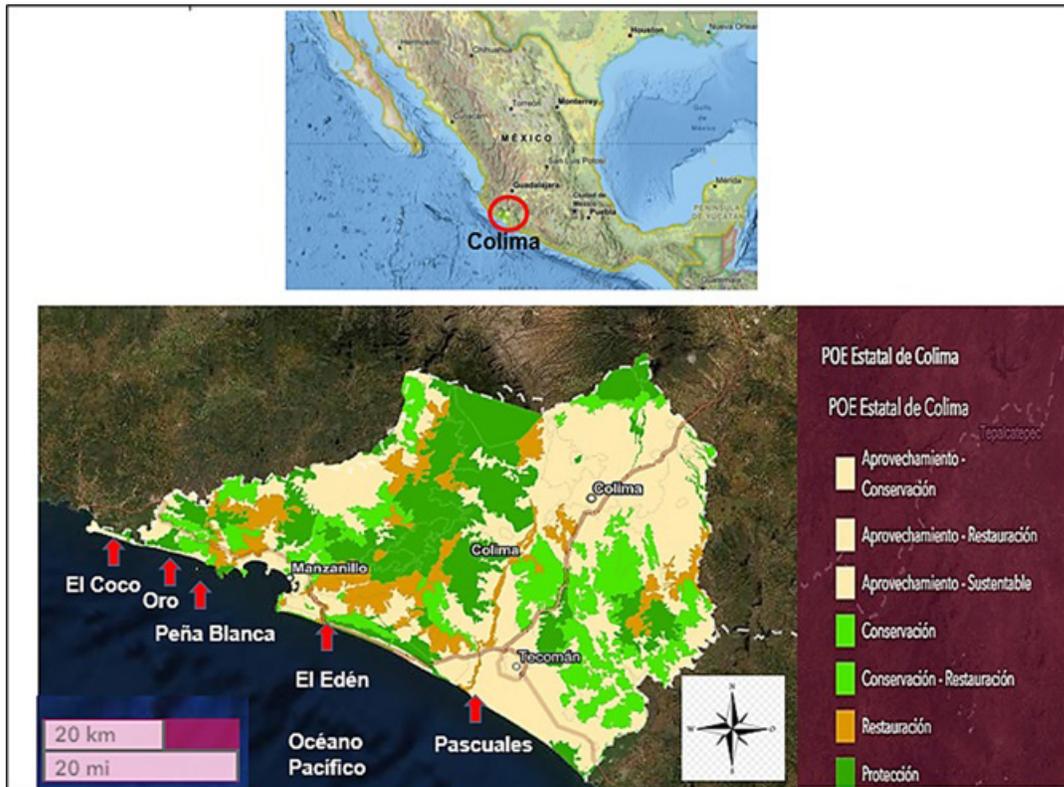
**Table 3** Ecological Management Program for the study sites on the coast of Colima (Tur = tourism; Urb = urban).

Lugar	Política ambiental	Características	Aptitud principal	Lineamiento
<b>El Coco</b>	Aprovechamiento sustentable	Sus características son apropiadas para el uso y el manejo de los recursos naturales.	Tur.	Construcciones deberán realizarse a partir del segundo cordón de dunas. Permitir el aprovechamiento de los espacios del centro poblacional, consolidando la función habitacional.
<b>Playa de Oro</b>	Aprovechamiento- Restauración	Sus características son apropiadas para el uso y el manejo de los recursos naturales.	Urb – Tur.	Aprovechamiento agrícola y pecuario.
<b>Peña Blanca</b>	Aprovechamiento- conservación	Características apropiadas para el uso de los recursos con limitación y promulgación de programas de conservación.	Tur.	Construcciones deberán realizarse a partir del segundo cordón de dunas.
<b>El Edén</b>	Conservación	Conservación.	Conservación.	Política Territorial de la Subcuenta Laguna de Cuyutlán.
<b>Pascuales</b>	Aprovechamiento sustentable	Características apropiadas para agricultura de riego y plantación de frutales.	Aprovechamiento	Intensificar la producción agrícola, mejorando su rendimiento y reduciendo los impactos ambientales derivados del mismo aprovechamiento industrial sin impacto a las zonas designadas para su conservación.

en cuestión políticas ambientales y su tipo de aptitud política que le corresponde a cada sitio, mientras que con la ayuda del SIORE, se observa de manera visual las delimitaciones políticas para cada sitio de Colima, donde la mayoría de los sitios de estudio le corresponde una clasificación de aprovechamiento (figura 9).

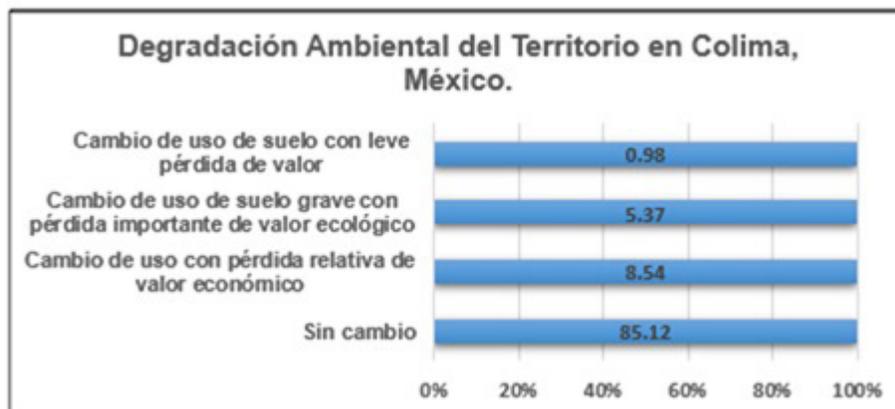
La revisión del Programa de Ordenamiento Estatal 2018 (UAEM, 2018) permitió obtener información acerca de la degradación ambiental, en cuestión al cambio de uso de suelo y cambios en la cobertura ve-

getal de los sitios de estudio entre el año 1993 - 2015: en la figura 10 se muestra una clasificación de degradación del ecosistema basada en el porcentaje del área modificada para el estado de Colima. Conforme este porcentaje el 85.12 % se cataloga con el valor 0 de degradación ambiental, lo cual significa un escenario sin cambios. Sin embargo, el 8.54 % presentó un valor de 6, lo cual significa cambios de uso con pérdida relativa de valor ecológico; y un 5.37 % con un valor de 10, lo que representa cambios de uso de suelo con pérdidas significativas de valor ecológico.



**Figura 9.** Mapa del subsistema de Información para el Ordenamiento Ecológico para el Estado de Colima (SIORE) (2016) (SEMARNAT, 2016).

**Figure 9.** Land Management Plan of Colima State (2016) (SEMARNAT, 2016).



**Figura 10.** Degradación ambiental del Territorio en Colima (Programa de Ordenamiento Estatal 2018).

**Figure 10.** State Territory Land environmental degradation (Land management Program, 2018).

### Implementación de los Índices de Vulnerabilidad del sistema playa-duna

En este apartado se muestran los resultados obtenidos en las variables de los siguientes subíndices; exposición (influencia marina y presión de uso), susceptibilidad (cubierta vegetal y geomorfología-sedimentología) y Recuperabilidad para obtener los valores de vulnerabilidad de cada sitio de estudio de las dunas costeras (tabla 4). El índice de vulnerabilidad de duna se calcula mediante la suma del resultado de los índices primarios y se divide por el total de índices primarios, donde el resultado oscila entre 0-1. Al resultado obtenido se le nombra variabilidad, ya que representa lo contrario a la resiliencia, de este modo la variabilidad hace referencia a los factores de impacto que ha experimentado cada duna costera dentro de los tres años de estudio que conforma la investiga-

ción. Finalmente, el eje relacionado con la variabilidad discurre en la misma dirección que el resto de los ejes (figura 11) (Peña-Alonso, 2015) En la tabla 5, se muestra el resultado final de la variabilidad de cada sitio de estudio.

En la figura 11 se muestra las gráficas AMOEBA, donde se representa el IVD para cada sitio. El Coco presentó 0.27 dentro del rango calificativo de vulnerabilidad, posicionándose con categoría de vulnerabilidad baja. Por su parte en Playa de Oro se demostró 0.35 situándose en vulnerabilidad baja. Peña Blanca fue la playa en que las dunas presentaron una menor vulnerabilidad con respecto a los otros cuatro sitios de estudio, con un valor de 0.22 (vulnerabilidad baja). El Edén obtuvo un valor de 0.37, ubicándose dentro del rango de vulnerabilidad baja. No obstante, Pascuales fue el sitio que presentó mayor

**Tabla 4.** Valores obtenidos en los subíndices de los indicadores de vulnerabilidad por sitio de dunas costeras en la columna de color blanco, en color gris es el resultado de los valores de índices primarios.

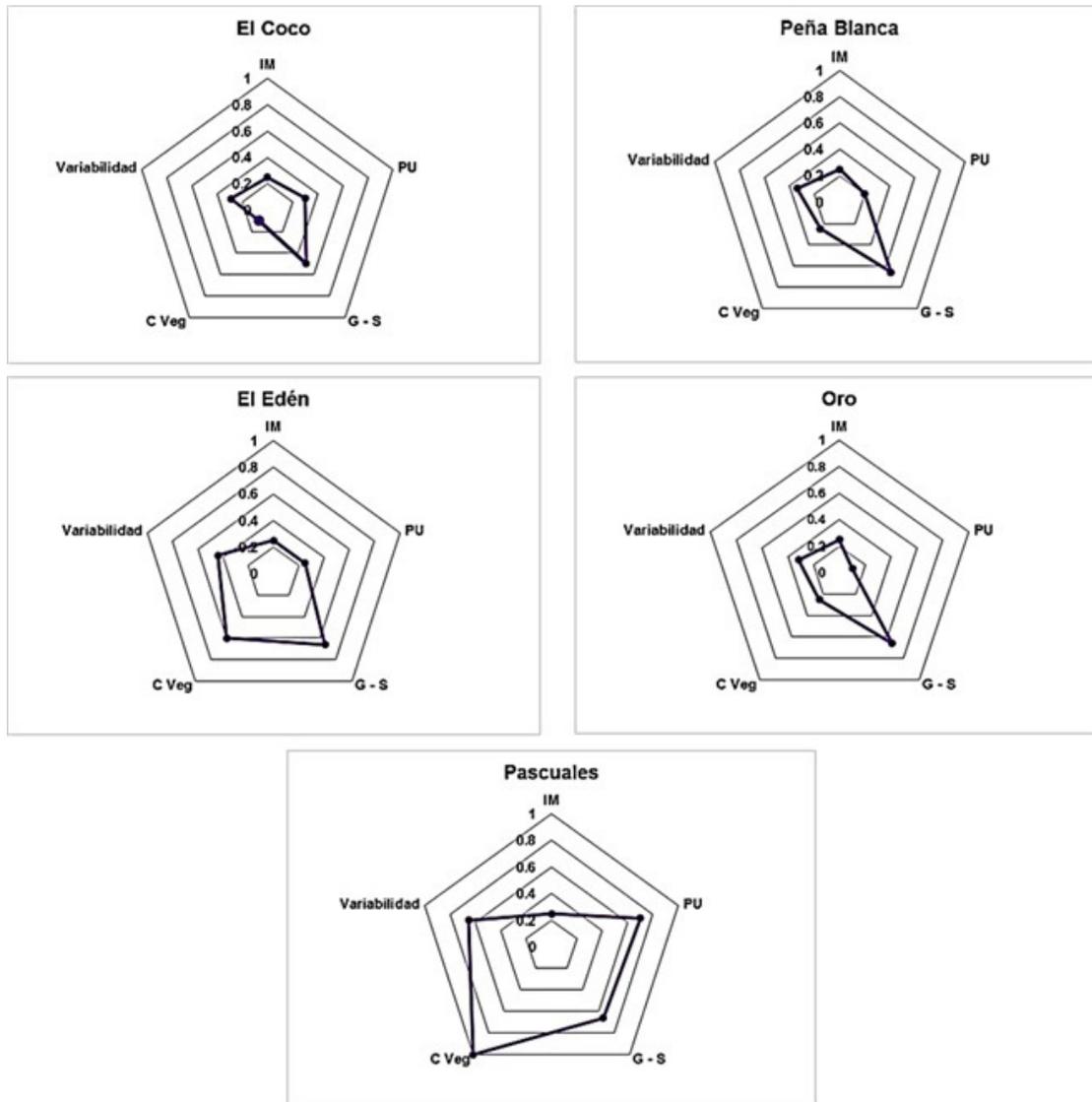
**Table 4.** Values obtained in the secondary sub-indexes of the vulnerability indicators for coastal dunes sites in the white column, in gray colors is the result of the primary index values.

Sistema	Exposición	Influencia marina	Presión de uso	Susceptibilidad	Geomorfología y Sedimentos	Cubierta vegetal	Recuperabilidad
El Coco	0.27	0.25	0.30	0.30	0.50	0.10	0.25
Oro	0.35	0.25	0.10	0.45	0.66	0.25	0.25
Peña Blanca	0.23	0.25	0.20	0.45	0.66	0.25	0
El Edén	0.25	0.25	0.25	0.63	0.66	0.60	0.25
Pascuales	0.51	0.25	0.70	0.83	0.66	1.00	0.25

**Tabla 5.** Valores del total de los índices y subíndices.

**Table 5.** - Total index and sub-indexes values

Sistema (Duna)	Variabilidad
El Coco	0.27
Oro	0.35
Peña Blanca	0.22
El Edén	0.37
Pascuales	0.51



**Figura 11.** Amoebas correspondientes a los resultados por área de dunas tras la aplicación de los indicadores de vulnerabilidad. Los ejes están representados por los subíndices secundarios: **IM** = influencia marina; **PU** = presión de uso; **G-S** = Geomorfología y Sedimentos; **C Veg** = cobertura vegetal; y **Variabilidad** = resultado del conjunto de los índices primarios.

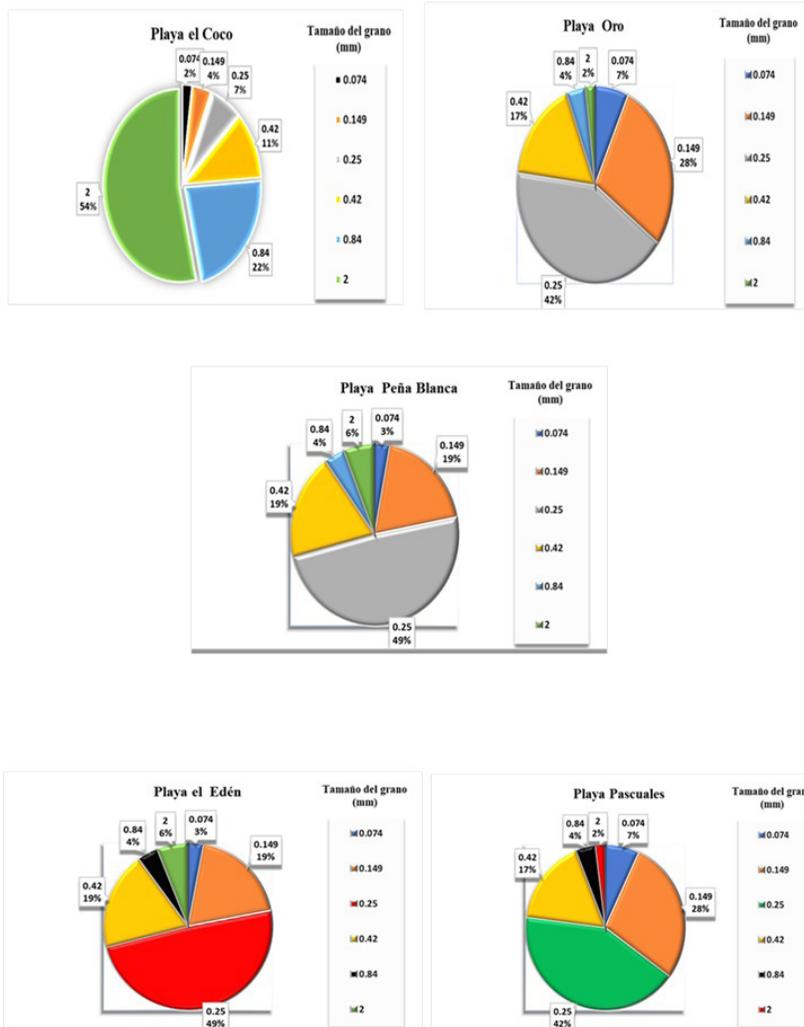
**Figure 11.** Plots Amoebas corresponding to the results by dune area after the application of the vulnerability indicators. The axes are represented by the secondary sub-indices: **IM** = marine influence; **PU** = use pressure; **G-S** = Geomorphology and Sediments; **CV** = vegetation cover; and **Variability** = result of the set of primary indices).

vulnerabilidad con respecto a los demás, con un valor de 0.51 (vulnerabilidad media).

Ahora bien, en las dunas Playa el Coco, Oro, Peña Blanca y El Edén se observa una inclinación de los datos hacia la geomorfología-sedimentología cuyo subíndice secundario fue el que se demostró con mayor aportación a la vulnerabilidad. Sin embargo, en Pascuales, los datos se ven reflejados hacia el subíndice secundario de cobertura vegetal (CV).

### Estado modal de la playa

La determinación del estado modal parte del análisis granulométrico de las muestras de sedimento; en los sitios, con proporciones diferentes, pero dominando, se registró un tamaño del grano de 0.25 mm, lo que representa un estado modal intermedio (figura 12).



**Figura 12.** Resultados de la granulometría para los diferentes sitios de estudio. a) Playa el Coco, b) Playa de Oro, c) Peña Blanca, d) El Edén y e) Playa Pascuales.

**Figure 12.** Results of the granulometry for the different study sites a) = Coco beach, b) = Oro beach, c) = Peña Blanca, d) = El Eden y e) = Pascuales beach.

## 4. Discusión

El ejercicio central de este estudio ha sido contextualizar la evaluación de la vulnerabilidad y sus interacciones en el sistema playa-duna; que resultó baja para un 80% de los sitios; mientras que el 20 % mostró una tendencia al cambio derivado de la colonización desordenada en algunos casos y, en otros, impulsados por los propios programas de ordenación del territorio.

El análisis de la vulnerabilidad define los conflictos existentes entre el desarrollo de estos espacios, con fines principalmente turísticos, y la conservación de sus bienes naturales; en este sentido, en los estudios sobre el sistema de playa-duna, se detecta la falta de vinculación entre el ecosistema, la normatividad y las instituciones a cargo de su gestión correspondiente (Peña-Alonso, 2015). Además, la cuantificación sobre la vulnerabilidad sirve como una herramienta para identificar la debilidad de un sistema, monitorear su cambio y apoyar a la toma de decisiones de políticas públicas (Wu, 2021).

Es así como la relación entre el recurso y la interacción humana es un problema común a través del tiempo; la ocupación humana y la alteración de la costa han transformado grandes extensiones de ella en sistemas de playa-duna, que los humanos influyen en la resiliencia natural de los sistemas costeros, como los procesos y los suministros de sedimentos derivados del entorno natural (Malvarez *et al.* 2021), aunado al aumento en la temperatura atmosférica global y la expansión térmica del océano (Soto, 2018).

En tales sistemas, la actividad humana es tan crítica para la resiliencia natural de los sistemas costeros, como los procesos y los suministros de sedimentos derivados del entorno natural (Malvarez *et al.*, 2021). En el litoral de Colima, las diferentes actividades realizadas en las últimas décadas, tales como la agricultura, ganadería, acuicultura, turismo, infraestructura y el uso de suelo mixto, han dado lugar a cambios

que exponen la necesidad de analizar los procesos biofísicos y sociales (Martínez *et al.* 2014). Así, y para contribuir con insumos para la toma de decisiones, en este trabajo se implementó un índice de vulnerabilidad playa-duna mediante trabajo de campo, gabinete y la implementación de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

### **Análisis espacio-temporal de la cobertura vegetal**

El análisis muestra, en primera instancia, una disminución de cobertura vegetal en playa El Coco, la cual se haya asociada a la colonización del sitio y la infraestructura asociada, podemos ver un ejemplo claro en la figura 7 a, b y c, como resultado de la asignación de un uso de suelo de aprovechamiento conforme el Programa de Ordenamiento Ecológico (POE) del estado de Colima, dando lugar a la fragmentación de la vegetación y, por ende, con una disminución de la resiliencia de las dunas. En este sentido, se ha visto que la infraestructura urbana, industria, residencial, turística, acuícola, vial y portuaria que se construyen en el sistema de playa-dunas costeras trae consigo diversos impactos, con intensidades que pueden variar desde la alteración parcial o total de su estructura, afectando la capacidad de resiliencia natural de las dunas costeras (Pedroza *et al.*, 2013).

Hernández *et al.* (2017) afirman que la ocupación urbana causa una disminución de superficie de dunas y contribuye en la desaparición o reducción de las comunidades vegetales, ya que los cambios en la extensión espacial son bioindicadores de cambios ambientales derivados el desarrollo turístico y colonización. La remoción de la vegetación activa el flujo de los sedimentos ante la ausencia de un elemento que los atrape o mantenga cohesionados, fluyendo entonces al no encontrar un obstáculo natural para su consolidación, dando lugar al debilitamiento de la estruc-

tura de las dunas. Lo anterior, coincide con Alcamo y Bennett (2003), quienes afirman que las construcciones son obstáculos que interrumpen o desvían el flujo de agua y sedimentos, lo que modifica el balance sedimentario y, por ende, la estabilidad de la duna. Por lo que, la disminución de la disponibilidad de sedimento y la interrupción del transporte natural entre la duna costera y la playa favorece a procesos de erosión y retroceso de la línea de costa.

Es por ello que un sistema playa-dunas costeras cuyo balance sedimentario ha sido modificado, tiende a estabilizarse en una configuración diferente, que normalmente conlleva a la pérdida de la playa. Por efecto de las construcciones de infraestructura permanente sobre las dunas embrionarias y primarias, se generan cambios en la estructura y función de las dunas, y, en consecuencia, estas pueden dejar de funcionar como reservorios de sedimentos y como barrera natural de defensa litoral contra efectos de tormentas (Pedroza *et al.* 2013).

En Playa de Oro (Colima), la disminución y fragmentación de la cubierta vegetal se encuentra asociada a las actividades de ganadería y la construcción de caminos rurales, ya que en dicho lugar se encontró evidencia de heces fecales de bovino y de animales no identificados, así como caminos y veredas adyacentes al área de estudio (ver Figura 6, a y b). Esta actividad genera pisoteo que produce un alto grado de erosión y compactación del suelo, fragmentando la vegetación y afectando directamente su morfología y fisiología, e indirectamente a la capacidad de intercepción de la arena (Ley *et al.*, 2007).

En el caso de las dunas que presentaron un aumento en su cubierta vegetal; como es el caso de Peña Blanca, clasificada como una playa rural, con una baja intensidad de uso y con ausencia de infraestructuras fijas de origen antrópico, resulta en un mejor estado de conservación. Sin embargo, se registran signos de actividades primarias como la agricultura

ra y la ganadería, así como la evidencia de desechos orgánicos e inorgánicos por estas actividades, lo que potencialmente puede tener efectos en las dunas (ver figura 11).

En la playa El Edén, existe infraestructura en situación de abandono, ubicada en el cordón de dunas terciaria. Lo que ha dado lugar a una colonización de la vegetación, lo que permite que los cordones primarios y secundarios ejerzan su funcionamiento como reservorio de sedimentos, y así respaldar conservación del cordón terciario. Sin embargo, no se está exento que dichas instalaciones se reactiven o incrementen en un escenario a mediano plazo. Otro factor pertinente, es que solo fue estudiada un área dunar de 300 x 150 m, lo que significa que no se abarcó toda la infraestructura existente; en el sur de la playa se ubicaron estructuras (ramadas), lo que puede presentar valores más significativos relacionados a la remoción de la vegetación. No obstante, el área presentó mayor conservación en las dunas, lo que es importante para futuras estrategias de preservación; lo cual también ocurrió en Pascuales, donde la variedad de infraestructuras construidas en cuanto a materiales y tamaño ha generado la desaparición parcial de la vegetación y las dunas.

Cabe mencionar que el área de estudio que se eligió en el caso del Edén y Pascuales fue para proponer una preservación de la duna que aún prevalece, pues en estas zonas se mantienen los cordones secundarios y terciarios (no se encuentran infraestructuras). Sin embargo, la duna frontal no presenta cobertura vegetal significativa, eso la pone en una tendencia de degradación que se puede acentuar en las próximas décadas. Por lo que se confirma que la vegetación tiene un papel importante, ya que las dunas costeras son el resultado de la interacción entre el viento, las superficies arenosas, la vegetación (obstáculo natural) y humedad; sin estos requisitos su conservación se ve comprometida.

### **Evaluación de los cambios de uso de suelo**

Los resultados obtenidos reflejan que el 85.12 % se catalogó con el valor 0 de degradación ambiental, lo cual significa sin cambios. Solo el 5.37 % se ubica en la categoría de 10, que significa cambios de uso con pérdidas de su valor ecológico. Es importante mencionar que los datos del POE, a pesar de no estar actualizados (1993-2015), muestran una tendencia de modificación en los usos como resultado de la asignación de una política de aprovechamiento, y, por ende, riesgo de remoción de la cobertura vegetal y, en el caso de las dunas, alteración de su estructura y la reducción de protección de la costa. La actualización de este instrumento de planificación se hace necesaria para efectos de ordenamiento e incluso para programas de restauración ecológica del sistema playa-duna que garanticen su existencia y los servicios ambientales que provee a la sociedad; y, en particular, a los asentamientos urbanos presentes y futuros.

Resalta el hecho de la playa el Edén presentar una política de conservación debido a su proximidad y la política de protección ambiental que se le brinda a la laguna de Cuyutlán, Colima. Sin embargo, debido a los planes de desarrollo por la implementación del nuevo puerto de Manzanillo en la rivera del Vaso II de este sistema lagunar, el sistema playa-duna de la región puede verse afectado ante el potencial cambio de usos del suelo, con las consecuencias ambientales, geomorfológicas y socioeconómicas; dada las interacciones entre los sistemas lagunar y costero inmediato, las que, actualmente y derivado de las modificaciones por efectos de la ampliación del canal de Tepalcates, han traído cambios positivos en la condiciones físico-químicas y el estado trófico de la laguna (Núñez-Martínez, 2020).

### **Índice de Vulnerabilidad de Dunas (IVD)**

La vulnerabilidad en las dunas costeras se refiere a la pérdida de capacidad de una playa o duna para volver

a su estado dinámico original después del desplazamiento del sistema (Martínez *et al.*, 2006). Por otra parte, Peña-Alonso (2015) menciona que la vulnerabilidad es considerada en función de los factores de exposición a los que está sujeto el sistema, su susceptibilidad y su resiliencia. Por esto, las dunas se convierten en un elemento funcional del sistema costero que, en su conjunto con la playa y otros ecosistemas, mantienen la costa, sus propiedades y servicios ambientales frente a la dinámica de los elementos y la variabilidad climática; un aspecto reconocido como resiliencia y/o la capacidad de recuperación y/o adaptación a los cambios.

El análisis de los datos permitió crear gráficos de tipo AMOEBA en donde se observó que la geomorfología-sedimentología en Playa El Coco, Oro, Peña Blanca y El Edén son los componentes principales para su afectación y cambio, y, por ende, para la vulnerabilidad de estos sitios. También mostraron que la geomorfología-sedimentología de las playas y de su entorno son especialmente relevantes a la hora de estimar la variación de estos espacios, y que el material de la playa y la granulometría de sus sedimentos indican la capacidad que tiene la playa de hacer frente al oleaje incidente, ya que el origen de los sedimentos también influye en la susceptibilidad de la playa; que, en periodos concretos, como la llegada de temporales marinos, pueden generarse escalones o bermas acusadas, que indican un aumento de la energía a la que se están exponiendo estos sistemas (Peña-Alonso, 2015). Por último, el estado modal intermedio es un aspecto relevante en la caracterización de su perfil ante el efecto disipativo del oleaje fuerte, ante una granulometría fina, ya que proporciona características de actuar como material tendiendo a reflectivo, que a su vez es indicativo de una mayor exposición al oleaje (Peña-Alonso, 2015). Por otra parte, Pascuales mostró tener mayor influencia a la vulnerabilidad por la vegetación, ya que, en este lugar, la duna frontal tiene escasa vegetación, lo cual puede generar la

activación del movimiento del grano por efectos eólicos (Gómez *et al.* 2016; Yizhaq *et al.*, 2009).

Por otra parte, la vulnerabilidad en la duna de Pascuales, se asocia también a los atributos de intervención humana y tránsito de vehículos. Cabe mencionar, que, en las dunas de Playa El Edén y Peña Blanca, se encontraron evidencias de extracción de arenas de forma artesanal y sin los permisos correspondientes mientras que en Peña Blanca fue en menor esta actividad en proporción que en El Edén. No se tiene conocimiento del porqué la extracción del sedimento en estos sitios; sin embargo, Ranwell *et al.* (1986) mencionan que la extracción de arena en los sistemas de dunas se utiliza para fines de construcción. Es importante considerar que la minería de arena en playas y dunas da lugar a un proceso erosivo crónico y una pérdida de la vegetación, con lo que las dunas estabilizadas se vuelven móviles y vulnerables a las corrientes costeras y el viento (Pedroza *et al.*, 2013).

Los factores que dan lugar a la vulnerabilidad, tales como las actividades recreativas, juegan un papel importante como agente estresante. Se observó tanto El Coco, Peña Blanca, El Edén y Pascuales que, en dichos lugares, se llevan a cabo actividades como tránsito de personas y de vehículos, y en Pascuales se lleva a cabo el *camping*. Estas actividades resultan un agente perturbador para las dunas, ya que desestabilizan los sistemas de playa-duna, lo que en ocasiones acarrea graves consecuencias (Ley *et al.*, 2007). Cabe destacar que, en la playa de Pascuales se registró el uso de vehículos todo terreno, cuyas marcas en la duna y en la playa produce fenómenos de trituración de arena, fragmentándola en trozos aún más pequeños, lo cual favorece la pérdida de arena en las playas (Micallef *et al.*, 2009). Por su parte, Pedroza *et al.* (2013) mencionan que, el tránsito de personas es la actividad que ejerce uno de los impactos negativos más comunes sobre la vegetación de dunas costeras. La mayoría de las personas llega a la playa a través del sistema de du-

nas costeras y concentra la presión sobre las rutas de acceso. La playa y las dunas costeras son zonas de alta movilidad y relativamente resilientes al pisoteo. No obstante, el incremento de presión de los visitantes compacta la arena, lo que provoca la reducción de la densidad vegetal, su capacidad de regeneración y la tasa de crecimiento de la duna costera.

El cambio del nivel del mar puede causar la re-distribución de la arena a otras playas y perjudicar a las dunas costeras (Van der Meulen *et al.*, 1992). Los pronósticos de que el nivel puede estar en incremento a causa de las crecientes aportaciones de agua de los mantos de hielo de Groenlandia y la Antártida, sin olvidar otros factores contribuyentes, como el agua procedente del deshielo de los glaciares y la expansión térmica del agua debido al aumento de su temperatura (IPCC, 2019). Los efectos de cambios en el nivel del mar sobre las dunas costeras pueden dar lugar a procesos erosivos de las dunas embrionarias y primarias, que a su vez implicaría la pérdida de la barrera de protección y mayor movilidad de la arena en dirección tierra adentro. Otro efecto es que zonas costeras bajas sean cada vez más vulnerables a las inundaciones (Pedroza *et al.*, 2013).

De igual forma, nos menciona Cambers (2009) sobre las adaptaciones humanas a la variabilidad climática, deben asegurar que los ecosistemas sean más resistentes a largo plazo; por lo cual, afirma sobre un caso particular de la región del Caribe, que la variabilidad climática es uno de los problemas más críticos a los que se enfrenta esta zona, ya que ha experimentado, en promedio, un aumento relativo medio del nivel del mar de 1mm durante el siglo XX, aunque hubo una amplia variación local. Sin embargo, afirma que esto perjudica a los sitios ubicados en dichos lugares, ya que el turismo es el principal motor económico en el Caribe insular, y para algunas islas es la industria principal. Por lo que las actividades turísticas que se encuentran cerca de la costa dependen en gran medida del clima tropical, donde la presencia

de playas de arena y de las dunas costeras es determinante.

En esta investigación se obtuvieron datos de 14 variables conformadas por subíndice primario y secundarios, con el fin de adecuarlas a las particularidades de los sistemas de dunas que se encuentran en el litoral Norte y Sur de Colima, lo cual se basó en la propuesta de Peña - Alonso (2018), quien a su vez retoma y adapta 43 variables y/o indicadores de Williams *et al.* (2001). Esta metodología muestra que la modificación del sistema costero deriva de una colonización desordenada, lo que genera la remoción de la cobertura natural. En este trabajo, se observa que las dunas costeras han perdido la vegetación en un periodo de tiempo relativamente corto (3 años), tanto en el litoral Norte como en el Sur del estado de Colima; siendo Playa de Oro y de Playa El Coco en donde se evidencia la mayor pérdida vegetal. En el caso de Playa El Coco, la densidad poblacional y construcciones que se realizan en la duna costera y acciones perturbantes (fragmentación de la duna por caminos, uso de vehículos de todo terreno etc.), son factores con mayor influencia en la transformación de la duna.

En este sentido existen otros trabajos como el de Pedroza *et al.* (2013) donde documenta la relación entre construcciones y las acciones que modifican las dunas costeras, entre las que destaca la infraestruc-

tura urbana, industrial, residencial, turística, acuícola, vial y portuaria, que generan diversos impactos que pueden variar en intensidad, desde la alteración de una parte de su estructura, hasta la pérdida total de la cubierta vegetal. Asimismo, las construcciones son obstáculos que interrumpen o desvían el flujo de aguas y sedimentos, lo que modifica el balance sedimentario; aspecto que Ley *et al.* (2007) afirman, dado que la degradación y desaparición de las dunas debido a la actividad humana es consecuencia de las seis principales actividades que el hombre desarrolla en la costa y que en todos los casos afecta, en mayor o menor medida, a las dunas costeras: 1) residencial y recreativa; 2) industrial y comercial; 3) disponibilidad de zonas de vertidos; 4) agricultura, acuicultura y pesca; 5) reservas naturales; 6) militar y estratégica.

Finalmente, en este trabajo queda expuesto que la Humanidad provoca erosión cuando su acción interfiere en los procesos costeros naturales, alterando el suministro, transporte y deposición de sedimentos, lo cual debe ser considerado de manera particular por las autoridades competentes, ya que en la costa las principales actividades que interfieren en la dinámica litoral, que es parte fundamental para el sistema playa-duna, son la construcción de obras cerca o en la playa, deforestación, impermeabilización del suelo, extracción de arena, gravas, y dragados (Maia, 1998).

## 5. Conclusiones

Los datos resultantes de los cinco sitios que se estudiaron manifiestan que la vulnerabilidad de las dunas costeras, como resultados de la colonización, provoca el potencial de disminuir la resiliencia, lo que pone en peligro su estabilidad, permanencia y la continuidad del litoral. Así mismo, conforme a los objetivos y resultados obtenidos en esta investigación, se determinó que la vulnerabilidad para los sitios de estudio

es baja para Playa EL Coco, El Oro, Peña Blanca y El Edén; y media para Pascuales, debido a presiones por construcciones, turismo, ganadería y actividades recreativas. Además, los cambios de la cobertura vegetal en los sitios de estudio entre 2016, 2017 y 2019 son de disminución para las playas El Coco y El Oro, con un 18.06 % y 19.89 % respectivamente; mientras que, en Peña Blanca, El Edén y Pascuales existe

un incremento del 37.9 %, 19.81 % y 15.1 %. Las modificaciones derivadas de la colonización desordenada del sistema playa-duna y, en específico, las reducciones de la vegetación se presentaron con mayor significancia en El Coco. En las cinco áreas dunares de estudio, para el periodo analizado, se registró un 10% de cambio en el uso de suelo debido a distintas

alteraciones promovidas por la colonización. Finalmente, el índice de vulnerabilidad de dunas (IVD) utilizado es un instrumento útil para el análisis de la estabilidad del sistema playa-duna, la problemática y modificaciones asociadas que resultan en la vulnerabilidad costera.

## 6. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Facultad de Ciencias Marinas y a la Universidad de Colima por los materiales y el laboratorio, en particular al Centro Universitario de Investigaciones Oceanológicas CEUNIVO. Al Dr. Omar Cervantes y Aramis Olivos por su orienta-

ción y a la maestra Teresa Martínez por sus comentarios y aportaciones. Al Lic. Horacio por su apoyo constante. Este artículo ha sido mejorado gracias a los comentarios de los revisores anónimos. Se agradece enormemente su aportación.

## 7. Referencias

- Alcamo, J., & Bennett, E. M. Millennium Ecosystem Assessment (Program), 2003. Ecosystems and human well-being: a framework for assessment. [http://pdf.wri.org/ecosystems\\_human\\_wellbeing.pdf](http://pdf.wri.org/ecosystems_human_wellbeing.pdf)
- Bertoni, D., Sarti, G., Alquini, F., & Ciccarelli, D. (2019). Implementing a coastal dune vulnerability index (CDVI) to support coastal management in different settings (Brazil and Italy). *Ocean & Coastal Management*, 180: 104916. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104916>
- Cambers, G. (2009). Caribbean beach changes and climate change adaptation. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 12(2), 168-176. <https://doi.org/10.1080/14634980902907987>
- Cervantes, O. (2019). Las playas mexicanas: retos y desafíos. Centro Urquidi. El Colegio de México, 1-16. [https://www.researchgate.net/profile/Omar-Cervantes/publication/332844799\\_Las\\_playas\\_mexicanas\\_retos\\_y\\_desafios/links/5ccc586d92851c4eab80f0a2/Las-playas-mexicanas-retos-y-desafios.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Omar-Cervantes/publication/332844799_Las_playas_mexicanas_retos_y_desafios/links/5ccc586d92851c4eab80f0a2/Las-playas-mexicanas-retos-y-desafios.pdf)
- Dada, O., Almar, R., Morand, P., & Ménard, F. (2021). Towards West African coastal social-ecosystems sustainability: Interdisciplinary approaches. *Ocean & Coastal Management*, 211: 105746. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105746>
- Drius, M., Jones, L., Marzioletti, F., de Francesco, M. C., Stanisci, A., & Carranza, M. L. (2019). Not just a sandy beach. The multi-service value of Mediterranean coastal dunes. *Science of the total environment*, 668: 1139-1155. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.364>
- Espejel, I., Jiménez-Orocio, O., Castillo-Campos, G., Garcillán, P. P., Álvarez, L., Castillo-Argüero, S., & Vanderplank, S. (2017). Flora en playas y dunas costeras de México. *Acta Botánica Mexicana*, (121): 39-81. <https://doi.org/10.21829/abm121.2017.1290>
- Fernández-Montblanc, T., Duo, E., & Ciavola, P. (2020). Dune reconstruction and revegetation as a potential measure to decrease coastal erosion and flooding under extreme storm conditions. *Ocean & Coastal Management*, 188: 105075. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.105075>
- Gómez, J. C. N., Reyes, R. R., Macías, E. B., Tenorio, A. E., & Campillo, L. M. G. (2016). Índice de vulnerabilidad costera del litoral tabasqueño, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*,

- 2016(91): 70-85. <https://doi.org/10.14350/rig.50172>
- Hernández-Cordero, A. I., Hernández-Calvento, L., & Espino, E. P. C. (2017). Vegetation changes as an indicator of impact from tourist development in an arid transgressive coastal dune field. *Land Use Policy*, 64: 479-491. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.03.026>
- INEGI. (2017). Anuario estadístico y geográfico de Colima 2017. Retrieved from [https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF\\_Docs/COL\\_ANUARIO\\_PDF.pdf](https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/COL_ANUARIO_PDF.pdf)
- IPCC., (2019). Las decisiones que adoptemos ahora son fundamentales para el futuro de los océanos y la criosfera. Comunicado de prensa del IPCC. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/09/srocc\\_p51-pressrelease\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/09/srocc_p51-pressrelease_es.pdf)
- Kvalvik, I., Solås, A. M., & Sør Dahl, P. B. (2020). Introducing the ecosystem services concept in Norwegian coastal zone planning. *Ecosystem Services*, 42: 101071. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101071>
- Laporte-Fauret, Q., Castelle, B., Michalet, R., Marieu, V., Bujan, S., & Rosebery, D. (2021). Morphological and ecological responses of a managed coastal sand dune to experimental notches. *Science of The Total Environment*, 782: 146813. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146813>
- Ley, C., Gallegos-Fernández, J. B., & Vidal, C. (2007). Manual de restauración de dunas costeras. Ministerio de medio ambiente. Pag.258. <http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0652461.pdf>
- Maia, L. P. (1998). Procesos costeros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE-Brasil): Implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral. [http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/40/1/1998\\_Teselpmaia.pdf](http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/40/1/1998_Teselpmaia.pdf)
- Malvarez, G., Ferreira, O., Navas, F., Cooper, J. A. G., Gracia-Prieto, F. J., & Talavera, L. (2021). Storm impacts on a coupled human-natural coastal system: Resilience of developed coasts. *Science of The Total Environment*, 768: 144987. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.144987>
- Manzanillo, H. A. C. d. (2016). Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial Local del Territorio de Manzanillo, Col. [https://transparencia.manzanillo.gob.mx/img/archivos/articulo1/Acuerdo\\_Programa\\_de\\_Ordenamiento\\_Ecol%C3%B3gico\\_y\\_Territorial\\_Local\\_del\\_Territorio\\_de\\_Manzanillo\\_Colima.pdf](https://transparencia.manzanillo.gob.mx/img/archivos/articulo1/Acuerdo_Programa_de_Ordenamiento_Ecol%C3%B3gico_y_Territorial_Local_del_Territorio_de_Manzanillo_Colima.pdf)
- Martínez, M. L., Gallego-Fernández, J. B., García-Franco, J. G., Moctezuma, C., & Jiménez, C. D. (2006). Assessment of coastal dune vulnerability to natural and anthropogenic disturbances along the Gulf of Mexico. *Environmental Conservation*, 33(2): 109-117. <https://doi.org/10.1017/S0376892906002876>
- Martínez, M. L., Moreno-Casasola, P., Espejel, I., Orocio, O. J., Mata, D. I., Revelo, N. R., & González, J. C. C. (2014). Diagnóstico general de las dunas costeras de México: SEMARNAT. [https://www.researchgate.net/publication/283506147\\_Diagnostico\\_general\\_de\\_las\\_dunas\\_costeras\\_de\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/283506147_Diagnostico_general_de_las_dunas_costeras_de_Mexico)
- Micallef, A., & Williams, A. (2009). Beach management: Principles and practice. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781849770033>
- Núñez-Martínez, T.J. (2020). Análisis, evolución y escenarios ante el desarrollo del Puerto – Ciudad en la Laguna de Cuyutlán. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas-Universidad de Colima. México).
- Pedroza, D., Cid, A., García, O., Silva-Casarín, R., Villatoro, M., Delgadillo, M., Martínez, M. (2013). Manejo de ecosistemas de dunas costeras, criterios ecológicos y estrategias. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, DF, México.
- Peña-Alonso, C (2015). Diseño y aplicación de indicadores de vulnerabilidad y calidad para playas y dunas de canarias: una propuesta metodológica. Universidad de Gran Canaria. Pag. 440. (tesis doctoral). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=154421>
- Peña-Alonso, C., Gallego-Fernández, J. B., Hernández-Calvento, L., Hernández-Cordero, A. I., & Ariza, E. (2018). Assessing the geomorphological vulnerability of arid beach-dune systems. *Science of the Total Environment*, 635: 512-525. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.095>
- Popoca, I., y Espejel, I. (2009). Propuesta de una metodología para evaluar playas recreativas con destino turístico. *Revista de un Medio Ambiente, Turismo Y Sustentabilidad*, 2(2): 119-130.
- Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial Local del Territorio de Manzanillo, Colima. (2016). Manzanillo. 45 p. [https://transparencia.manzanillo.gob.mx/img/archivos/articulo1/Acuerdo\\_Programa\\_de\\_Ordenamiento\\_Ecol%C3%B3gico\\_y\\_Territorial\\_Local\\_del\\_Territorio\\_de\\_Manzanillo\\_Colima.pdf](https://transparencia.manzanillo.gob.mx/img/archivos/articulo1/Acuerdo_Programa_de_Ordenamiento_Ecol%C3%B3gico_y_Territorial_Local_del_Territorio_de_Manzanillo_Colima.pdf)
- Ranwell, D. S., & Rosalind, B. (1986). Coastal dune management guide. Institute of terrestrial Ecology. <http://>

- nora.nerc.ac.uk/id/eprint/5233/1/Coast\_dune\_management.pdf
- SEMARNAT. (2013). Manejo de Ecosistemas de Dunas Costeras, Criterios Ecológicos y Estrategias. México. <https://www.ileanaespejel.com/uploads/1/1/3/3/11330338/cd001496.pdf>
- SEMARNAT. (2016). Subsistema de Información para el Ordenamiento Ecológico. México. [https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/subsistema-de-informacion-para-el-ordenamiento-ecologico-siore#:~:text=El%20SIORE%20es%20una%20herramienta,el%20Ordenamiento%20Ecol%C3%B3gico%20del%20Territorio.&text=Identifica%20territorios%20con%20m%C3%A1s%20de,ejecuci%C3%B3n%20\(regional%20local\)](https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/subsistema-de-informacion-para-el-ordenamiento-ecologico-siore#:~:text=El%20SIORE%20es%20una%20herramienta,el%20Ordenamiento%20Ecol%C3%B3gico%20del%20Territorio.&text=Identifica%20territorios%20con%20m%C3%A1s%20de,ejecuci%C3%B3n%20(regional%20local)).
- Soto, R. G. (2018). Dunas y procesos costeros en una isla tropical caribeña amenazada por erosión, actividades humanas y aumento del nivel del mar. *Caribbean Studies*, 57-77. <https://www.jstor.org/stable/26743849>
- Urbis, A., Povilanskas, R., & Newton, A. (2019). Valuation of aesthetic ecosystem services of protected coastal dunes and forests. *Ocean & Coastal Management*, 179: 104832. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104832>
- UAEM. (2018). Programa Estatal de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Estado de Colima. [http://admiweb.col.gob.mx/archivos\\_prensa/banco\\_img/file\\_5a184c7e9f19a\\_memoria\\_colima\\_OET\\_Estatal.pdf](http://admiweb.col.gob.mx/archivos_prensa/banco_img/file_5a184c7e9f19a_memoria_colima_OET_Estatal.pdf)
- Van der Meulen, F. (1992). Coastal dunes, form and process: edited by KF Nordstrom, NP Psuty and RWG Carter; J. Wiley & Sons, New York; 1990; 392 pp.; USD 60.00; ISBN 0-471-91842-3.
- Williams, A., Alveirinho-Dias, J., Novo, F. G., Garcia-Mora, M., Curr, R., & Pereira, A. (2001). Integrated coastal dune management: checklists. *Continental Shelf Research*, 21(18-19): 1937-1960. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(01\)00036-X](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(01)00036-X)
- Wu, T. (2021). Quantifying coastal flood vulnerability for climate adaptation policy using principal component analysis. *Ecological Indicators*, 129: 108006. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108006>
- Yizhaq, H.; Ashkenazy, Y.; Tsoar, H. 2009. Sand dune dynamics and climate change: A modeling approach. *J. Geophys. Res. Earth Surf.* 114. doi:10.1029/2008JF001138. <https://doi.org/10.1029/2008JF001138>

