



Revista Mexicana de Biodiversidad

ISSN: 1870-3453

falvarez@ib.unam.mx

Universidad Nacional Autónoma de

México

México

Jiménez-Orocio, Oscar; Espejel, Ileana; Martínez, María Luisa  
La investigación científica sobre dunas costeras de México: origen, evolución y retos  
Revista Mexicana de Biodiversidad, vol. 86, núm. 2, 2015, pp. 486-507  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42539890001>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en [redalyc.org](http://redalyc.org)

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



Disponible en [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

# Revista Mexicana de Biodiversidad

Revista Mexicana de Biodiversidad 86 (2015) 486–507



[www.ib.unam.mx/revista/](http://www.ib.unam.mx/revista/)

Artículo de revisión

## La investigación científica sobre dunas costeras de México: origen, evolución y retos

*Scientific research on coastal dunes of Mexico: origin, evolution and challenges*

Oscar Jiménez-Orocio<sup>a</sup>, Ileana Espejel<sup>a,\*</sup> y María Luisa Martínez<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California, Carretera Tijuana-Ensenada km 103, 22800 Ensenada, Baja California, México

<sup>b</sup> Red de Ecología Funcional, Instituto de Ecología, A.C., Carretera antigua a Coatepec 351, El Haya, 91070 Xalapa, Veracruz, México

Recibido el 20 de mayo de 2014; aceptado el 16 de enero de 2015

Disponible en Internet el 27 de mayo de 2015

### Resumen

El conocimiento sobre los ecosistemas clave de un país es una prioridad nacional de la investigación científica para plantear una política de ciencia que motive la generación de conocimiento para llenar vacíos en la información. Presentamos los resultados de una exhaustiva revisión bibliográfica que exponen la situación actual del conocimiento de las dunas costeras de México. El 47% de la investigación científica se enfoca en el estudio de la ecología vegetal, principalmente en las costas del Atlántico. Destaca Veracruz como el estado costero con mayor número de sitios estudiados (86). Se ha publicado la distribución de 844 especies de plantas y 166 de animales, y se han identificado 400 interacciones bióticas que muestran su importancia en el éxito reproductivo de plantas y en los procesos de sucesión vegetal. Las investigaciones evidencian al desarrollo antropogénico como principal factor de estrés sobre los ecosistemas dunares. Se concluye la necesidad de utilizar algunas variables de la biodiversidad como indicadores para monitorear los efectos del cambio climático y del desarrollo humano sobre la integridad y el funcionamiento de las costas. Esto permite plantear hipótesis donde se integre al desarrollo socioeconómico y su impacto en el ambiente, y las estrategias para la conservación y manejo de estos ambientes tan dinámicos.

Derechos Reservados © 2015 Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0.

*Palabras clave:* Estado del conocimiento; Ecosistemas costeros; Estudios de país; Biodiversidad costera

### Abstract

The knowledge on key ecosystems is necessary to promote scientific policies that encourage science projects that aim at fulfilling information gaps. We conducted a thorough literature review in order to assess the state of the art in the scientific research that has been performed on Mexican coastal dunes. We found that 47% of the studies focused on plant ecology mostly along the Atlantic coast. The state of Veracruz has been the most studied (86). In addition, the spatial distribution of 844 plant species and 166 of animal species have been reported. Four hundred ecological interactions have demonstrated the relevance of different species for reproductive fitness in plants and plant succession processes. The studies highlight human activities as the main stressor on coastal dunes systems. We conclude that it is necessary to use biodiversity variables as ecological indicators for monitoring climate changes as well as the impacts of human activities on coastal dunes. The above will enable us to devise conservation and environmental management strategies where economic development and environmental impact are integrated within the ecological studies hypothesis.

All Rights Reserved © 2015 Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología. This is an open access item distributed under the Creative Commons CC License BY-NC-ND 4.0.

*Keywords:* State of the art; Coastal ecosystems; National studies; Coastal biodiversity

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [ileana.espejel@uabc.edu.mx](mailto:ileana.espejel@uabc.edu.mx) (I. Espejel).

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2015.04.022>

1870-3453/Derechos Reservados © 2015 Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0.

## Introducción

Los estudios sobre los ecosistemas clave de un país deben ser una prioridad nacional de la investigación científica para poder plantear una política de la ciencia que motive la generación de conocimiento para llenar los vacíos en la información, así como el monitoreo de los indicadores de cambio. Por sus características geomorfológicas, las particularidades sedimentarias y los servicios del ecosistema —por ejemplo, protección costera— que proporcionan, las dunas costeras (DC) son un ecosistema clave que cobra importancia socioeconómica por el aumento de la vulnerabilidad costera cuando hay proyecciones de elevamiento del nivel medio del mar (Semarnat, 2013) y se incrementan los desarrollos mineros, agropecuarios, urbanos y de infraestructura portuaria, turismo, entre otros (Camacho-Valdés, Murillo-Jiménez, Nava-Sánchez y Turrent-Thompson, 2008; Martínez et al., 2014).

Además de su importancia, las DC son ecosistemas interesantes como objetos de investigación científica porque su estructura geomorfológica y funcionamiento están determinados, en gran parte, por el efecto de los disturbios naturales que ocurren recurrentemente (Maun, 2009). Estos ecosistemas parecen simples, pero conllevan una complejidad natural que se comprueba a través de las adaptaciones bióticas a un ambiente físico de extremos, es decir, intenso movimiento de arena, inundaciones y sequías o temperaturas extremosas en tan solo un día. En un sistema de DC coexisten una serie de microhabitats, desde dunas embrionarias hasta lagunas, matorrales y selvas sobre dunas, donde se llevan a cabo interacciones ecológicas que permiten el funcionamiento de todo el sistema, convirtiéndolo en un ecosistema aparentemente simple pero ambientalmente muy complejo (Martínez y Psuty, 2004).

Se estima que en México existen aproximadamente 800,000 ha de DC, el 1% de la superficie del país, distribuidas en alrededor del 80% del litoral costero mexicano (Jiménez-Orocio, Espejel et al., 2014; Jiménez-Orocio, Hesp, Martínez, Espejel y Moreno-Casasola, 2014). De acuerdo con Jiménez-Orocio et al. (2014a), cerca del 50% de las DC del país han sido transformadas para uso agropecuario o urbanizadas. Su amplia distribución (Martínez et al., 2014) y la heterogeneidad del desarrollo económico costero en México (Seingier, Espejel y Fermán-Almada, 2009) permite la presencia de dunas muy deterioradas, pero también muy bien conservadas. Por ejemplo, las costas del golfo de México han estado sujetas a constantes presiones de cambio por el establecimiento de puertos industriales y comerciales (Siemens, Moreno-Casasola y Sarabia, 2006), mientras que las dunas del Pacífico norte están prácticamente intactas.

El objetivo de este artículo es presentar un análisis a nivel país donde se explora la situación actual del conocimiento de un ecosistema clave, las DC en México, para mostrar la importancia de definir vacíos de conocimiento e indicar las oportunidades y prioridades para la investigación de este ecosistema a nivel nacional. El análisis del conocimiento de las DC en México permitirá, por un lado, comprender los factores que han determinado estos estudios y, por otro, definir los caminos del futuro. Este análisis permitirá subsanar los vacíos en el conocimiento

para contar con mejor información para la toma de decisiones sobre el manejo y la conservación de estos ecosistemas.

## Materiales y métodos

Se hizo una búsqueda intensiva de la literatura publicada sobre estudios realizados en México y enfocados en las DC. Se consultaron las siguientes bases de datos: ISI (Institute for Scientific Information) Web of Science, EBSCO (Elton B. Stephens Company), BioOne, Scielo (Scientific Electronic Library Online), Redylac (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe) y Google Scholar. Se realizó una primera búsqueda en octubre de 2012; sin embargo, tanto la base de datos Google Scholar como las referencias bibliográficas de muchos artículos y capítulos revelaron información de revistas no indexadas en las bases de datos anteriores, por lo que la literatura fue solicitada directamente a los autores. Lo anterior permitió que la base de datos se completara en noviembre de 2014. Las siguientes palabras se utilizaron en los motores de búsqueda: «dune» and «Mexico» not «New Mexico» para bases de datos en inglés, y «duna», «arenal» y «médano» para las bases de datos en español. Para complementar la información de la literatura científica se buscaron también, tanto en Internet como solicitando directamente a los autores, libros y capítulos de libros de divulgación, con estudios de DC de México. La bibliografía se categorizó con base en las líneas de investigación identificadas en los diferentes artículos científicos conforme se elaboraba la base de datos (tabla 1). Para conocer la distribución espacial del conocimiento sobre DC se georreferenciaron los sitios de estudio citados en las publicaciones, y posteriormente fueron sobrepuertos con el marco geoestadístico del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Inegi, 2010).

## Resultados y discusión

### Tendencias generales

Se analizaron 156 artículos científicos, 3 libros y 37 capítulos de libros. Los artículos están publicados en 87 revistas, de las cuales el 85% son revistas internacionales indexadas con factor de impacto de 0.15 a 8.2, puntaje común en el área de ecología, que es el tema más publicado. Por esta razón, el mayor conocimiento (72%) de las revistas de las DC mexicanas está en inglés. Casi la mitad (44%) de los artículos científicos son estudios descriptivos de ecología vegetal, el 25% son de geomorfología, mineralogía y/o geología de las DC, de las interacciones ecológicas (12%) y de ecología animal (9%) (fig. 1a). Muy poca investigación (5%) se ha publicado sobre diagnósticos integrados referentes al impacto ambiental y riesgo costero, y solo el 4% de los artículos se enfocan en las dunas como elemento importante del manejo integrado de la zona costera y/o para la valoración de servicios del ecosistema (1%). Resalta la predominancia de estudios con enfoque en la ecología vegetal e interacciones ecológicas realizados en el Atlántico, mientras que los estudios sobre geología y mineralogía han sido más abundantes en el Pacífico. En el caso de los capítulos de libro, los estudios también se han enfocado en las descripciones de la

Tabla 1

Categorías y subcategorías temáticas encontradas en las publicaciones sobre DC de México.

1. Geología y geomorfología	2. Ecología	3. Impacto ambiental	4. Manejo y conservación
1.1. Geología y/o mineralogía costera	2.1. Ecología vegetal	3.1. Análisis de vulnerabilidad costera	4.1. Valoración de servicios del ecosistema
1.2. Geomorfología	2.2. Ecología animal		4.2. Manejo ambiental
1.3. Erosión costera y/o balance sedimentario	2.3. Interacciones bióticas		

vegetación (ecología vegetal) (43%); sin embargo, se observa un gran número (24%) de estudios dirigidos al planteamiento de estrategias de manejo ambiental y a la divulgación científica ([fig. 1b](#)).

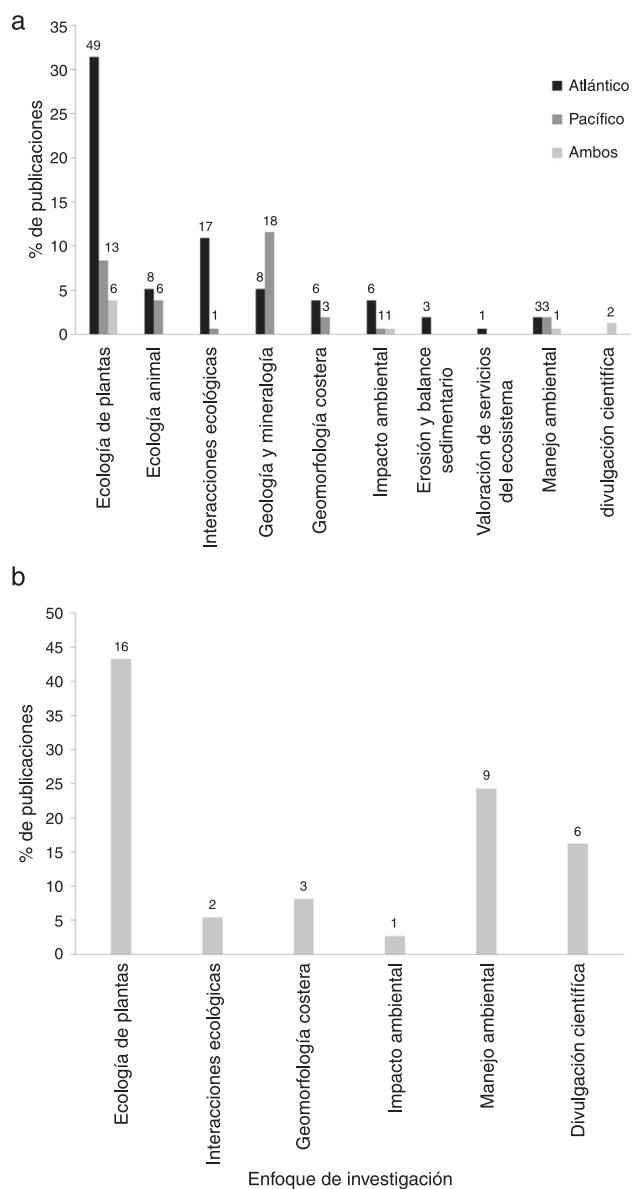


Figura 1. Principales enfoques de estudios encontrados en los artículos (a) y capítulos de libros sobre DC de México (b). El número sobre las barras indica el número de investigaciones publicadas.

#### Distribución geográfica de los estudios de dunas costeras

El análisis de la localización de las investigaciones dibuja un mapa muy interesante de la geografía del conocimiento que se tiene sobre las DC de México ([fig. 2](#)). El 65% de las investigaciones publicadas son de las dunas del golfo de México y mar Caribe, y solo el 28% son de las dunas del Pacífico. Únicamente 4 artículos describen las dunas de ambos litorales y 6 son descripciones generales o taxonómicas que no se refieren a un sitio en particular. La mayoría de los estudios ecológicos se han llevado a cabo en la costa del océano Atlántico, pero la investigación geológica se ha realizado predominantemente en la costa del Pacífico. Se registraron 289 sitios estudiados en 14 de los 17 estados costeros. Por mucho, las dunas del golfo de México y mar Caribe son las más estudiadas (167 sitios), en contraste con 122 sitios en el Pacífico. Destaca Veracruz como el estado costero con mayor número de sitios estudiados (97), seguido de Sonora y Baja California Sur (35 y 33, respectivamente). El hecho de que las DC del Atlántico hayan sido más estudiadas, en particular la costa del centro del golfo de México, se debe al establecimiento de una estación de investigaciones biológicas (La Mancha) que ha servido de laboratorio experimental para muchos investigadores. Por otro lado, las DC del norte de la península de Yucatán también se han estudiado intensamente por la ubicación de centros de investigación en las inmediaciones; por ejemplo, Centro de Investigaciones de Yucatán (CICY), Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) o del extinto Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos (Inireb). Aunque la ecología de las DC del Pacífico norte-noroeste parece que ha sido estudiada, en realidad se debe solo a 3 estudios regionales ([Johnson, 1977, 1982](#) y [Peinado et al., 2011](#)). El difícil acceso a este litoral no ha ayudado a la investigación intensiva del mismo. Las DC del Pacífico sur casi no se han estudiado ([fig. 2](#)), debido probablemente a que solo recientemente se abrieron centros de investigación en estas zonas; también puede deberse al hecho de que las DC están estabilizadas con vegetación de selvas bajas, y por ello no son consideradas como vegetación de DC por los especialistas: 283 autores (66% nacionales, 34% extranjeros: 20% de Estados Unidos de América) de 91 instituciones (10% nacionales, 11% de Estados Unidos de América, el 79 restante dividido en otros 16 países) han realizado trabajos sobre DC en el país. Cabe destacar que el 77% de los autores solamente han participado en una publicación; del resto destacan: M. L. Martínez (32 artículos, 6 capítulos de libro), P. Moreno-Casasola (30 artículos, 19 capítulos), J. J. Kasper-Zubillaga (13 artículos) e I. Espejel (10 artículos, 6 capítulos). Las instituciones con mayor número de autores adscritos son la Universidad Nacional

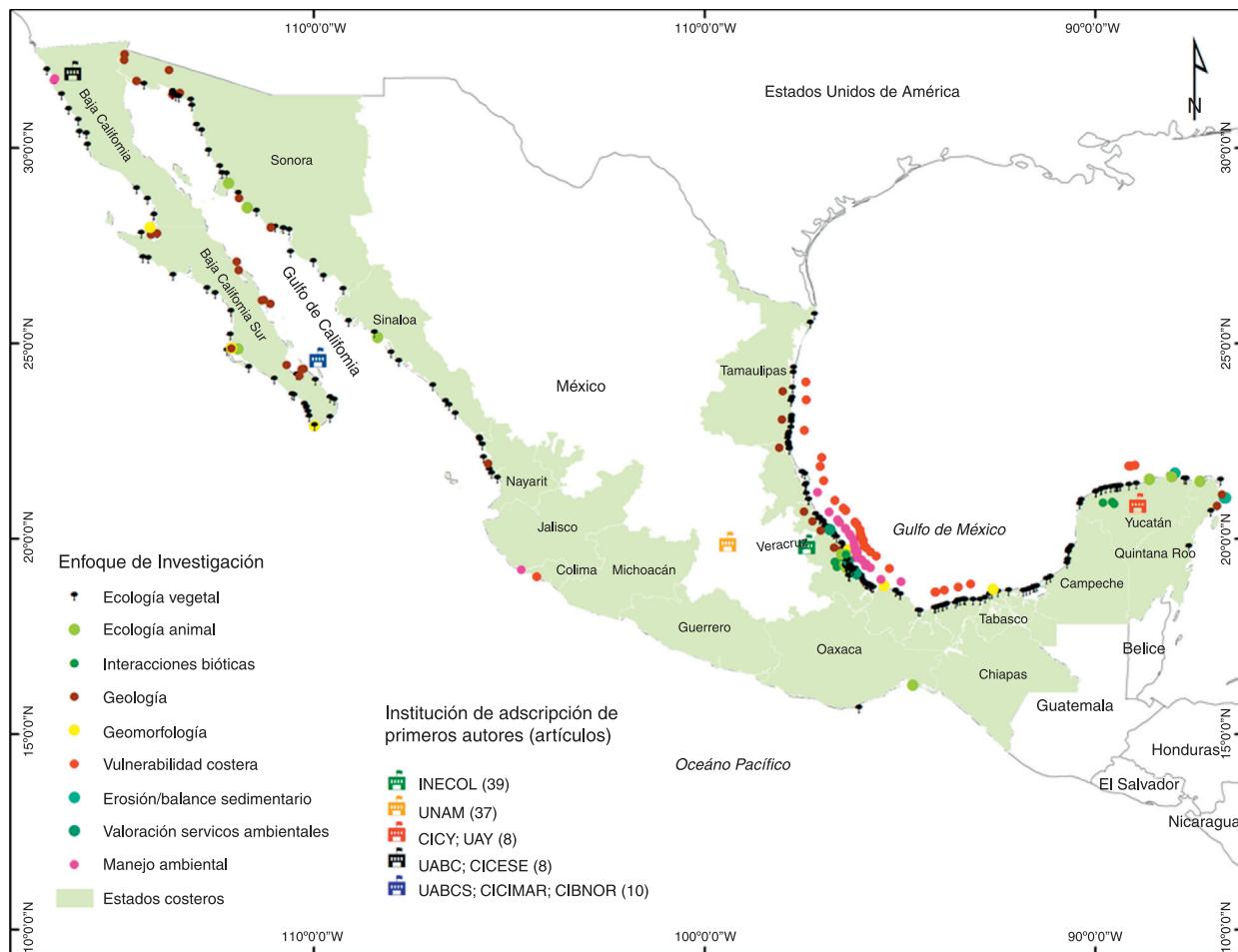


Figura 2. Geografía del conocimiento sobre DC en México. Elaboración a partir de los sitios de estudio referidos en los 135 artículos científicos.

Autónoma de México (51), el Instituto de Ecología, A. C. (43), el Centro de Investigaciones Científica de Yucatán, A. C. (16) y la Universidad Autónoma de Baja California (10).

#### *Desarrollo histórico de la investigación en dunas costeras*

La investigación en DC en México es un tema relativamente reciente. Aunque se registraron publicaciones desde principios de 1960, no fue hasta 1982 que se incrementaron las publicaciones y se ha mantenido la producción (fig. 3; anexo 1). Las primeras publicaciones registradas fueron de investigadores extranjeros en el tema de dinámica vegetal y sedimentaria de DC (Inman, Ewing y Corliss, 1966; Poggie, 1962; Psuty, 1965) (anexo 1). El inicio de las investigaciones ecológicas en países latinoamericanos como México data de hace 50 años (Martínez, Manson et al., 2006) porque la formación de científicos naturales comenzó apenas a mediados del siglo xx (Guevara y Moreno-Casasola, 1995). La formación de especialistas y grupos de investigación mexicanos sobre DC se refleja en las décadas 1990-2010, y la mayor producción se presenta en la última década.

#### *Situación actual del conocimiento del ecosistema de dunas costeras de México de acuerdo con diferentes temáticas*

**Geología y geomorfología.** El primer trabajo sobre la geomorfología de DC en México es de Psuty (1965), quien reconoció los cordones paralelos de dunas frontales de la costa de Tabasco y apunta que la formación de estas morfoestructuras describe la evolución de la línea de costa que ha ganado terreno al mar, y que se debe principalmente al intenso aporte de sedimento de las descargas fluviales del río Grijalva. Posteriormente, Coll-de Hurtado (1969) describió las características geomorfológicas de las dunas parabólicas del sur de Veracruz mediante el uso de imágenes aéreas. En los estudios sobre vegetación se evaluaban, de manera muy superficial, las características del suelo y los tipos de dunas, y no fue hasta 1992 que Dubroeucq, Geissert, Moreno-Casasola y Millot (1992), Hesp et al. (2011) y López-Portillo et al. (2011) caracterizaron geomorfológicamente y analizaron las características del suelo de las DC de la costa central del golfo de México. En estos trabajos se reconoce un gradiente de distribución de las geoformas que suele coincidir con el gradiente de la vegetación y de la cobertura vegetal, que influyen directamente en las características

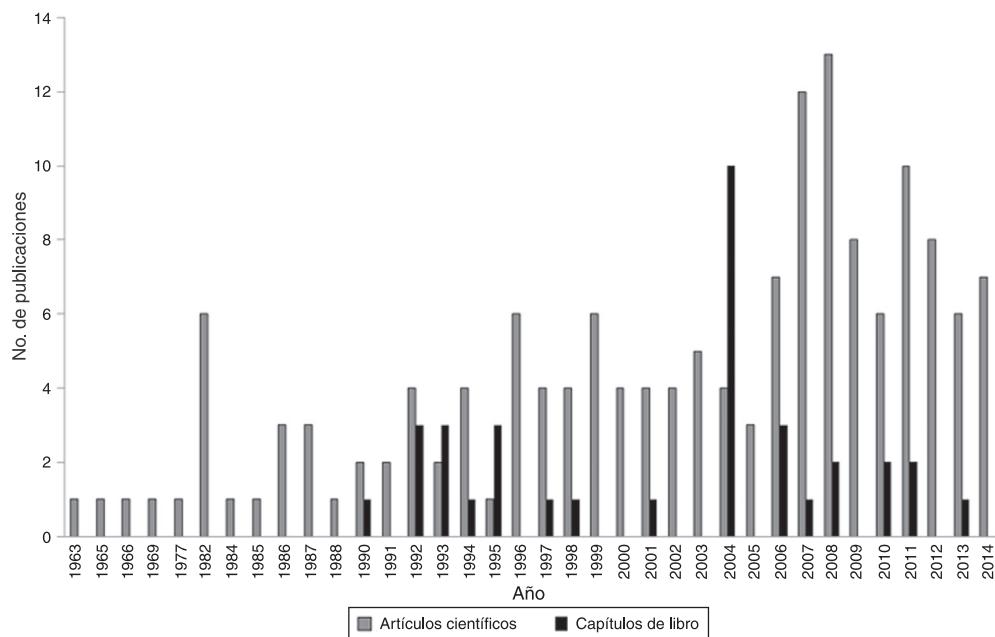


Figura 3. Número de publicaciones científicas en revistas indexadas y libros y capítulos de libro de divulgación sobre DC en México.

del suelo, aunque también han estado influenciadas por los movimientos tectónicos y las actividades antrópicas.

Los estudios de geología de las DC del Pacífico mexicano se han enfocado en los grandes sistemas del noroeste. Por su heterogeneidad paisajística la península de Baja California es la más estudiada. Inman et al. (1966) realizaron una descripción de las formas y de la dinámica de las DC de Guerrero Negro y describieron por primera vez en México la formación de barjanes. La dinámica sedimentaria de estas dunas obedece a la orientación casi unidireccional del viento que transporta los granos de arena hasta 60 km tierra adentro; los autores sugieren que la isla de barrera de Guerrero Negro es el resultado de un proceso de progradación de 1.6 km de los últimos 1,800 años (Fryberger, Krystinik y Schenk, 1990; Phleger y Ewing, 1962) y calculan una tasa de movimiento de las dunas, tierra adentro, de 18 m por año. Lo anterior es respaldado por Kasper-Zubillaga y Zolezzi-Ruiz (2007) y Kasper-Zubillaga, Carranza-Edwards y Morton-Bermea (2008), quienes determinaron que la presencia de detritus biogénicos y carbonatos en la composición sedimentaria de las DC tiene su origen en una mezcla de sedimentos oceánicos y aluviales. En contraste, estos autores mencionan que el origen de la arena de dunas desérticas corresponde a depósitos aluviales. Con los estudios sobre el origen y la dinámica de sedimento de las DC los científicos han podido delimitar y diferenciar a las DC de las dunas continentales. Se han utilizado métodos mineralógicos, granulométricos y petrográficos en las costas de Sonora (Armstrong-Altrin, Nagarajan, Lee, Kasper-Zubillaga y Córdoba-Saldaña, 2014; Kasper-Zubillaga y Carranza-Edwards, 2003, 2005; Kasper-Zubillaga, Carranza-Edwards y Morales-de la Garza, 2007; Kasper-Zubillaga, Acevedo-Vargas, Bermea y Zamora, 2008) y de Baja California (Murillo-de Nava y Gorsline, 2000; Murillo-de Nava, Gorsline, Goodfriend, Vlasov y Cruz-Orozco, 1999; Rodríguez-Revelo, Rendón-Márquez,

Espejel, Jiménez-Orocio y Martínez, 2014; Russell y Johnson, 2000; Sewell, Johnson, Backus y Ledesma-Vázquez, 2007; Skudder, Backus, Goodwin y Johnson, 2006). Lo anterior también ha sido confirmado por Kasper-Zubillaga, Armstrong-Altrin, Carranza-Edwards, Morton-Bermea y Lozano-Santa Cruz (2013); Kasper-Zubillaga, Carranza-Edwards y Rosales-Hoz (1999); Kasper-Zubillaga y Dickinson (2001), y Armstrong-Altrin et al. (2012) para las costas del centro-noreste del golfo de México. Sin embargo, en estas zonas las descargas de ríos y el acarreo eólico juegan un papel crucial en transporte, depósito y aporte de sedimentos a los sistemas playa-DC.

#### Investigación ecológica. Distribución de la vegetación de dunas costeras

Poggie (1962) abrió camino en la investigación ecológica de DC en México a través de estudios de las asociaciones vegetales y las características particulares de las plantas para establecerse en ambientes extremos. Posteriormente, Johnson (1977) registró la diversidad de plantas de dunas de la costa del Pacífico norte, desde Tijuana (BC) hasta La Paz (BCS) (Johnson, 1977) y del golfo de Santa Clara (Sonora) hasta San Blas (Nayarit) (Johnson, 1982). Ella determinó que los límites de las asociaciones de plantas están dados por los límites climáticos y características sedimentarias de cada región. A partir de sus estudios, esta autora dividió a la península de Baja California en 3 regiones: norte, dominada por *Abromia maritima*, *Cakile maritima*, *Ambrosia chamissonis Mesembryanthemum chilense*; centro, donde predominan *Sesuvium portulacastrum*, *Atriplex barclayana* y *Astragalus magdalena*, y por último la región del Cabo, con *Jouvea pilosa*, *Sporobolus virginicus*, *Palafoxia linearis* y *Chamaesyce leucophylla*. Por otro lado, la autora

determinó que la vegetación de DC en la costa este del golfo de California se encuentra en 3 sectores: la región del desierto (cercano al río Colorado), dominada por *A. barclayana*, *Ambrosia dumosa* y *Atriplex canescens*; la región central, dominada por *A. maritima*, *S. portulacastrum*, *P. linearis*, *Croton californicus* y *Asclepias subaphylla*, y el sector tropical, dominado por *Diodia crassifolia*, *Pectis multiflosculosa*, *J. pilosa*, *Prosopis juliflora*, *Coccoloba* sp. y *Pithecellobium dulce*. Esta misma regionalización fue retomada por Moreno-Casasola et al. (1998) para la regionalización florística de las costas del país, aunque en este caso los autores también incluyeron la vegetación de ambientes costeros rocosos. Además, en este caso las delimitaciones geográficas se determinaron con base en el clima, el sustrato y las especies dominantes. A un nivel de regionalización más alto, Eskuche (1992) clasificó esta zona como «*Abronietalia maritimae*» en su esquematización de la vegetación de DC de América Latina. El autor toma como referencia la amplia distribución y dominancia de *A. maritima* en las playas y dunas frontales del noroeste de México, documentadas por Johnson (1977, 1982, 1985).

Por otro lado, los patrones de distribución de vegetación en las costas del Atlántico, así como el golfo de México y mar Caribe, han sido estudiados por Castillo y Moreno-Casasola (1998); Castillo, Popma y Moreno-Casasola (1991); Espéjel (1984, 1986, 1987); Moreno-Casasola (1988); Moreno-Casasola y Espéjel (1986); Moreno-Casasola, Maarel, Castillo, Huesca y Pisanty (1982), Moreno-Casasola et al. (1998), entre otros. Moreno-Casasola y Espéjel (1986) agrupan la vegetación de dunas en 3 grandes regiones: golfo norte, dominado por *Ipomoea imperatii*, *I. pes-caprae*, *Uniola paniculata* y *Panicum amarulum*; golfo central, *I. imperatii*, *I. pes-caprae*, *Canavalia rosea*, *Croton punctatus*, *Chamaecrista chamaecristoides*, *Palafoxia lindenii*, *Coccoloba barbadensis*, *Chrisobalanus icaco*, *Diphysa robiniae*, *Cedrella odorata* y *Bursera simaruba*, y Caribe, dominado por *Tournefortia gnaphaloides*, *C. maritima* y *Coccotrinax* sp. Además de la distribución geográfica, las autoras distinguen diferencias significativas entre gradientes topográficos que determinan la presencia de especies, delimitándolas entre vegetación de playa, de dunas embrionarias y frontales, de dunas activas, de hondonadas y de dunas estabilizadas. En este sentido, las autoras describen 89 tipos de comunidades vegetales: 58 en la costa del golfo de México y 31 para la península de Yucatán; cabe destacar que solo en la transición entre el golfo y el Caribe (Tabasco y Campeche) se han registrado 36 comunidades vegetales (Castillo et al., 1991).

Otros estudios botánicos importantes describen la biología y nuevos registros de especies endémicas (*Portulaca californica*, *Bursera littoralis* y *B. rupicola*) (Ocampo y Columbus, 2008; León-de la Luz y Pérez-Navarro, 2010, respectivamente) y nuevas especies como *Bidens cabopulmensis* (León-de la Luz y Medel-Narváez, 2013). Aunado a lo anterior, también existen artículos científicos donde se describe la distribución de 844 especies (tabla 2) de las alrededor de 1,600 especies de plantas de DC, documentadas por Moreno-Casasola et al. (1998), en las 5 regiones florísticas costeras de México. Las especies de plantas pioneras de las familias Leguminosas y Poáceas son las más abundantes; destaca *C. chamaecristoides*, *C. rosea*,

*I. pes-caprae*, *S. virginicus*, *P. lindenii* y *S. portulacastrum* como las especies más estudiadas. El Pacífico norte cobra importancia por la presencia de especies restringidas y endémicas y por su heterogeneidad ambiental (Moreno-Casasola et al., 1998; Peinado, Aguirre, Delgadillo y Macías, 2007; Peinado et al., 2011). De acuerdo con Moreno-Casasola et al. (1998), por sus características tropicales las regiones del golfo de México, mar Caribe y Pacífico sur comparten un gran número de especies; sin embargo, el Pacífico sur es la región con menor número de investigaciones sobre DC del país.

#### Distribución de la fauna de dunas costeras

A diferencia de la flora, la fauna de DC ha sido poco investigada. Peralta-Peláez, Deloya y Moreno-Casasola (2007) registraron alrededor de 60 familias de insectos acuáticos asociados a las hondonadas inundables o lagunas interdunarias, y mencionan que la presencia de estos insectos está ampliamente relacionada con la gran cantidad de materia orgánica disponible en las lagunas interdunarias. Lo anterior fue comprobado en estudios posteriores (Peralta-Peláez y Moreno-Casasola, 2009; Infante-Mata, Moreno-Casasola, Madero-Vega, Castillo-Campos y Warner, 2011), donde se concluye que las algas y la vegetación asociada a las lagunas interdunarias intervienen en los procesos que determinan las propiedades fisicoquímicas de los cuerpos de agua y, a la vez, afectan a la presencia de organismos acuáticos, como son los insectos. En el caso de los reptiles, en Sonora se han registrado algunas especies (*Cnemidophorus tigris*, *Uta stansburiana*, *Callisaurus draconoides*) que usan a las DC como hábitat, a lo largo de diferentes gradientes (García y Whalen, 2003).

Otros organismos que utilizan las DC son las aves y los murciélagos, aunque el hábitat de estos no sean las dunas (Sosa-Escalante, Hernández y Segovia, 2001; Zárate-Ovando, Palacios y Reyes-Bonilla, 2008), sin embargo utilizan estos ambientes en las interacciones ecológicas en las que participan. La importancia de las DC como zonas de descanso, anidación y reproducción de aves fue documentada para las costas de Baja California (Zárate-Ovando et al., 2008), Sinaloa (Castillo-Guerrero, González-Medina y González-Bernal, 2009), Nayarit (Mellink, Riojas-López y Luevano, 2009) y Yucatán (Celis-Murillo, Deppe y Ward, 2012). Zárate-Ovando et al. (2008) registraron más de 80 especies de aves acuáticas que comparten hábitat con manglares y planicies arenosas. Los autores prueban la hipótesis de que la distribución de las aves se relaciona con la disponibilidad y concentración temporal de alimento, por lo que sugieren que existe la necesidad de acciones de conservación de todos los ecosistemas interrelacionados (manglar-duna-playa arenosa). En este sentido, Castillo-Guerrero et al. (2009) y Mellink et al. (2009) documentan sitios de anidación de aves acuáticas en el Pacífico sur. Sus resultados sugieren la implementación de áreas prioritarias de conservación, debido a que son sitios clave para la reproducción de aves tanto residentes como migratorias y que, además, están impactadas por actividades antropogénicas. Lo anterior fue sugerido para el caso de *Charadrius alexandrinus* (Escofet y Espéjel, 1999) en las costas de Ensenada y para *Sternulla antillarum* (Fleishman y Blinick, 2011) en Sinaloa.

Tabla 2

Distribución de especies de plantas en los diferentes gradientes de estabilización de las DC en las diferentes regiones florísticas, con base en los publicaciones de Johnson (1977, 1982), Moreno-Casasola y Espejel (1986) y Semarnat (2013).

Microambiente	Pacífico Norte	Golfo de California	California Pacífico Sur	Golfo de México	Mar Caribe
Playa y dunas embrionarias	<i>Abronia maritima</i> , <i>Atriplex barclayana</i> , <i>Ambrosia dumosa dumosa</i>	<i>Ephedra trifurca</i> , <i>Atriplex barclayana</i> , <i>Ambrosia dumosa</i>	<i>Ipomoea pes-caprae</i> , <i>Sporobolus virginicus</i> , <i>Distichlis spicata</i>	<i>Uniola paniculata</i> , <i>Ipomoea imperati</i> , <i>Canavalia rosea</i> , <i>Chamaecrista chamaecristoides</i>	<i>Sporobolus virginicus</i> , <i>Sesuvium portulacastrum</i>
Dunas frontales	<i>Nemacaulis denudata</i>	<i>Atropex canescens</i> , <i>Helianthus niveus</i> , <i>Sporobolus virginicus</i> , <i>Sesuvium portulacastrum</i> , <i>Palafoxia linearis</i>	<i>Canavalia rosea</i> , <i>Pectis arenaria</i>	<i>Palafoxia lindenii</i> , <i>Croton punctatus</i> , <i>Schizachyrium littorale</i> , <i>Pectis arenaria</i> , <i>Commelina erecta</i> , <i>Coccoclobo uvifera</i>	<i>Croton punctatus</i> , <i>Tournefortia gnaphalodes</i> , <i>Suriana maritima</i> , <i>Scaevela plumerii</i> , <i>Chrysobalanus icaco</i>
Dunas estabilizadas	<i>Ephedra californica</i> , <i>Croton californicus</i> , <i>Hazardia squarrosa</i> , <i>Lycium californicum</i> , <i>Atriplex julacea</i> , <i>Astragalus magdalena</i> , <i>A. dumosa</i> , <i>Diospyros intricata</i> , <i>Oenothera drummondii</i> , <i>A. barclayana</i> , <i>Atrople leucophylla</i> , <i>Marina maritima</i> , <i>Jouvea pilosa</i> , <i>Jatropha cuneata</i>	<i>Larrea divaricata</i> , <i>Bursera microphylla</i> , <i>Croton californicus</i> , <i>Acacia farnesiana</i> , <i>Coccoclobo</i> sp., <i>Lycium</i> sp., <i>Cylindropuntia alcahes</i> , <i>Cylindropuntia cholla</i> , <i>Fouquieria diguetii</i> , <i>Euphorbia leucophylla</i>	<i>Caesalpinia bonduc</i> , <i>Prosopis juliflora</i> , <i>Pithecellobium dulce</i> , <i>Guaiacum coulteri</i> , <i>Opuntia excelsa</i> , <i>Bumelia celastrina</i> , <i>Thevethia peruviana</i> , <i>Bursera linanoe</i> , <i>Jacquinia macrocarpa</i> , <i>Chrysobalanus icaco</i>	<i>Diphysa robinioides</i> , <i>Bursera simaruba</i> , <i>Enterolobium cyclocarpum</i> , <i>Astrocarum mexicanum</i> , <i>Ficus insipida</i> , <i>Quercus oleoides</i> , <i>Coccoclobo barbadensis</i> , <i>Karwinskia humboldtiana</i> , <i>Nectandra salicifolia</i> , <i>Capparis flexuosa</i> , <i>Chrysobalanus icaco</i>	<i>Thrinax radiata</i> , <i>Coccothrinax readii</i> , <i>Pseudophoenix sargentii</i> , <i>Caesalpinia vesicaria</i> , <i>Pithecellobium keyense</i> , <i>Bravaisia berlandieriana</i> , <i>Coccoclobo uvifera</i> , <i>Cordia sebestena</i> , <i>Metopium brownei</i>
Hondonadas húmedas y lagos interdunarios	<i>Allenrolfia occidentalis</i> , <i>Batis maritima</i> , <i>Jatropha cinerea</i> , <i>Monanthocloe littoralis</i> , <i>Salicornia bigelovii</i> , <i>Salicornia virginica</i> , <i>Salicornia subterminalis</i>	ND		<i>Hydrocotyle bonarensis</i> , <i>Cyperus articulatus</i> , <i>Lippia nodiflora</i> , <i>Scirpus pungens</i> , <i>Cyperus ligularis</i> , <i>Typha domingensis</i> , <i>Phragmites comunis</i> , <i>Juncus acutus</i>	

ND: información no disponible.

En relación con los mamíferos, Cervantes y Hortelano (1991) documentaron la presencia de 20 especies de mamíferos pequeños, principalmente de la familia Phyllostomatidae y Muridae, asociados al matorral y selva sobre DC del centro de Veracruz, pero no en las dunas frontales ni activas. Por otro lado, Lorenzo, Rioja, Carrillo y Cervantes (2008) registran lagomorfos (*Lepus flavigularis*) para la costa de Oaxaca.

En resumen, se han registrado alrededor de 166 especies de animales en las DC del litoral mexicano (tabla 3). Las aves son el grupo de animales más representado, especialmente aves acuáticas y playeras (65 especies), principalmente en las costas del Pacífico norte y golfo de California. En las costas del Atlántico la fauna de DC que ha sido estudiada es la que se analiza en trabajos de interacciones ecológicas, especialmente aves frugívoras y lepidópteros polinizadores asociados con la vegetación de dunas estabilizadas (ver sección de interacciones bióticas).

#### Adaptaciones al ambiente de dunas

Uno de los principales resultados de Johnson (1985) es la amplia distribución de *A. maritima*, especie de planta formadora de dunas que, a pesar de establecerse cercana al mar, no es halófita y se reproduce solamente por semillas. Estas semillas presentan adaptaciones para la dispersión marina y suficiente reserva energética para germinar en condiciones desfavorables (Johnson, 1985). La germinación y la capacidad de supervivencia de plantas, en sus diferentes estadios, también fueron documentadas para *Amaranthus greggii*, *P. lindenii* y *Trachypogon gouini* (Martínez y Moreno-Casasola, 1993), *Acacia farnesiana*, *A. macracantha*, *Mimosa chaetocarpa*, *Indigofera suffruticosa*, *Crotalaria incana* y *C. chamaecristoides* (Moreno-Casasola, Grime y Martínez, 1994), e *I. pes-caprae*, *C. rosea*, *P. lindenii* y *S. scoparium* (Valverde, Rincón y Pisanty, 1997).

Tabla 3

Número de especies de dunas costeras registradas en artículos científicos. No se incluyen las 1,600 especies documentadas por Moreno-Casasola et al. (1998) porque los autores no distinguen entre costas arenosas y rocosas.

Grupo de organismos	Especies registradas (n)	Atlántico	Pacífico
Planta	844	736	131 **
Aves	65	56	15 *
Himenóptera	64	64	—
Lepidóptera	20	20	—
Líquenes	17	17	—
Coleóptera	16	16	—
Diptera	13	13	—
Chiroptera	11	11	—
Rodentia	9	9	—
Odonata	8	8	—
Hemíptera	6	6	—
Hongos	6	6	—
Ephemeroptera	5	5	—
Orthoptera	4	4	—
Squamata	5	2	—
Trichoptera	3	3	—
Decapoda	1	1	—
Lagomorpha	1		1
Marsupialia	1	1	—
Mixomycetes	1	1	—
Total	1,100	979	151

\* Zárate-Ovando et al. (2008) documentan 60 especies, pero no presentan listado.

\*\* No se incluyeron las especies documentadas por Peinado, Aguirre, Delgadillo y Macías (2008), ya que no presentan listado.

Un conjunto de investigaciones resaltan que las especies de plantas que se localizan en las dunas embrionarias son capaces de germinar y crecer bajo intensidades altas de luz y altas concentraciones de sal (Martínez y Rincón, 1993), bajos contenidos de nutrientes y temperaturas extremas (Martínez, Valverde y Moreno-Casasola, 1992) y encubrimiento con arena (Martínez y Moreno-Casasola, 1996; Martínez, Moreno-Casasola y Rincón, 1994; Martínez, Moreno-Casasola y Vázquez, 1997). Este abanico de tolerancias al ambiente extremo de las DC es lo que Gallego-Fernández y Martínez (2011) consideran como filtros ambientales. Es decir, además de ser especies constructoras de dunas, estos trabajos han permitido reconocer que las especies colonizadoras de DC también son fijadoras de nutrientes y pueden generar condiciones que permiten el establecimiento de otras especies menos tolerantes al déficit de nutrientes (Kellman y Roulet, 1990), a lo que los investigadores nombran facilitación (Martínez, 2003; Martínez, Pérez-Maqueo y Vásquez, 2004).

### Interacciones bióticas

A partir de los trabajos enfocados en la relación de las comunidades vegetales con su entorno se dio inicio a los estudios sobre las interacciones ecológicas. Se identificaron más de 400 interacciones biológicas en las DC que incluyen planta-planta, planta-micorriza y planta-animal en los diferentes microambientes, desde las dunas móviles hasta matorrales costeros y selvas. En el caso de las interacciones planta-planta se ha observado que la facilitación ocurre en las primeras etapas de sucesión vegetal (Martínez, 2003; Martínez et al., 2004). Durante este proceso, una o varias especies de plantas

se establecen bajo la sombra de plantas previamente existentes, las cuales amortiguan las condiciones limitantes del ambiente (movimiento de arena, temperaturas extremas, sequía y escasez de nutrientes) y promueven el remplazo de especies. Durante la sucesión hay un fuerte recambio de especies que está determinado por la topografía de las dunas (Martínez, Vázquez y Sánchez-Colón, 2001), así como por la dominancia de especies colonizadoras tardías (Álvarez-Molina et al., 2013). Otros tipos de interacción planta-planta que se han estudiado son el epifitismo y el parasitismo. García-Franco (1996) documentó la distribución de 6 especies de *Tillandsia* y una de *Phoradendron* sp. y su asociación con árboles y arbustos de las dunas del centro de Veracruz, resultando *Randia laetevirens* el principal hospedero. Lo anterior, según García-Franco (1996), puede estar determinado por la ubicación del hospedero en los matorrales, el tiempo de exposición y la forma del arbusto, así como las estrategias de dispersión de las semillas de las epífitas que les permite dispersarse a grandes distancias. Por otro lado, también se ha encontrado que la planta parásita *Bdallophytum americanum* modifica la conductividad hidráulica de las raíces de *B. simaruba* (García-Franco, López-Portillo y Ángeles, 2007).

Se observó que en la costa del golfo de México los hongos micorrízicos promueven la fijación de nutrientes en las plantas pioneras, como *C. chamaecristoides*, *P. lindenii* y *T. gouinii* (Corkidi y Rincón, 1997a, b). En cambio, en las dunas de zonas áridas Sigüenza, Espejel y Allen (1996) analizaron la relación de 6 especies de plantas estrictas de dunas en diferentes gradientes de estabilización, desde pioneras (*A. maritima*) hasta fijadoras de arena (*Helianthus niveus*) y observaron que la colonización por micorrizas en plantas pioneras es poco frecuente. Además, se ha observado que las especies que se encuentran en dunas fijas, como en los climas húmedos, también son altamente colonizadas.

La influencia de ciertos grupos de animales, como himenópteros y lepidópteros, en el éxito reproductivo de las plantas es una de las interacciones ecológicas que más se ha abordado en las DC. Rico-Gray y Castro (1996); Oliveira, Rico-Gray, Díaz-Castelazo y Castillo-Guevara (1999); Torres-Hernández, Rico-Gray, Castillo-Guevara y Vergara (2000) y Cuautle y Rico-Gray (2003) destacaron que el éxito reproductivo de *Paullinia fuscescens*, *Opuntia stricta* y *Turnera ulmifolia* se incrementaba hasta en un 50% con la presencia de hormigas que actúan como defensa contra la herbivoría. Lo anterior fue comprobado por Canto, Parra-Tabla y García-Franco (2004) en la costa de la península de Yucatán, quienes analizaron el efecto de la herbivoría sobre *Anthurium schlechtendalii*, determinando que la defoliación no disminuye el crecimiento de la planta pero sí la floración, teniendo por lo tanto un efecto negativo en el éxito reproductivo. Asimismo, Rico-Gray et al. (1998) y Díaz-Castelazo, Rico-Gray, Oliveira y Cuautle (2004) han registrado 208 asociaciones entre 43 especies de plantas con néctar y 31 especies de hormigas para las dunas del centro del golfo de México. Otras estrategias de reproducción, como la fenología, la morfología y la coloración de flores, así como el comportamiento de los visitantes (polinizadores) para obtener recompensas (néctar), también se han registrado para las plantas *Lantana camara* y *Psittacanthus calyculatus* (Granja-Barros, Rico-Gray

y Díaz-Castelazo, 2001) y *C. chamaecristoides* (Arceo-Gómez, Martínez, Parra-Tabla y García-Franco, 2012).

Ortiz-Pulido, Laborde y Guevara (2000) documentan 54 especies de aves frugívoras en 176 interacciones con 84 especies de plantas de manglar-matorral y selva sobre dunas en el centro de Veracruz; los investigadores concluyen que las semillas dispersadas por aves en fragmentos de matorral de DC provienen de ecosistemas cercanos, lo que resalta el papel de las aves en la colonización de nuevas especies de plantas en los procesos de sucesión vegetal. Cada una de estas interacciones juega un papel importante en la formación de nuevos tipos de vegetación y microhabitats —lagunas interdunarias, conformadas por organismos de agua dulce— sobre los suelos arenosos (Peralta-Peláez et al., 2007; Peralta-Peláez y Moreno-Casasola, 2009).

### *Impacto ambiental*

Siemens et al. (2006) hacen una síntesis de la degradación ambiental a la que han estado sujetas las DC y los humedales interdunarios durante más de 300 años en el puerto de Veracruz debido al cambio de uso de suelo. La ciudad de Veracruz, referente del comercio portuario en el país, se encuentra asentada sobre uno de los sistemas más grandes de DC parabólicas (López-Portillo et al., 2011), donde existían muchos lagos interdunarios y humedales que han sido rellenados con fines inmobiliarios. Por otro lado, Martínez, Gallego-Fernández, García-Franco, Moctezuma y Jiménez (2006) y Oropeza-Orozco et al. (2011) evaluaron la vulnerabilidad de las DC del golfo de México, encontrando que las dunas cercanas a asentamientos humanos han disminuido su superficie de distribución, lo que las hace más vulnerables tanto a los factores ambientales como antropogénicos. El enfoque de estas investigaciones está dirigido a evaluar a los ecosistemas y analizar si presentan las condiciones que le permitan enfrentarse a perturbaciones o estresores externos. Martínez, Gallego-Fernández et al. (2006) identifican 5 factores: geomorfológico, marino, eólico, vegetal y humano; que determinan la capacidad de los ecosistemas de dunas de ser vulnerables a cambios en el entorno; mientras que Oropeza-Orozco et al. (2011) mencionan que el cambio de uso de suelo es el principal factor de degradación que determina la vulnerabilidad de las DC. De igual manera, Seingier et al. (2009), en un estudio de país, determinaron que la vegetación natural en los ecosistemas de DC disminuyó más del 14% de 1970 al 2000, pero que esos cambios en la integridad del ecosistema no se ven reflejados en la economía local de las localidades costeras; concluyen que el desarrollo humano no se ha incrementado de manera importante a pesar del intenso cambio de uso de suelo, al menos dentro de los primeros 2 km tierra adentro, de los municipios costeros del país.

Recientemente, Mendoza-González, Martínez, Rojas-Soto, Vázquez y Gallego-Fernández (2013) exploraron las posibles consecuencias del cambio climático y el incremento en el nivel medio del mar en la distribución potencial de 6 especies de plantas de las costas del golfo de México y Caribe. Por medio de ejercicios de modelado del nicho, encontraron que probablemente el ámbito de distribución de las especies analizadas se

verá constreñido, y algunas especies (las endémicas) tendrían un mayor riesgo de extinguirse. Sin embargo, también se detectaron zonas donde se podría concentrar la riqueza florística: centro de Veracruz y norte de la península de Yucatán. Sería recomendable explorar estas zonas como futuros refugios frente a escenarios de cambio climático e incremento en el nivel medio del mar.

### *Erosión y restauración*

La erosión, un proceso natural en la dinámica costera, se convierte en un problema cuando los asentamientos humanos se ven afectados. A nivel mundial se han utilizado muchos métodos para disminuir los efectos erosivos de las playas, que se clasifican entre los métodos duros (infraestructura costera) y los métodos blandos (geotubos, restauración) (Charlier y de Meyer, 1998). En México son pocos los trabajos publicados sobre las acciones de mitigación de la erosión que incluyan a las DC, lo que no significa que no se lleven a cabo. Estos trabajos generalmente se documentan como reportes técnicos, que son de difícil acceso. Por ejemplo, Aguilar y Solís (2008) hacen referencia a la utilización de tubos geotextiles para la restauración o construcción de dunas frontales. Los autores hacen énfasis en el uso de este tipo de material para acelerar la recuperación de la duna frontal después del paso del huracán Wilma en 2005 y así disminuir las pérdidas económicas en la producción de sal de la laguna Las Coloradas, Yucatán (Aguilar y Solís, 2008). Aquí los investigadores resaltan los beneficios del uso de este tipo de material, pero también apuntan las desventajas y costos económicos que implica, de las cuales se pueden mencionar el monitoreo y costos de reparación.

No obstante, los costos económicos pueden disminuir con el uso de métodos de restauración naturales o mixtos. Es decir, si las DC artificiales son reforestadas con vegetación de dunas, se acelera la estabilización sin costos de reparación. Este método es documentado por Moreno-Casasola, Martínez y Castillo-Campos (2008) en la costa norte del puerto de Veracruz, y destacan que la revegetación y el recambio de especies de plantas son más rápidos cuando se utilizan especies «constructoras de dunas» de la región, rehabilitando las dunas degradadas y recuperando los servicios del ecosistema y de protección de la costa. Lo anterior cobra importancia debido a que la dinámica litoral y sedimentológica debe ser considerada ampliamente, no solo en el uso de geotextiles, sino en los proyectos de realimentación (relleno) de playas con materiales externos de las costas. Díez, Esteban y Paz (2009) y González-Vázquez, Silva, Mendoza y Delgadillo-Calzadilla, (2014) apuntan que, aunque los problemas de erosión se incrementan con los eventos meteorológicos, la interrupción de la dinámica litoral por los desarrollos turísticos es el principal factor que aumenta la erosión en playas de importancia turística del Caribe y Pacífico mexicano.

En relación con la restauración de dunas, Lithgow, Martínez y Gallego-Fernández (2014) proponen un índice que permite hacer un diagnóstico para determinar la necesidad y las posibilidades de realizar acciones de restauración en los primeros cordones de dunas, ubicados al fondo de la playa. Al utilizar el índice a lo largo de las costas de Veracruz, encontraron que alrededor de la mitad de los 31 sitios analizados muestran

diferentes niveles de degradación donde son necesarias acciones de restauración o rehabilitación.

### Degradación ambiental

El incremento en los desarrollos turísticos sobre las playas y DC del Pacífico mexicano representan un impacto negativo en los sitios de anidación de las aves acuáticas y terrestres. [Mellink y Riojas-López \(2007\)](#) describieron las modificaciones históricas estructurales de la laguna de Cuyutlán (Colima), resaltando la construcción de canales a lo largo de la barra arenosa para conectar a la laguna con el mar, tanto para la desecación de la laguna para la industria salinera, al norte de la laguna, como para la navegación de embarcaciones que se dirigían al puerto de Manzanillo y, actualmente, para la producción pesquera. Sin embargo, la modificación de la barra arenosa exige constantes actividades de dragado en la costa interna y erosión en la zona de playa.

Pero no solo se ha evaluado el impacto de la industria sobre las DC, también el efecto de las actividades de recreación. El creciente interés por los deportes extremos ha hecho de las costas del noroeste mexicano una pista todoterreno para los aficionados de estos deportes. En Cabo Falso, al extremo sur de la península de Baja California, se ha perdido alrededor del 45% de la cobertura vegetal del sistema debido a las actividades de vehículos todoterreno, resultando en el incremento de la inestabilidad sedimentaria del sistema, es decir, cambios en la circulación eólica y erosión ([Camacho-Valdés et al., 2008](#)). Por otro lado, [Escofet y Espejel \(1999\)](#) documentan que casi el 50% de las DC del corredor turístico Tijuana-Ensenada habían sido destruidas con fines inmobiliarios. Estas actividades impulsaron la inclusión de vegetación exótica como *Carpobrotus aequilaterus* y *C. edulis*, en principio para ornato y después para frenar el movimiento de las DC restantes, resultando en el desplazamiento de la vegetación original. Otro tipo de disturbio del turismo sobre las DC es la fragmentación por senderos o brechas, utilizados por los usuarios para llegar a la playa. [Hesp et al. \(2010\)](#) estimaron la presión de usuarios sobre la vegetación de dunas midiendo el número de especies de plantas que se pierden después del continuo paso de personas en diferentes pendientes de las DC. Los autores concluyen que las especies raras o que se encuentran en pendientes pronunciadas son las primeras en desaparecer, y que a partir del paso de 50 personas empieza a disminuir la vegetación.

### Manejo y conservación

La integración de la perspectiva de desarrollo antropogénico, en todas sus variantes, resalta el efecto negativo de los asentamientos humanos sobre los ecosistemas dunares y que no habían sido evaluados. Esto llevó a los investigadores a preguntarse: ¿cómo disminuir el efecto antropogénico negativo y qué herramientas son necesarias para esto? La respuesta, según [Moreno-Casasola \(2006b\)](#), está en el manejo costero integral. Moreno-Casasola, en los libros *Diagnóstico ambiental del golfo de México* ([Moreno-Casasola, 2004a](#)) y *Coastal dunes: Ecology and conservation* ([Moreno-Casasola, 2004b](#)) hace una síntesis de la situación de las playas y dunas. Recomienda la creación de nuevas áreas protegidas,

reglamentos para el uso y manejo de estos sistemas e impulsar las manifestaciones de impacto ambiental en la zona costera con base en la conservación del funcionamiento de la dinámica costera. Como modelo de estudio e implementación de acciones de manejo, el grupo de trabajo de Moreno-Casasola describió en detalle las acciones de manejo en uno de los sitios de DC más estudiados del país en su libro *Entornos veracruzanos, la costa de La Mancha* ([Moreno-Casasola, 2006b](#)). Aquí, los autores proponen el análisis de la historia social ligada a la ambiental, y la identificación de todos los actores involucrados, desde los habitantes hasta los tomadores de decisiones como componentes de las diferentes etapas de un «plan de manejo».

Por otro lado, de acuerdo con [Espejel y Ojeda \(1995\)](#), los desarrollos turísticos sobre suelos arenosos son prácticas que demandan recursos (agua) para poder mantenerlas, y en el caso de las especies exóticas se convierten en plagas difíciles de controlar. Debido a que no se pueden revertir los cambios en el paisaje por la instalación de asentamientos humanos, los remanentes de vegetación deberían ser considerados en los planes arquitectónicos de desarrollo ([Escofet y Espejel, 1999](#)). [Espejel y Ojeda \(1995\)](#) proponen, para las penínsulas de Baja California y Yucatán, que los parches de vegetación nativa que se han preservado funjan como bancos de semilla de plantas ornamentales en los desarrollos turísticos y habitacionales. Esta propuesta considera las cualidades ornamentales, así como la importancia ecológica de las especies vegetales nativas; es decir, las plantas pueden ser usadas para ornato, restauración, mitigación de erosión, floricultura, sombra, entre muchas más. Estas propuestas de inclusión y manejo anteriormente habían sido consideradas en la elaboración del primer plan de manejo costero en México ([Gómez-Morín, Fermán, Escofet, Espejel y Torres, 1993](#)), incorporado a los ordenamientos ecológicos de Baja California. [Gómez-Morín et al. \(1993\)](#) plantean la integración de un equipo interdisciplinario, coordinado por los diferentes niveles de gobierno, donde se consideren los aspectos ecológicos y sociales para el ordenamiento del territorio, considerando que los remanentes de DC de la región sean considerados como áreas ecológicas de conservación. Actualmente se han propuesto otros planes de manejo específicos a problemáticas ambientales; tal es el caso del plan de manejo para la erosión de la línea de costa (PMEC), propuesto por [Peynador y Méndez-Sánchez \(2010\)](#). Los autores hacen un diagnóstico de los cambios de la línea de costa adyacente al sistema de dunas de la ciudad de Ensenada, Baja California, y determinan que se pierden alrededor de 2,100 m<sup>2</sup> por año, lo que se convierte en una amenaza para la infraestructura costera y habitacional. La propuesta de manejo se basa en 4 políticas de acción: monitoreo e investigación, mitigación, regulación del desarrollo y conservación. Este último propone como área natural protegida al sistema de DC, principal fuente de almacenamiento y abasto de sedimentos para las playas. La [Semarnat \(2013\)](#), en colaboración con un grupo de investigadores, plantean 3 pasos importantes para un esquema de manejo de DC: a) caracterización, conocer la estructura de la DC, los diversos elementos cuyas características dependen de la dinámica del transporte de sedimentos y de la presencia y composición de la cubierta vegetal e identificar los principales factores que la deterioren; b) zonificación, para poder determinar

áreas de protección, aprovechamiento y/o restauración, y c) regulación de obras y actividades con base en la institución de instrumentos legales; por ejemplo, una ley de costas. En este sentido, [González-Vázquez et al. \(2014\)](#) proponen soluciones ingenieriles, con base en el buen conocimiento de la dinámica costera, a corto y largo plazos, en Barra de Navidad, Jalisco, tanto para la recuperación de zonas ampliamente degradadas como para la protección de las que aún se encuentran en buen estado. Estos autores proponen el uso de rompeolas sumergidos (solución a corto plazo) colocados y orientados en el sentido de la dinámica costera, así como el restablecimiento de la hidrodinámica local (solución a largo plazo) para restablecer el aporte natural de sedimentos a la zona de playa-duna.

Para terminar, vale la pena mencionar los 3 esfuerzos recientes, que de alguna manera llenarán algunos vacíos aquí identificados y que han sido financiados por la Conabio, la Conafor y la Semarnat; los 3 proyectos han permitido: a) concluir un estudio de la flora de dunas basado en las colectas de herbarios, colectas nuevas y muestreos ecológicos de todo el país ([Espejel, Jiménez-Orocio y Peña-Garcillán, 2015](#)); b) el diagnóstico nacional de las DC de México en el que se describen y clasifican las dunas y se proporcionan recomendaciones para su conservación, revegetación y reforestación en general, y por estados costeros ([Martínez et al., 2014](#)), y c) un libro con recomendaciones para el manejo y conservación de las DC del país ([Semarnat, 2013](#)).

## Conclusiones

El análisis bibliográfico permitió visualizar los alcances de las ciencias naturales en el conocimiento sobre un ecosistema clave pero escaso, porque solo ocupa el 1% de la superficie del país. La investigación de las DC en México tiene su inicio en 1960 con un primer artículo y publicaciones aisladas posteriores, se fortalece como línea de investigación con un grupo de publicaciones de 1982 ([fig. 3](#)) y se consolida recientemente con la publicación de un primer libro sobre DC de México ([Martínez et al., 2014](#)) y un estudio florístico de país ([Espejel et al., 2015](#)). El análisis de la producción científica alrededor de las DC muestra un desarrollo común a las ciencias naturales: los enfoques de estudio han pasado de descripciones geológicas y geomorfológicas, florísticas y de estructura de la vegetación a estudios de vulnerabilidad, riesgo, propuestas de áreas de conservación, manejo integrado y análisis de escenarios de cambio climático. En los últimos años las publicaciones muestran que los científicos, en especial los ecólogos, han colaborado con los tomadores de decisiones en la elaboración de diagnósticos ambientales y en proyectos de restauración de DC y manuales de buenas prácticas.

Sin embargo, todavía falta mucho por hacer; hay tantos sitios y temas hiperestudiados como absolutamente desconocidos. Por ejemplo, hacen falta estudios de geología (mineralogía y proveniencia) y geomorfología (procesos que influyen en las geoformas) de las DC del Pacífico sur y del Caribe. Con la promoción a la minería en México, este tipo de estudios cobra importancia y el conocimiento de la mineralogía que se encuentra en reportes técnicos debe ser publicado, ya que se ha evidenciado que no siempre son precisos ([Rodríguez-Revelo et al., 2014](#)).

El inventario de flora y vegetación casi se completó con el proyecto de Conabio ([Espejel et al., 2015](#)). Sin embargo, todavía faltan investigaciones puntuales, sobre todo en el Pacífico sur, donde los herbarios son escasos y/o están en malas condiciones. Es importante fortalecer a las instituciones relacionadas con la biodiversidad del sur de México. Hay estudios de la década de 1980 que valdría la pena repetir y comparar para análisis de cambio de uso de suelo y de la estructura de las comunidades vegetales, así como de los cambios en la biodiversidad botánica. Los estudios de interacciones bióticas son un tema sumamente interesante, pero poco abordado en las DC, con la excepción de las costas del centro de Veracruz y las costas de la península de Yucatán. Es inquietante saber que no existen publicaciones con listados completos de la diversidad faunística de las DC; por esta razón, el tema queda abierto y es de importancia fundamental para la comprensión integrada de este ecosistema clave. Asimismo, sobre ecología animal se sabe lo que deriva de estudios de interacciones, principalmente de invertebrados y aves asociados al éxito reproductivo de las plantas de dunas. Pero no se sabe, o se sabe poco y en solo algunos sitios, sobre patrones de distribución de especies exclusivas, de comportamiento y adaptación a situaciones de estrés que dominan en las dunas, entre otros temas interesantes de evolución. Se sugiere un proyecto de Conabio, como el de flora de playas y dunas ([Espejel et al., 2015](#)), para conocer la diversidad faunística de las DC mexicanas.

Temas de impacto ambiental como la erosión, un problema que se acentúa por el mal manejo de las DC, no han sido abordados más que en casos puntuales en los estudios de vulnerabilidad de las costas del golfo de México y mar Caribe. A nivel geográfico, el conocimiento sobre DC está concentrado en el golfo de México y mar Caribe. Sin embargo, esas DC son de las más afectadas por los desarrollos urbanos y portuarios ([Jiménez-Orocio et al., 2014; Seingier et al., 2009](#)); poco se sabe de las dunas mejor conservadas en México en el Pacífico norte y golfo de California ([Espejel et al., 2015](#)). La investigación aplicada a la restauración y conservación, respectivamente, es una prioridad en ambas regiones. Con la excepción de la Estación Biológica de La Mancha, no se encontraron programas de monitoreo a largo plazo; de alguna forma, este artículo podría ser el inicio para investigaciones que se sumen de manera interdisciplinaria a otras investigaciones en las DC del país, como los estudios de [Seingier et al. \(2009\)](#). Por ejemplo, se desprende la necesidad de transformar las variables de la biodiversidad en indicadores de cambios ambientales que sean útiles para el monitoreo de los efectos del cambio climático o del impacto ambiental de los proyectos de desarrollo costero.

Esta revisión y análisis resultaron útiles para invitar a analizar el conocimiento sobre un ecosistema tan importante como las DC mexicanas y armar una política que fortalezca las investigaciones para completar los vacíos y llenar las omisiones en conocimiento científico. En particular, este análisis señala los diferentes aspectos como prioritarios: a) conocer las características geológicas y mineralógicas de las dunas, sobre todo frente a los escenarios de explotación minera a que se están enfrentando estos ecosistemas de manera creciente; b) realizar un diagnóstico sobre las necesidades de conservación y restauración de las DC de México, para lo cual es fundamental contar

con c) conocimiento de la geomorfología de estos ambientes que permita comprender los procesos y la formación de las DC; d) inventarios de flora y vegetación de las costas del Pacífico sur; e) inventarios de la fauna, y f) fortalecer el conocimiento de las interacciones bióticas. Por último, es fundamental establecer más estaciones biológicas para realizar monitoreos a largo plazo que permitan analizar los riesgos de erosión a los que se enfrentarán las costas mexicanas en los escenarios de cambio climático e incremento en el nivel medio del mar. Con esta información, la gestión y el manejo de las costas se desarrollarán de manera informada, promoviendo la protección de los ecosistemas y la biodiversidad de México como insumo del desarrollo sustentable de las costas.

## Agradecimientos

El presente trabajo se llevó a cabo gracias a la colaboración académica entre la Universidad Autónoma de Baja California y el Instituto de Ecología, A.C., cuyos investigadores conformaron y coordinaron el proyecto «Diagnóstico general de las dunas costeras de México», patrocinado por la Comisión Nacional Forestal (Conafor). Agradecemos ampliamente a la Dra. Patricia Moreno-Casasola, pionera y referente internacional en el estudio de dunas costeras en México, al facilitarnos material bibliográfico, pero principalmente por todo el conocimiento y apoyo incondicional brindado durante la formación académica de cada uno de los autores.

## Anexo 1.

A. Cuadro sinóptico de la investigación de dunas costeras publicado en artículos científicos.

Litoral	Periodo	Línea de investigación	Cita	Aportes al conocimiento
Atlántico	1960-1970	Ecología de plantas	Poggie, 1962 <sup>a</sup>	Bases para la clasificación de la estructura de las comunidades de vegetación y geomorfología
			Geomorfología costera Coll-de Hurtado, 1969	
	1981-1990	Ecología de plantas	Psuty, 1965 <sup>a</sup>	
			Altamirano y Guevara, 1982	Clasificación y ordenamiento de comunidades vegetales; gradientes físicos que determinan las asociaciones vegetales en la costa del golfo de México y mar Caribe
			Castillo y Carabias, 1982	
			González y Moreno-Casasola, 1982	
			Moreno-Casasola et al., 1982	
			Moreno-Casasola, 1982	
			Espejel, 1984	
			Espejel, 1986	
1991-2000	Ecología animal	Moreno-Casasola, 1986	Moreno-Casasola, 1986	
			Moreno-Casasola y Espejel, 1986	
	Ecología de plantas	Espejel, 1987	Moreno-Casasola, 1988	
			Van der Maarel, Espejel y Moreno-Casasola, 1987 <sup>a</sup>	
			Kellman y Roulet, 1990 <sup>a</sup>	
			Cervantes y Hortelano, 1991;	Descripción de mastofauna en matorral y selva sobre DC. Análisis de procesos de sucesión vegetal; germinación y sobrevivencia de especies ante factores físicos restringentes; facilitación. Papel de micorrizas para el aprovechamiento de nutrientes. Análisis de la formación de microambientes (hondonadas húmedas). Patrones de variación morfológica. Interacciones planta-planta (preferencia de planta huésped por epífitas). Papel de las hormigas en el éxito reproductivo de especies de matorral sobre DC
			Morales-Mávil y Guzmán-Guzmán, 1994	
			Castillo et al., 1991	
			Martínez et al., 1992	
			Martínez y Rincón, 1993	
			Martínez y Moreno-Casasola, 1993	
			Martínez et al., 1994	
			Moreno-Casasola et al., 1994	
			Colunga-García, Estrada-Loera y May-Pat, 1996	
			Castillo y Moreno-Casasola, 1996	
			García-Franco, 1996	
			Martínez y Moreno-Casasola, 1996	

Litoral	Periodo	Línea de investigación	Cita	Aportes al conocimiento
2001-2010	Interacción ecológica	Interacción ecológica	Martínez et al., 1997 Valverde et al., 1997 Castillo y Moreno-Casasola, 1998 Leirana-Alcocer y Parra-Tabla, 1999 Moreno-Casasola y Vázquez, 1999 Rico-Gray y Castro, 1996	Papel de las aves granívoras en la distribución de semillas y establecimiento de especies leñosas en DC estabilizadas. Descripciones regionales y locales de comunidades vegetales. Comunidades vegetales asociadas a la geomorfología de DC. Análisis de balances sedimentarios; uso de técnicas ingenieriles para la recuperación de dunas erosionadas y vegetación para la restauración de DC. Análisis de los principales factores que influyen en la degradación y vulnerabilidad costera. Propuestas de manejo ambiental y aprovechamiento de especies leñosas por las comunidades humanas locales
			Corkidi y Rincón, 1997a, b Rico-Gray et al., 1998 Vázquez, Moreno-Casasola y Barrera, 1998 Oliveira et al., 1999 <sup>a</sup>	
			Torres-Hernández et al., 2000 Kasper-Zubillaga et al., 1999; McLaren y Gardner, 2000 <sup>a</sup> Dubroeucq et al., 1992 <sup>a</sup>	
			Sosa-Escalante et al., 2001	
			Durou, Dejean, Olmsted y Snelling, 2002 <sup>a</sup> ; Lara-López y González-Romero, 2002 Peralta-Peláez et al., 2007 Pérez-Ramos et al., 2010 Granja-Barros et al., 2001 Martínez et al., 2001	
	Ecología de plantas	Ecología de plantas	Martínez, Vázquez, White, Thivet y Brengues, 2002 Castillo-Campos y Abreo, 2003 Martínez, 2003 Martínez et al., 2004 Cervera, Andrade, Sima y Graham, 2006 Vargas, Parra-Tabla, Feinsinger y Leirana-Alcocer, 2006 Cervera et al., 2007 Peralta-Peláez y Moreno-Casasola, 2009 Ricalde et al., 2010 Torres, Méndez, Dorantes y Durán, 2010	
			Aguilar y Solís, 2008 <sup>a</sup>	
			Diez et al., 2009 <sup>a</sup>	
			Martínez, Gallego-Fernández et al., 2006 Siemens et al., 2006 <sup>a</sup>	
			Batllori-Sampedro y Febles-Patrón, 2007 Psuty et al., 2009 <sup>a</sup> Hesp et al., 2010 <sup>a</sup>	
	Interacción ecológica	Interacción ecológica	Ortiz-Pulido et al., 2000	
			Cuautle y Rico-Gray, 2003 Canto et al., 2004 Díaz-Castelazo et al., 2004 Cuautle, Rico-Gray y Díaz-Castelazo, 2005 Capistrán-Barradas, Moreno-Casasola y Defeo, 2006	
			Kasper-Zubillaga y Carranza-Edwards, 2003; Kasper-Zubillaga y Dickinson, 2001 Cabadas-Báez, Solleiro-Rebolledo, Sedov, Pi-Puig y Gama-Castro, 2010	

Litoral	Periodo	Línea de investigación	Cita	Aportes al conocimiento
Litoral 2011-2014	Geomorfología costera Manejo ambiental	Geomorfología costera	Hesp y Martínez, 2008 <sup>a</sup>	
		Manejo ambiental	Moreno-Casasola et al., 2008 Moreno-Casasola y Paradowska, 2009	
		Ecología animal	Celis-Murillo et al., 2012	
	Ecología de plantas Erosión costera y/o balance sedimentario Geología y/o mineralogía Impacto ambiental Interacción ecológica Geomorfología costera Manejo ambiental Valoración de los servicios del ecosistema Geomorfología costera	Ecología de plantas	Gallego-Fernández y Martínez, 2011 Infante-Mata et al., 2011 Moreno-Casasola, Castillo y Martínez, 2011; Moreno-Casasola, Infante-Mata y Madero-Vega, 2011 Parra-Tabla, Vargas, Naval, Calvo y Ollerton, 2011 Álvarez-Molina, Martínez, Pérez-Maqueo, Gallego-Fernández y Flores, 2012 Arceo-Gómez et al., 2012 Mendoza-González, Martínez, Lithgow, Pérez-Maqueo y Simonin, 2012; Mendoza-González, Martínez y Lithgow, 2014; Peralta-Peláez, Moreno-Casasola y López Rosas, 2014 Armstrong-Altrin et al., 2012; González-Leija et al., 2013; Kasper-Zubillaga et al., 2013; Campos, Aguilar y Landgrave, 2014	Patrones de filtros ambientales, nicho ecológico; establecimiento de asociaciones vegetales en lagunas interdunarias; análisis de sucesión vegetal a largo plazo (recambio de especies); interacciones específicas planta-insecto. Análisis de cambio de uso de suelo como principal factor de vulnerabilidad. Identificación de sitios y acciones de restauración
		Erosión costera y/o balance sedimentario		
		Geología y/o mineralogía	Oropeza-Orozco et al., 2011	
		Impacto ambiental	Arceo-Gómez, Martínez, Parra-Tabla y García-Franco, 2011	
		Interacción ecológica	Ramos-Zapata, Zapata-Trujillo, Ortiz-Díaz y Guadarrama, 2011 Sánchez-Galván, Díaz-Castelazo y Rico-Gray, 2012; Villamil, Márquez-Guzmán y Boege, 2013	
		Geomorfología costera	Hesp et al., 2011 <sup>a</sup>	
		Manejo ambiental	Martínez et al., 2012; Lithgow et al., 2014	
		Valoración de los servicios del ecosistema	Mendoza-González et al., 2013	
		Geomorfología costera	Inman et al., 1966 <sup>a</sup>	Balance sedimentario, acreción
Pacífico	1960-1970	Ecología de plantas	Johnson, 1977 <sup>a</sup>	Comunidades vegetales de la costa oeste
		Ecología de plantas	Johnson, 1982 <sup>a</sup>	Diferenciación de las comunidades vegetales del golfo de California
	1970-1980	Geología y/o mineralogía	Johnson, 1985 <sup>a</sup>	
		Geología y/o mineralogía	Pedrín-Avilés, Díaz-Rivera, Padilla-Arredondo, Sirkin y Stuckenrath, 1987; Fryberger et al., 1990 <sup>a</sup>	
	1981-1990	Ecología de plantas	Glenn, Olsen, Frye, Moore y Miyamoto, 1994 <sup>a</sup>	Tolerancia de plantas pioneras a estrés salino, el papel de micorrizas en el uso de nutrientes y cambios en la bioquímica del suelo. Historia geológica de DC del centro de la península de BC. Propuestas de manejo para aves playeras que anidan en DC
		Interacción ecológica	Sigüenza et al., 1996 <sup>a</sup>	
	1991-2000	Geología y/o mineralogía	Murillo-de Nava y Gorsline, 2000	
		Geomorfología costera	Russell y Johnson, 2000 <sup>a</sup>	
		Manejo ambiental	Murillo-de Nava et al., 1999 Escofet y Espejel, 1999	

Litoral	Periodo	Línea de investigación	Cita	Aportes al conocimiento
	2001-2010	Ecología animal	García y Whalen, 2003  Lorenzo et al., 2008 Zárate-Ovando et al., 2008 Castillo-Guerrero et al., 2009 Mellink et al., 2009	Descripción de comunidades de aves acuáticas, usos de diferentes hábitats, estacional y por disponibilidad de alimento. Sitios de anidación claves. Fitoasociación en la zona costera del Pacífico norte; zonas climáticas y características sedimentarias como factores limitantes de distribución de especies. Análisis de actividades de recreación turísticas como amenaza de degradación de DC. Análisis de mineralogía y granulometría para determinar origen y diferenciación entre DC y D continentales
		Ecología de plantas	Romero-López, León-de la Luz, Pérez-Navarro y de la Cruz-Agüero, 2006 Peinado et al., 2007 <sup>a</sup> Salas-Morales, Schibli, Nava-Zafra y Saynes-Vásquez, 2007 Samis y Eckert, 2007 <sup>a</sup> León-de la Luz y Pérez-Navarro, 2010 Ocampo y Columbus, 2008 Peinado, Aguirre, Delgadillo y Macías, 2008 <sup>a</sup>	
		Impacto ambiental	Mellink y Riojas-López, 2007	
		Geología y/o mineralogía	De Diego-Forbis et al., 2004 <sup>a</sup>	
		Geomorfología costera	Kasper-Zubillaga y Carranza-Edwards, 2005 Skudder et al., 2006 <sup>a</sup>	
		Manejo ambiental	Kasper-Zubillaga, Carranza-Edwards y Morales-de la Garza, 2007; Kasper-Zubillaga et al., 2007	
	2011-2014	Ecología animal	Kasper-Zubillaga y Zolezzi-Ruiz, 2007 Kasper-Zubillaga y Faustinos-Morales, 2007 Sewell et al., 2007 <sup>a</sup> Bojórquez et al., 2008 Kasper-Zubillaga, Acevedo-Vargas et al., 2008; Kasper-Zubillaga, Carranza-Edwards et al., 2008 Kasper-Zubillaga, 2009 Armstrong-Altrín et al., 2014 Camacho-Valdés et al., 2008	Fitoasociación y descripción de especies endémicas restringidas a suelos arenosos. Proveniencia de sedimentos
		Ecología de plantas	Peinado y Méndez-Sánchez, 2010 Fleishman y Blinick, 2011 <sup>a</sup>	
		Geología y/o mineralogía	Peinado et al., 2011 <sup>a</sup>	
Ambos	1991-2000	Manejo ambiental	León-de la Luz y Medel-Narváez, 2013	
		Divulgación científica	Leedesma-Vázquez, Carreño y Guardado-France, 2012; Rodríguez-Revelo et al., 2014; González-Vázquez et al., 2014 Martínez y Valverde, 1992	Descripciones generales de la ecología y características físicas de DC. Regionalización continental de DC en función de especies de plantas dominantes. Uso de plantas locales en el diseño de desarrollo urbano
		Ecología de plantas	Eskuche, 1992 <sup>a</sup> Martínez y Moreno-Casasola, 1998	
	2001-2010	Manejo ambiental	Espejel y Ojeda, 1995	
		Divulgación científica	Martínez, 2008	Descripciones generales de la ecología y características físicas de DC. Cambio de uso de suelo y marginación en municipios costeros con DC
		Ecología de plantas	León-de la Luz y Pérez-Navarro, 2007 Martínez y López-Barrera, 2008	
	2011-	Impacto ambiental	Seingier et al., 2009	
		Ecología de plantas	Álvarez-Molina et al., 2013	Descripción de especies endémicas restringidas a suelos arenosos

<sup>a</sup> Estudios realizados por extranjeros de instituciones extranjeras.

## B. Cuadro sinóptico de la investigación de dunas costeras publicado en capítulos de libro.

Litoral	Periodo	Línea de investigación	Cita	Aportes al conocimiento
Atlántico	1990-2000	Ecología de plantas	Espejel, 1992  Moreno-Casasola y Castillo, 1992 Moreno-Casasola, 1995b Moreno-Casasola, 1997 Manejo ambiental Moreno-Casasola y Castillo, 1990 Moreno-Casasola, 1994	Clasificación y ordenamiento de comunidades vegetales, gradientes físicos que determinan las asociaciones vegetales en la costa del golfo de México y mar Caribe. Descripción de problemáticas ambientales y propuestas de área naturales protegidas
		Divulgación científica	Moreno-Casasola, 2004a  Moreno-Casasola y Travieso-Bello, 2006 Moreno-Casasola, 2010 Martínez, García-Franco y Rico-Gray, 2006 Durán, Torres y Espejel, 2010 Ellis y Martínez, 2010	Descripciones generales, asociaciones vegetales, interacciones ecológicas y patrones de distribución de especies. Propuestas de manejo integral de la zona costera del centro del golfo de México
		Ecología de plantas	Psuty, 2004 <sup>a</sup>	
		Geomorfología costera	Palma, 2008	
		Impacto ambiental	Martínez y García-Franco, 2004	
	2001-2010	Interacción ecológica	Rico-Gray, Oliveira, Parra-Tabla, Cuautle y Díaz-Castelazo, 2004	
		Manejo ambiental	Moreno-Casasola, 2004b Moreno-Casasola, 2006a Moreno-Casasola et al., 2006a,b Peresbarbosa et al., 2007	
		Ecología de plantas	Moreno-Casasola, Infante-Mata et al., 2011  López-Portillo et al., 2011	Caracterización geomorfológica de DC de Veracruz. Análisis del efecto de especies introducidas sobre el establecimiento de vegetación nativa
		Geomorfología costera		
		Impacto ambiental	Moreno-Casasola, Martínez, Castillo-Campos y Campos, 2013	
Pacífico	1990-2000	Ecología de plantas	Barbour, 1992 <sup>a</sup>  Johnson, 1985 <sup>a</sup> Moreno-Casasola, 1995a Espejel, 1993 Gómez-Morín et al., 1993	Clasificación y ordenamiento de comunidades vegetales en gradientes físicos que determinan las asociaciones vegetales. Propuesta de ordenamiento territorial como instrumento de manejo y conservación en las costas de BC
		Manejo ambiental	Espejel et al., 2004	
		Ecología de plantas	Vázquez, 2004	Las comunidades vegetales como indicadores de conservación
		Ecología de plantas	Vanderplank, 2011 <sup>a</sup>	
		Ecología de plantas	Martínez, Moreno-Casasola y Castillo, 1993	
	2001-2010	Divulgación científica	Moreno-Casasola et al., 1998 Lara-Lara et al., 2008	
		Ecología de plantas	Espejel, Moreno-Casasola y Barbour, 2001	
		Geomorfología costera	Hesp, 2004 <sup>a</sup>	
		Manejo ambiental	Moreno-Casasola, 2004a	
		Divulgación científica	Martínez et al., 2014	
Ambos	2011-2014	Manejo ambiental	Semarnat, 2013	Diagnóstico general de las DC del país. Colaboración de los principales científicos de dunas para caracterizar geomorfológicamente y determinar sitios prioritarios para conservación y restauración. Elaboración de manual de buenas prácticas para el uso y manejo adecuado de las DC del país

## Referencias

- Aguilar, S. y Solís, A. (2008). Coastal dune stabilization using geotextile tubes at Las Coloradas. *Geosynthetics*, 1–16.
- Altamirano, R. M. y Guevara, S. (1982). Ecología de la vegetación de dunas costeras: semillas del suelo. *Biótica*, 7, 569–575.
- Álvarez-Molina, L. L., Martínez, M. L., Pérez-Maqueo, O., Gallego-Fernández, J. B. y Flores, P. (2012). Richness, diversity, and rate of primary succession over 20 year in tropical coastal dunes. *Plant Ecology*, 213, 1597–1608.
- Álvarez-Molina, L. L., Martínez, M. L., Lithgow, D., Mendoza-González, G., Flores, P., Ortiz-García, S., et al. (2013). Biological flora of coastal dunes and wetlands: *Palafoxia lindenii* A. Gray. *Journal of Coastal Research*, 29, 680–693.
- Arceo-Gómez, G., Martínez, M. L., Parra-Tabla, V. y García-Franco, J. G. (2011). Anther and stigma morphology in mirror-image flowers of *Chamaecrista chamaecristoides* (Fabaceae): Implications for buzz pollination. *Plant Biology*, 13, 19–24.
- Arceo-Gómez, G., Martínez, M. L., Parra-Tabla, V. y García-Franco, J. G. (2012). Floral and reproductive biology of the Mexican endemic *Chamaecrista chamaecristoides* (Fabaceae). *The Journal of the Torrey Botanical Society*, 139, 260–269.
- Armstrong-Altrin, J. S., Lee, Y. I., Kasper-Zubillaga, J. J., Carranza-Edwards, A., García, D., Eby, G., et al. (2012). Geochemistry of beach sands along the Western Gulf of Mexico, Mexico: Implication for provenance. *Chemie der Erde-Geochemistry*, 72, 345–362.
- Armstrong-Altrin, J. S., Nagarajan, R., Lee, Y. I., Kasper-Zubillaga, J. J. y Córdoba-Saldaña, L. P. (2014). Geochemistry of sands along the San Nicolás and San Carlos beaches, Gulf of California, Mexico: Implications for provenance and tectonic setting. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 23, 533–558.
- Barbour, M. G. (1992). Life at the leading edge: The beach plant syndrome. En U. Seeliger (Ed.), *Coastal Plant Communities of Latin America* (pp. 291–307). San Diego, California: Academic Press, Inc.
- Batllori-Sampedro, E. y Febles-Patrón, J. L. (2007). Salinity change in the coastal lagoon of Chabihau, Yucatán, Mexico. Effects of hurricane Isidoro and the construction of bridges in the coastal dune. *Ingeniería Hidráulica en México*, 22, 61–69.
- Bojórquez, I., Hernández, A., García, D., Nájera, O., Flores, F., Madueño, A., et al. (2008). Características de los suelos de las barras paralelas, playas y dunas de la llanura costera norte del estado de Nayarit, México. *Cultivos Tropicales*, 29, 37–42.
- Cabadas-Báez, H., Solleiro-Rebolledo, E., Sedov, S., Pi-Puig, T. y Gama-Castro, J. (2010). Pedosediments of karstic sinkholes in the eolianites of NE Yucatán: A record of Late Quaternary soil development, geomorphic processes and landscape stability. *Geomorphology*, 122, 323–337.
- Camacho-Valdés, V., Murillo-Jiménez, J. M., Nava-Sánchez, E. H. y Turrent-Thompson, C. (2008). Dune and beach morphodynamics at Cabo Falso, Baja California Sur, Mexico: Response to natural, hurricane Juliette (2001) and anthropogenic influence. *Journal of Coastal Research*, 24, 553–560.
- Campos, A., Aguilar, G. y Landgrave, R. (2014). Soil organic carbon stocks in Veracruz state (Mexico) estimated using the 1:250,000 soil database of Inegi: Biophysical contributions. *Journal of Soils and Sediments*, 14, 860–871.
- Canto, A., Parra-Tabla, V. y García-Franco, J. G. (2004). Variations in leaf production and floral display of *Anthurium schlechtendalii* (Araceae) in response to herbivory and environment. *Functional Ecology*, 18, 692–699.
- Capistrán-Barradas, A., Moreno-Casasola, P. y Defeo, O. (2006). Postdispersal fruit and seed removal by the crab *Gecarcinus lateralis* in a coastal forest in Veracruz, Mexico. *Biotropica*, 38, 203–209.
- Castillo, S. y Carabias, J. (1982). Ecología de la vegetación de dunas costeras: fenología. *Biótica*, 7, 551–568.
- Castillo, S. y Moreno-Casasola, P. (1996). Coastal sand dune vegetation: An extreme case of species invasion. *Journal of Coastal Conservation*, 2, 13–22.
- Castillo, S. A. y Moreno-Casasola, P. (1998). Análisis de la flora de dunas costeras del litoral Atlántico de México. *Acta Botánica Mexicana*, 45, 55–80.
- Castillo, S., Popma, J. y Moreno-Casasola, P. (1991). Coastal sand dune vegetation of Tabasco and Campeche, Mexico. *Journal of Vegetation Science*, 2, 73–88.
- Castillo-Campos, G. y Abreo, M. E. M. (2003). A new species of Casearia (Flacourtiaceae) from Mexico. *Novon*, 13, 30–33.
- Castillo-Guerrero, J. A., González-Medina, E. y González-Bernal, M. A. (2009). Patterns of occurrence and abundance of land birds on Saliaca Island, Sinaloa, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80, 211–218.
- Celis-Murillo, A., Deppe, J. L. y Ward, M. P. (2012). Effectiveness and utility of acoustic recordings for surveying tropical birds. *Journal of Field Ornithology*, 83, 166–179.
- Cervantes, F. A. y Hortelano, Y. (1991). Mamíferos pequeños de la estación biológica El Morro de La Mancha, Veracruz, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Zoología*, 62, 129–136.
- Cervera, J. C., Andrade, J. L., Sima, J. L. y Graham, E. A. (2006). Microhabitats, germination, and establishment for *Mammillaria gaumeri* (Cactaceae), a rare species from Yucatán. *International Journal of Plant Sciences*, 167, 311–319.
- Cervera, J. C., Andrade, J. L., Graham, E. A., Durán, R., Jackson, P. C. y Sima, J. L. (2007). Photosynthesis and optimal light microhabitats for a rare cactus, *Mammillaria gaumeri*, in two tropical ecosystems. *Biotropica*, 39, 620–627.
- Charlier, R. H. y de Meyer, C. P. (1998). Retreating shorelines. En R. H. Charlier y C. P. de Meyer (Eds.), *Coastal Erosion, Response and Management* (pp. 155–295). New York: Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Coll-de Hurtado, A. (1969). *Fotointerpretación geomorfológica del cordón de dunas de la Laguna del Marqués*, México: estado de Veracruz. México, D.F.: Serie de cuadernos del Instituto de Geografía.
- Colunga-García, P., Estrada-Loera, E. y May-Pat, F. (1996). Patterns of morphological variation, diversity, and domestication of wild and cultivated populations of agave in Yucatán, Mexico. *American Journal of Botany*, 83, 1069–1082.
- Corkidi, L. y Rincón, E. (1997a). Arbuscular mycorrhizae in a tropical sand dune ecosystem on the Gulf of Mexico I. Mycorrhizal status and inoculum potential along a successional gradient. *Mycorrhiza*, 7, 9–15.
- Corkidi, L. y Rincón, E. (1997b). Arbuscular mycorrhizae in a tropical sand dune ecosystem on the Gulf of Mexico II. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of species distributed in different early successional stages. *Mycorrhiza*, 7, 17–23.
- Cuaute, M. y Rico-Gray, V. (2003). The effect of wasps and ants on the reproductive success of the extrafloral nectaried plant *Turnera ulmifolia* (Turneraceae). *Functional Ecology*, 17, 417–423.
- Cuaute, M., Rico-Gray, V. y Díaz-Castelazo, C. (2005). Effects of ant behaviour and presence of extrafloral nectaries on seed dispersal of the Neotropical myrmecochore *Turnera ulmifolia* L. (Turneraceae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 86, 67–77.
- De Diego-Forbis, T., Douglas, R., Gorsline, D., Nava-Sánchez, E., Macke, L. y Banner, J. (2004). *Late Pleistocene (Last Interglacial) terrace deposits, Bahía Coyote, Baja California Sur (120)* Mexico: Quaternary International.
- Díaz-Castelazo, C., Rico-Gray, V., Oliveira, P. S. y Cuaute, M. (2004). Extrafloral nectary-mediated ant-plant interactions in the coastal vegetation of Veracruz, Mexico: Richness, occurrence, seasonality, and ant foraging patterns. *Ecoscience*, 11, 472–481.
- Diez, J. J., Esteban, M. D. y Paz, R. M. (2009). Cancún-Nizuc coastal barrier. *Journal of Coastal Research*, 25, 57–68.
- Dubroeucq, D., Geissert, D., Moreno-Casasola, P. y Millot, G. (1992). Soil evolution and plant communities in coastal dunes near Veracruz, Mexico. *Cahiers ORSTOM, Série Pédologique*, 27, 237–250.
- Durán, R., Torres, W. y Espejel, I. (2010). Vegetación de dunas costeras. En R. Durán y M. Méndez (Eds.), *Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán* (pp. 136–137). Mérida: CICY, PPD-FMAM, Conabio, Seduma.
- Duro, S., Dejean, A., Olmsted, I. y Snelling, R. R. (2002). Ant diversity in coastal zones of Quintana Roo, Mexico, with special reference to army ants. *Sociobiology*, 40, 385–402.
- Ellis, E. A. y Martínez, B. M. (2010). Vegetación y uso de suelo. En E. Florescano y J. Ortiz (Eds.), *Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz* (pp. 203–226). México, D. F.: Coordinación del estado de Veracruz para la conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana.
- Escofet, A. y Espejel, I. (1999). Conservation and management-oriented ecological research in the coastal zone of Baja California, Mexico. *Journal of Coastal Conservation*, 5, 43–50.

- Eskuche, U. (1992). La vegetación de las dunas marítimas de América Latina. *Bosque*, 13, 23–28.
- Espejel, I. (1984). La vegetación de las dunas costeras de la península de Yucatán I. Análisis florístico del estado de Yucatán. *Biótica*, 9, 183–210.
- Espejel, I. (1986). La vegetación de las dunas costeras de la península de Yucatán II. Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo. *Biótica*, 11, 7–24.
- Espejel, I. (1987). A phytogeographical analysis of coastal vegetation in the Yucatán Peninsula. *Journal of Biogeography*, 14, 499–519.
- Espejel, I. (1992). Coastal sand dune communities and soil relationships in Yucatán Peninsula, Mexico. En U. Seeliger (Ed.), *Coastal Plant Communities of Latin America* (pp. 323–334). San Diego, California: Academic Press, Inc.
- Espejel, I. (1993). Conservation and management of dry coastal vegetation. En J. L. Fermán, L. Gómez-Morín y D. Wayne (Eds.), *Coastal Management in Mexico. The Baja California Experience* (pp. 119–136). New York: American Society of Civil Engineers.
- Espejel, I., Moreno-Casasola, P. y Barbour, M. G. (2001). Coastal strand vegetation of La Frontera. En G. L. Webster y C. F. Bahre (Eds.), *Changing Plant Life of La Frontera: Observations on Vegetation in the United States/Mexico Borderlands* (pp. 187–193). New Mexico: The University of New Mexico Press.
- Espejel, I., Ahumada, B., Cruz, Y. y Heredia, A. (2004). Coastal vegetation as indicators for conservation. En M. L. Martínez y N. P. Psuty (Eds.), *Coastal Dunes, Ecology and Conservation* (pp. 297–318). New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Espejel, I., Jiménez-Oroco, O. y Peña-Garcillán, P. (2015). *Flora de las playas y dunas costeras de México. Informe final Snib-Conabio, proyecto Núm. HJ007*. México D.F.: Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California.
- Espejel, I. y Ojeda, L. (1995). Native plants for recreation and conservation in Mexico. *Ecological Restoration*, 13, 84–89.
- Fleishman, A. B. y Blinick, N. S. (2011). Nesting least terns *Sternula antillarum* at Estero Cardonal, Sonora, Mexico: A newly discovered colony in the Gulf of California. *Marine Ornithology*, 39, 277–279.
- Fryberger, S. G., Krystnik, L. F. y Schenk, C. J. (1990). Tidally flooded back-barrier dunefield, Guerrero Negro area, Baja California, Mexico. *Sedimentology*, 37, 23–43.
- Gallego-Fernández, J. B. y Martínez, M. L. (2011). Environmental filtering and plant functional types on Mexican foredunes along the Gulf of Mexico. *Ecoscience*, 18, 52–62.
- García, A. y Whalen, D. M. (2003). Lizard community response to a desert shrubland-intertidal transition zone on the coast of Sonora, Mexico. *Journal of Herpetology*, 378, 378–382.
- García-Franco, J. G. (1996). Distribución de epifitas vasculares en matorrales costeros de Veracruz, México. *Acta Botanica Mexicana*, 37, 1–9.
- García-Franco, J. G., López-Portillo, J. y Ángeles, G. (2007). The holoparasitic endophyte *Bdalophyton americanum* affects root water conductivity of the tree *Bursera simaruba*. *Trees*, 21, 215–220.
- Glenn, E. P., Olsen, M., Frye, R., Moore, D. y Miyamoto, S. (1994). How much sodium accumulation is necessary for salt tolerance in subspecies of the halophyte *Atriplex canescens*? *Plant, Cell and Environment*, 17, 711–719.
- Gómez-Morín, L., Fermán, J. L., Escofet, A., Espejel, I. y Torres, G. (1993). Coastal lagoon management in Baja California, Mexico. En J. Sorensen, F. Gable y F. Bandarín (Eds.), *The Management of Coastal Lagoons and Enclosed Bays* (pp. 111–119). New Orleans: American Society of Civil Engineers.
- González, J. y Moreno-Casasola, P. (1982). Ecología de la vegetación de dunas costeras: efecto de una perturbación artificial. *Biótica*, 7, 533–550.
- González-Leija, M., Mariño-Tapia, I., Silva, R., Enríquez, C., Mendoza, E. E., Escalante-Mancera, E., et al. (2013). Morphodynamic evolution and sediment transport processes of Cancun beach. *Journal of Coastal Research*, 29, 1146–1157.
- González-Vázquez, J. A., Silva, R., Mendoza, E. y Delgadillo-Calzadilla, M. A. (2014). Towards coastal management of a degraded system: Barra de Navidad, Jalisco, Mexico. *Journal of Coastal Research*, 71, 107–113.
- Granja-Barros, M., Rico-Gray, V. y Díaz-Castelazo, C. (2001). Sincronia de floração entre *Lantana camara* L. (Verbenaceae) e *Psittacanthus calycinatus* (Dc.) G. Don (Loranthaceae) ocorrentes nas dunas de La Mancha, Veracruz, Mexico. *Acta Botanica Mexicana*, 57, 1–14.
- Guevara, S. y Moreno-Casasola, P. (1995). Evaluación y conclusiones. En S. Guevara, P. Moreno-Casasola y J. Rzedowski (Eds.), *Logros y perspectivas del conocimiento de los recursos vegetales de México en vísperas del siglo XXI* (pp. 93–201). México, D.F.: Instituto de Ecología, A.C. y Sociedad Botánica de México, A.C.
- Hesp, P. A. (2004). Coastal dunes in the tropics and temperate regions: Location, formation, morphology and vegetation processes. En M. L. Martínez y N. P. Psuty (Eds.), *Coastal Dunes, Ecology and Conservation* (pp. 29–49). New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Hesp, P. A. y Martínez, M. L. (2008). Transverse dune trailing ridges and vegetation succession. *Geomorphology*, 99, 205–213.
- Hesp, P. A., Schmutz, P., Martínez, M. L., Driskell, L., Orgera, R., Renken, K., et al. (2010). The effect on coastal vegetation of trampling on a parabolic dune. *Aeolian Research*, 2, 105–111.
- Hesp, P. A., Martínez, M., da Silva, G. M., Rodríguez-Revelo, N., Gutiérrez, E., Humanes, A., et al. (2011). Transgressive dunefield landforms and vegetation associations, Dona Juana, Veracruz, Mexico. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36, 285–295.
- Inegi (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (2010). *Marco geoeconómico nacional 2010*. México, D.F.: Inegi.
- Infante-Mata, D., Moreno-Casasola, P., Madero-Vega, C., Castillo-Campos, G. y Warner, B. G. (2011). Floristic composition and soil characteristics of tropical freshwater forested wetlands of Veracruz on the coastal plain of the Gulf of Mexico. *Forest Ecology and Management*, 262, 1514–1531.
- Inman, D. L., Ewing, G. C. y Corliss, J. B. (1966). Coastal sand dunes of Guerrero Negro, Baja California, Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 77, 787–802.
- Jiménez-Oroco, O., Espejel, I., Martínez, M. L., Moreno-Casasola, P., Infante-Mata, D. y Rodríguez-Revelo, N. (2014). Uso de las dunas y situación actual. En M. L. Martínez, P. Moreno-Casasola, I. Espejel, O. Jiménez-Oroco, D. Infante-Mata y N. Rodríguez-Revelo (Eds.), *Diagnóstico general de las DC de México* (pp. 81–94). México, D.F.: Comisión Nacional Forestal.
- Jiménez-Oroco, O., Hesp, P., Martínez, M. L., Espejel, I. y Moreno-Casasola, P. (2014). Tipos de dunas. En M. L. Martínez, P. Moreno-Casasola, I. Espejel, O. Jiménez-Oroco, D. Infante-Mata, & N. Rodríguez-Revelo (Eds.), *Diagnóstico general de las DC de México* (pp. 27–48). México, D.F.: Comisión Nacional Forestal.
- Johnson, A. F. (1977). A survey of the strand and dune vegetation along the Pacific and Southern gulf coasts of Baja California, Mexico. *Journal of Biogeography*, 7, 83–99.
- Johnson, A. F. (1982). Dune vegetation along the Eastern shore of the Gulf of California. *Journal of Biogeography*, 9, 317–330.
- Johnson, A. F. (1985). Ecología de *Abronia maritima*, especie pionera de las dunas del oeste de México. *Biótica*, 10, 19–34.
- Kasper-Zubillaga, J. J. (2009). Roundness in quartz grains from inland and coastal dune sands, Altar Desert, Sonora, Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 61, 1–12.
- Kasper-Zubillaga, J. J., Carranza-Edwards, A. y Rosales-Hoz, L. (1999). Petrography and geochemistry of Holocene sands in the Western Gulf of Mexico: Implications for provenance and tectonic setting. *Journal of Sedimentary Research*, 69, 1003–1010.
- Kasper-Zubillaga, J. J., Carranza-Edwards, A. y Morales-de la Garza, E. (2007). Caracterización textural de la arena de la playa del golfo de California, México: implicaciones para los procesos costeros. *Ciencias Marinas*, 33, 83–94.
- Kasper-Zubillaga, J. J., Zolezzi-Ruiz, H., Carranza-Edwards, A., Girón-García, P., Ortiz-Zamora, G. y Palma, M. (2007). Sedimentological, modal analysis and geochemical studies of desert and coastal dunes, Altar Desert, NW Mexico. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32, 489–508.
- Kasper-Zubillaga, J. J., Carranza-Edwards, A. y Morton-Bermea, O. (2008). Heavy minerals and rare earth elements in coastal and inland dune sands of El Vizcaíno Desert, Baja California Peninsula, Mexico. *Marine Georesources and Geotechnology*, 26, 172–188.
- Kasper-Zubillaga, J. J., Acevedo-Vargas, B., Bermea, O. M. y Zamora, G. O. (2008). Rare earth elements of the Altar Desert dune and coastal sands, Northwestern Mexico. *Chemie der Erde-Geochemistry*, 68, 45–59.
- Kasper-Zubillaga, J. J., Armstrong-Altrin, J. S., Carranza-Edwards, A., Morton-Bermea, O. y Lozano-Santa Cruz, 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.
- Kasper-Zubillaga, J. J. y Carranza-Edwards, A. (2003). Modern sands of the Gulf of Mexico: Discriminating fluvial and coastal sand composition. *Ciencias Marinas*, 29, 621–630.
- Kasper-Zubillaga, J. J. y Carranza-Edwards, A. (2005). Grain size discrimination between sands of desert and coastal dunes from Northwestern Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22, 383–390.
- Kasper-Zubillaga, J. J. y Dickinson, W. W. (2001). Discriminating depositional environments of sands from modern source terranes using modal analysis. *Sedimentary Geology*, 143, 149–167.
- Kasper-Zubillaga, J. J. y Faustinos-Morales, R. (2007). Scanning electron microscopy analysis of quartz grains in desert and coastal dune sands (Altar Desert, NW Mexico). *Ciencias Marinas*, 33, 11–22.
- Kasper-Zubillaga, J. J. y Zolezzi-Ruiz, H. (2007). Grain size, mineralogical and geochemical studies of coastal and inland dune sands from El Vizcaíno Desert, Baja California Peninsula, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 24, 423–438.
- Kellman, M. y Roulet, N. (1990). Nutrient flux and retention in a tropical sand-dune succession. *Journal of Ecology*, 78, 664–676.
- Lara-Lara, J. R., Arreola-Lizárraga, J. A., Calderón-Aguilera, L. E., Camacho-Ibar, V. F., de la Lanza-Espino, G., Escobet, A., et al. (2008). Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales. En Conabio (Ed.), *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad* (pp. 109–134). México, D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Lara-López, M. S. y González-Romero, A. (2002). Alimentación de la iguana verde *Iguana iguana* (Squamata: Iguanidae) en La Mancha, Veracruz, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 85, 139–162.
- Ledesma-Vázquez, J., Carreño, A. y Guardado-France, R. (2012). Biogenic coastal deposits: Isla del Carmen, Gulf of California, Mexico. *Facies*, 58, 169–178.
- Leirana-Alcocer, J. y Parra-Tabla, V. C. (1999). Factors affecting the distribution, abundance and seedling survival of *Mammillaria gaumeri*, an endemic cactus of coastal Yucatán, Mexico. *Journal of Arid Environments*, 41, 421–428.
- León-de la Luz, J. L. y Medel-Narváez, A. (2013). A new species of *Bidens* (Asteraceae: Coreopsidae) from Baja California Sur, Mexico. *Acta Botanica Mexicana*, 103, 119–126.
- León-de la Luz, J. L. y Pérez-Navarro, J. J. (2007). A new variety of *Cyrtocarpa edulis* (Anacardiaceae). *Acta Botanica Mexicana*, 79, 63–67.
- León-de la Luz, J. L. y Pérez-Navarro, J. J. (2010). Two new taxa of *Bursera* (Burseraceae) of Baja California Sur, Mexico. *Acta Botanica Mexicana*, 91, 37–49.
- Lithgow, D., Martínez, M. L. y Gallego-Fernández, J. B. (2014). The 'ReDune' index (Restoration of coastal Dunes Index) to assess the need and viability of coastal dune restoration. *Ecological Indicators*, 49, 178–187.
- López-Portillo, J. A., Martínez, M. L., Hesp, P. A., Hernández-Santana, J. R., Reyes-Vásquez, V., Gómez, A., et al. (2011). *Atlas de las costas de Veracruz. Manglares y dunas*. Xalapa: Secretaría de Educación del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana.
- Lorenzo, C., Rioja, T. M., Carrillo, A. y Cervantes, F. A. (2008). Population fluctuations of *Lepus flavigularis* (lagomorpha: leporidae) at Tehuantepec Isthmus, Oaxaca, Mexico. *Acta Zoológica Mexicana*, 24, 207–220.
- Martínez, M. L. (2003). Facilitation of seedling establishment by an endemic shrub in tropical coastal sand dunes. *Plant Ecology*, 168, 333–345.
- Martínez, M. L. (2008). Dunas costeras. *Investigación y Ciencia*, 38, 26–35.
- Martínez, M. L., Valverde, M. T. y Moreno-Casasola, P. (1992). Germination response to temperature, salinity, light and depth of sowing of ten tropical dune species. *Oecologia*, 92, 343–353.
- Martínez, M. L., Moreno-Casasola, P. y Castillo, S. (1993). Biodiversidad costera: playas y dunas. En S. I. Salazar-Vallejo y N. E. González (Eds.), *Biodiversidad marina y costera de México* (pp. 160–181). México, D.F.: Conabio-CIQRO.
- Martínez, M. L., Moreno-Casasola, P. y Rincón, E. (1994). Sobrevivencia y crecimiento de plántulas de un arbusto endémico de dunas costeras ante condiciones de sequía. *Acta Botanica Mexicana*, 26, 53–62.
- Martínez, M. L., Moreno-Casasola, P. y Vázquez, G. (1997). Effects of disturbance by sand movement and inundation by water on tropical dune vegetation dynamics. *Canadian Journal of Botany*, 75, 2005–2014.
- Martínez, M. L., Vázquez, G. y Sánchez-Colón, S. (2001). Spatial and temporal variability during primary succession on tropical coastal sand dunes. *Journal of Vegetation Science*, 12, 361–372.
- Martínez, M. L., Vázquez, G., White, D. A., Thivet, G. y Brengues, M. (2002). Effects of burial by sand and inundation by fresh and seawater on seed germination of five tropical beach species. *Canadian Journal of Botany*, 80, 416–424.
- Martínez, M. L., Pérez-Maqueo, O. y Vásquez, V. M. (2004). Facilitative interactions on coastal dunes in response to seasonal weather fluctuations and benefactor size. *Ecoscience*, 11, 390–398.
- Martínez, M. L., Gallego-Fernández, J. B., García-Franco, J. G., Moctezuma, C. y Jiménez, C. D. (2006). Assessment of coastal dune vulnerability to natural and anthropogenic disturbances along the Gulf of Mexico. *Environmental Conservation*, 33, 109–117.
- Martínez, M. L., García-Franco, J. G. y Rico-Gray, V. (2006). Las adaptaciones y las interacciones de las especies. En P. Moreno-Casasola (Ed.), *Entornos veracruzanos: la costa de La Mancha* (pp. 273–283). Xalapa: Instituto de Ecología, A.C.
- Martínez, M. L., Manson, R. H., Balvanera, P., Dirzo, R., Soberón, J., García-Barrios, L., et al. (2006). The evolution of ecology in Mexico: Facing challenges and preparing for the future. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4, 259–267.
- Martínez, M. L., Vázquez, G., López-Portillo, J., Psuty, N. P., García-Franco, J. G., Silveira, T. M., et al. (2012). Dinámica de un paisaje complejo en la costa de Veracruz. *Investigación Ambiental*, 4, 151–160.
- Martínez, M. L., Moreno-Casasola, P., Espejel, I., Jiménez-Orocio, O., Infante-Mata, D. y Rodríguez-Revelo, N. (2014). *Diagnóstico general de las dunas costeras de México*. México, D.F.: Comisión Nacional Forestal.
- Martínez, M. L. y García-Franco, J. G. (2004). Plant-plant interactions in coastal dunes. En M. L. Martínez y N. P. Psuty (Eds.), *Coastal Dunes, Ecology and Conservation* (pp. 204–220). New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Martínez, M. L. y López-Barrera, F. (2008). Special issue: Restoring and designing ecosystems for a crowded planet. *Ecoscience*, 15, 1–5.
- Martínez, M. L. y Moreno-Casasola, P. (1993). Survival of seedling cohorts of a tropical legume on a sand dune system along the Gulf of Mexico: Influence of germination date. *Canadian Journal of Botany*, 71, 1427–1433.
- Martínez, M. L. y Moreno-Casasola, P. (1996). Effects of burial by sand on seedling growth and survival in six tropical sand dune species from the Gulf of Mexico. *Journal of Coastal Research*, 12, 406–412.
- Martínez, M. L. y Moreno-Casasola, P. (1998). The biological flora of coastal dunes and wetlands: *Chamaecrista chamaecristoides* (Colladon) I. & B. *Journal of Coastal Research*, 14, 162–174.
- Martínez, M. L. y Psuty, N. P. (2004). *Coastal Dunes, Ecology and Conservation*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Martínez, M. y Rincón, E. (1993). Growth analysis of *Chamaecrista chamaecristoides* (Leguminosae) under contrasting nutrient conditions. *Acta Oecologica*, 14, 521–528.
- Martínez, M. L. y Valverde, M. T. (1992). Las dunas costeras. *Ciencia*, 26, 35–42.
- Maun, M. A. (2009). *The Biology of Coastal Sand Dunes*. New York: Oxford University Press Inc.
- McLaren, S. y Gardner, R. (2000). New radiocarbon dates from a Holocene aeolianite, Isla Cancún, Quintana Roo, Mexico. *Holocene*, 10, 757–761.
- Mellink, E. y Riojas-López, M. (2007). Modificaciones estructurales artificiales de Laguna Cuyutlán, Colima, México. *Revista Geográfica*, 142, 131–142.
- Mellink, E., Riojas-López, M. y Luevano, J. (2009). Breeding locations of seven charadriiformes in coastal Southwestern Mexico. *Waterbirds*, 32, 44–53.
- Mendoza-González, G., Martínez, M., Lithgow, D., Pérez-Maqueo, O. y Simón, P. (2012). Land use change and its effects on the value of ecosystem services along the coast of the Gulf of Mexico. *Ecological Economics*, 82, 23–32.
- Mendoza-González, G., Martínez, M. L., Rojas-Soto, O. R., Vázquez, G. y Gallego-Fernández, J. B. (2013). Ecological niche modeling of coastal dune plants and future potential distribution in response to climate change and sea level rise. *Global Change Biology*, 19, 2524–2535.

- Mendoza-González, G., Martínez, M. L. y Lithgow, D. (2014). Biological flora of coastal dunes and wetlands: *Canavalia rosea* (Sw.) DC. *Journal of Coastal Research*, 30, 697–713.
- Morales-Mávil, J. E. y Guzmán-Guzmán, S. (1994). Fauna silvestre de la zona de La Mancha, Veracruz, México. *La Ciencia y el Hombre*, 16, 77–103.
- Moreno-Casasola, P. (1982). Ecología de la vegetación de dunas costeras: factores físicos. *Biótica*, 7, 577–602.
- Moreno-Casasola, P. (1986). Sand movement as a factor in the distribution of plant communities in a coastal dune system. *Vegetatio*, 65, 67–76.
- Moreno-Casasola, P. (1988). Patterns of plant species distribution on coastal dunes along the Gulf of Mexico. *Journal of Biogeography*, 15, 787–806.
- Moreno-Casasola, P. (1994). Dunas y playas de Veracruz: posibilidades, problemática y perspectivas. En G. Castillo-Campos y M. T. Mejía-Saulés (Eds.), *Los recursos vegetales. Problemática ambiental de Veracruz* (pp. 21–30). Xalapa: Colegio Profesional de Biólogos de México, A.C., Universidad Veracruzana.
- Moreno-Casasola, P. (1995a). Dry coastal ecosystems of the Pacific coast of Mexico and Central America. En E. Van der Maarel (Ed.), *Ecosystems of the World 2B. Dry Coastal Ecosystems. Africa, America, Asia and Oceania* (pp. 453–458). Amsterdam: Elsevier Publishing, Co.
- Moreno-Casasola, P. (1995b). Dry coastal ecosystems of the Atlantic coast of Mexico and Central America. En E. Van der Maarel (Ed.), *Ecosystems of the World 2B. Dry Coastal Ecosystems. Africa, America, Asia and Oceania* (pp. 389–405). Amsterdam: Elsevier Publishing, Co.
- Moreno-Casasola, P. (1997). Vegetation differentiation and environmental dynamics along the Mexican Gulf coast. A case study: Morro de la Mancha. En E. Van der Maarel (Ed.), *Dry Coastal Ecosystems* (pp. 469–482). Amsterdam: Elsevier Publishing, Co.
- Moreno-Casasola, P. (2004a). Las playas y dunas del golfo de México. Una visión de la situación actual. En M. Caso, I. Pisanty y E. Escurra (Eds.), *Diagnóstico ambiental del golfo de México* (pp. 491–520). México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología.
- Moreno-Casasola, P. (2004b). A case study of conservation and management of tropical sand dune systems: La Mancha-El Llano. En M. L. Martínez y N. P. Psuty (Eds.), *Coastal dunes, ecology and Conservation* (pp. 319–325). New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Moreno-Casasola, P. (2006a). Playas y dunas. En P. Moreno-Casasola, E. Peresbarbosa y A. C. Travieso-Bello (Eds.), *Estrategias para el manejo integral de la zona costera: un enfoque municipal* (pp. 121–149). Xalapa: Instituto de Ecología, A.C., Conanp, Gobierno del Estado de Veracruz.
- Moreno-Casasola, P. (2006b). *Entornos veracruzanos: la costa de La Mancha*. Xalapa: Instituto de Ecología, A.C.
- Moreno-Casasola, P. (2010). *Mar de arena*. Xalapa: Comisión del Estado de Veracruz para la Commemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana.
- Moreno-Casasola, P. y Castillo, S. (1990). Establecimiento de reservas en sistemas de dunas costeras del golfo y Caribe de México. En J. L. Camarillo y F. Rivera (Eds.), *Áreas naturales protegidas y especies en peligro de extinción* (pp. 128–137). México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Moreno-Casasola, P. y Castillo, S. (1992). *Dune ecology on the Eastern coast of Mexico*. En U. Seeliger (Ed.), *Coastal Plants Communities of Latin American* (pp. 309–321). San Diego: Academic Press, Inc.
- Moreno-Casasola, P., Castillo, S. y Martínez, M. L. (2011). Flora de las playas y ambientes arenosos (dunas) de las costas. En A. Cruz-Angón (Ed.), *La biodiversidad de Veracruz: estudio de estado* (pp. 229–238). Xalapa: Conabio, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C.
- Moreno-Casasola, P. y Espejel, I. (1986). Classification and ordination of coastal sand dune vegetation along the Gulf and Caribbean Sea of Mexico. *Vegetatio*, 66, 147–182.
- Moreno-Casasola, P., Espejel, I., Castillo, S., Castillo-Campos, G., Durán, R., Pérez-Navarro, J. J., et al. (1998). Flora de los ambientes arenosos y rocosos de las costas de México. En G. Halffter (Ed.), *La diversidad biológica de Iberoamérica* (pp. 177–258). México, D.F.: Instituto de Ecología, A.C.
- Moreno-Casasola, P., Grime, J. P. y Martínez, M. L. (1994). A comparative study of the effects of fluctuations in temperature and moisture supply on hard coat dormancy in seeds of coastal tropical legumes in Mexico. *Journal of Tropical Ecology*, 10, 67–86.
- Moreno-Casasola, P., Infante-Mata, D. y Madero-Vega, C. (2011). Germinación y supervivencia de dos especies de acahuales de selva baja importantes para restaurar dunas costeras. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2, 19–36.
- Moreno-Casasola, P., Maarel, E., Castillo, S., Huesca, M. L. y Pisanty, I. (1982). Ecología de la vegetación de dunas costeras: estructura y composición en El Morro de La Mancha, Veracruz. *Biótica*, 7, 491–526.
- Moreno-Casasola, P., Martínez, M. L. y Castillo-Campos, G. (2008). Designing ecosystems in degraded tropical coastal dunes. *Ecoscience*, 15, 44–52.
- Moreno-Casasola, P., Martínez, M. L., Castillo-Campos, G. y Campos, A. (2013). The impacts on natural vegetation following the establishment of exotic *Casuarina* plantations. En M. L. Martínez, P. A. Hesp y J. B. Gallego-Fernández (Eds.), *Restoration of Coastal Dunes* (pp. 217–233). New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Moreno-Casasola, P. y Paradowska, K. (2009). Useful plants of tropical dry forest on the coastal dunes of the center of Veracruz State. *Madera y Bosques*, 15, 21–44.
- Moreno-Casasola, P., Salinas, M. G., Amador, L. E., Cruz, H. H., Juárez, A., Ruelas, L., et al. (2006). Plan de manejo comunitario La Mancha-El Llano. En busca de un desarrollo costero sustentable. En P. Moreno-Casasola, E. Peresbarbosa y A. C. Travieso-Bello (Eds.), *Estrategias para el manejo integral de la zona costera: un enfoque municipal* (pp. 121–149). Xalapa: Instituto de Ecología A.C., Conanp, Gobierno del Estado de Veracruz.
- Moreno-Casasola, P., Salinas, M. G., Travieso-Bello, A. C., Juárez, A., Ruelas, L., Amador, L. E., et al. (2006). El paisaje costero: investigación para el manejo y la conservación. In K. Oyama y A. Castillo (Eds.), *Manejo, conservación y restauración de recursos naturales en México* (pp. 179–202). México, D.F.: UNAM, Siglo XXI.
- Moreno-Casasola, P. y Travieso-Bello, A. C. (2006). Las playas y las dunas. En P. Moreno-Casasola (Ed.), *Entornos veracruzanos: la costa de La Mancha* (pp. 205–220). Xalapa: Instituto de Ecología, A.C.
- Moreno-Casasola, P. y Vázquez, G. (1999). The relationship between vegetation dynamics and water table in tropical dune slacks. *Journal of Vegetation Science*, 10, 515–524.
- Murillo-de Nava, J. M., Gorsline, D. S., Goodfriend, A. G., Vlasov, V. K. y Cruz-Orozco, R. (1999). Evidence of Holocene climatic changes from aeolian deposits in Baja California Sur, Mexico. *Quaternary International*, 56, 141–154.
- Murillo-de Nava, J. M. y Gorsline, D. S. (2000). Holocene and modern dune morphology for the Magdalena Coastal Plain and Islands, Baja California Sur, Mexico. *Journal of Coastal Research*, 16, 915–925.
- Ocampo, G. y Columbus, J. T. (2008). Nota sobre *Portulaca californica* Legrand (Portulacaceae), una especie endémica poco conocida de Baja California Sur, México. *Acta Botanica Mexicana*, 83, 25–32.
- Oliveira, P. S., Rico-Gray, V., Díaz-Castelazo, C. y Castillo-Guevara, C. (1999). Interaction between ants, extrafloral nectaries and insect herbivores in Neotropical coastal sand dunes: herbivore deterrence by visiting ants increases fruit set in *Opuntia stricta* (Cactaceae). *Functional Ecology*, 13, 623–631.
- Oropeza-Orozco, O., Sommer-Cervantes, I., Carlos-Gómez, J., Preciado-López, J. C., Ortiz-Pérez, M. A. y López-Portillo, J. (2011). Assessment of vulnerability and integrated management of coastal dunes in Veracruz, Mexico. *Coastal Management*, 39, 492–514.
- Ortiz-Pulido, R., Laborde, J. y Guevara, S. (2000). Frugivoría por aves en un paisaje fragmentado: consecuencias en la dispersión de semillas. *Biotropica*, 32, 473–488.
- Palma, R. (2008). Vulnerabilidad de las costas: apuntes para una caracterización general. En A. Tejeda-Martínez, M. Guadarrama-Oliviera, C. A. Ochoa-Martínez, A. Medina-Chena, M. E. Equihua-Zamora y A. Cejudo-Báez, et al. (Eds.), *Estudios para un programa veracruzano ante el cambio climático* (p. 38). México, D.F.: Universidad Veracruzana, Instituto Nacional de Ecología, Embajada Británica en México.
- Parra-Tabla, V., Vargas, C. F., Naval, C., Calvo, L. M. y Ollerton, J. (2011). Population status and reproductive success of an endangered epiphytic orchid in a fragmented landscape. *Biotropica*, 43, 640–647.
- Pedrín-Avilés, S., Díaz-Rivera, E., Padilla-Arredondo, G., Sirkin, L. y Stuckenrath, R. (1987). Fauna de moluscos en afloramientos litorales de la bahía de La Paz. Baja California Sur, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 48, 9–21.

- Peinado, M., Aguirre, J. L., Delgadillo, J. y Macías, M. A. (2007). Zonobioses, zonocentes and azonal vegetation along the Pacific coast of North America. *Plant Ecology*, 191, 221–252.
- Peinado, M., Aguirre, J. L., Delgadillo, J. y Macías, M. A. (2008). A phytosociological and phytogeographical survey of the coastal vegetation of Western North America. Part I: Plant communities of Baja California, Mexico. *Plant Ecology*, 196, 27–60.
- Peinado, M., Ocana-Peinado, F. M., Aguirre, J. L., Delgadillo, J., Macías, M. A. y Díaz-Santiago, G. (2011). A phytosociological and phytogeographical survey of the coastal vegetation of Western North America: Beach and dune vegetation from Baja California to Alaska. *Applied Vegetation Science*, 14, 464–484.
- Peralta-Peláez, L. A., Deloya, C. y Moreno-Casasola, P. (2007). Aquatic insects in dune lakes of the central region of the Gulf of Mexico. *Neotropical Entomology*, 36, 342–355.
- Peralta-Peláez, L. A., Moreno-Casasola, P. y López Rosas, H. (2014). Hydrophyte composition of dune lakes and its relationship to land-use and water physicochemistry in Veracruz, Mexico. *Marine and Freshwater Research*, 65, 312–326.
- Peralta-Peláez, L. A. y Moreno-Casasola, P. (2009). Composición florística y diversidad de la vegetación de humedales en los lagos interdunarios de Veracruz. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 85, 89–101.
- Peresbarbosa, E., Moreno-Casasola, P., Salinas, M. G., Ferriz, N., Castro, C., Martínez, E., et al. (2007). Reserva archipiélago: una alternativa de conservación para la costa de Veracruz. En G. Halffter, S. Guevara y A. Melic (Eds.), *Hacia una cultura de conservación de la diversidad biológica* (pp. 293–302). Zaragoza: Sociedad Entomológica Aragonesa.
- Pérez-Ramos, E., Nieto-Montes de Oca, A., Vargas-Contreras, J. A., Cordes, J. E., Paulissen, M. A. y Walker, J. M. (2010). *Aspidoscelis sexlineata* (Sauria: Teiidae) in Mexico: Distribution, habitat, morphology, and taxonomy. *The Southwestern Naturalist*, 55, 419–425.
- Peynador, C. y Méndez-Sánchez, F. (2010). Managing coastal erosion: A management proposal for a littoral cell in Todos Santos Bay, Ensenada, Baja California, Mexico. *Ocean and Coastal Management*, 53, 350–357.
- Phleger, F. B. y Ewing, G. C. (1962). Sedimentology and oceanography of coastal lagoons in Baja California, Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 73, 145–182.
- Poggie, J. J. (1962). *Coastal Pioneer Plants and Habitat in the Tampico Region, Mexico. Technical Report 17A*. Baton Rouge: Louisiana State University Press.
- Psuty, N. P. (1965). Beach-ridge development in Tabasco, Mexico. *Annals of the Association of American Geographers*, 55, 112–124.
- Psuty, N. P. (2004). The coastal foredune: A morphological basis for regional coastal dune development. En M. L. Martínez y N. P. Psuty (Eds.), *Coastal dunes, ecology and conservation* (pp. 11–27). New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Psuty, N., Martínez, M. L., López-Portillo, J., Silveira, T., García-Franco, J. y Rodríguez, N. (2009). Interaction of alongshore sediment transport and habitat conditions at Laguna La Mancha, Veracruz, Mexico. *Journal of Coastal Conservation*, 13, 77–87.
- Ramos-Zapata, J. A., Zapata-Trujillo, R., Ortiz-Díaz, J. J. y Guadarrama, P. (2011). Arbuscular mycorrhizas in a tropical coastal dune system in Yucatán, Mexico. *Fungal Ecology*, 4, 256–261.
- Ricalde, M. F., Andrade, J. L., Durán, R., Dupuy, J. M., Sima, J. L., Us-Santamaría, R., et al. (2010). Environmental regulation of carbon isotope composition and crassulacean acid metabolism in three plant communities along a water availability gradient. *Oecologia*, 164, 871–880.
- Rico-Gray, V. y Castro, G. (1996). Effect of an ant-aphid interaction on the reproductive fitness of *Paullinia fuscescens* (Sapindaceae). *The Southwestern Naturalist*, 41, 434–440.
- Rico-Gray, V., García-Franco, J. G., Palacios-Ríos, M., Díaz-Castelazo, C., Parra-Tabla, V. y Navarro, J. A. (1998). Geographical and seasonal variation in the richness of ant-plant interactions in Mexico. *Biotropica*, 30, 190–200.
- Rico-Gray, V., Oliveira, P. S., Parra-Tabla, V., Cuautle, M. y Díaz-Castelazo, C. (2004). Ant-plant interactions: their seasonal variation and effects on plant fitness. En M. L. Martínez y N. P. Psuty (Eds.), *Coastal Dunes, Ecology and Conservation* (pp. 204–220). New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Romero-López, B. E., León-de la Luz, J. L., Pérez-Navarro, J. J. y de la Cruz-Agüero, G. (2006). Estructura y composición de la vegetación de la barra costera El Mogote, Baja California Sur, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 79, 21–32.
- Rodríguez-Revelo, N., Rendón-Márquez, G., Espejel, I., Jiménez-Orocio, O. y Martínez, M. L. (2014). Análisis de proveniencia de las arenas del complejo de dunas parabólicas El Socorro, Baja California, México, mediante una caracterización mineralógica y granulométrica. *Boletín de la Sociedad Geológica de México*, 66, 355–363.
- Russell, P. y Johnson, M. E. (2000). Influence of seasonal winds on coastal carbonate dunes from the recent and Plio-Pleistocene at Punta Chivato (Baja California Sur, Mexico). *Journal of Coastal Research*, 16, 709–723.
- Salas-Morales, S. H., Schibli, L., Nava-Zafra, A. y Saynes-Vásquez, A. (2007). Flora of coastal Oaxaca, Mexico: Annotated checklist of Huatulco National Park. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 81, 101–130.
- Samis, K. E. y Eckert, C. G. (2007). Testing the abundant center model using range-wide demographic surveys of two coastal dune plants. *Ecology*, 88, 1747–1758.
- Sánchez-Galván, I. R., Díaz-Castelazo, C. y Rico-Gray, V. (2012). Effect of hurricane Karl on a plant-ant network occurring in coastal Veracruz, Mexico. *Journal of Tropical Ecology*, 28, 603–609.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2013). *Manejo de ecosistemas de dunas costeras, criterios ecológicos y estrategias*. México, D.F.: Semarnat.
- Seingier, G., Espejel, I. y Fermán-Almada, J. L. (2009). Cobertura vegetal y marginación en la costa mexicana. Investigación ambiental. *Ciencia y Política Pública*, 1, 54–69.
- Sewell, A. A., Johnson, M. E., Backus, D. H. y Ledesma-Vázquez, J. (2007). Rhodolith detritus impounded by a coastal dune on Isla Coronados, Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 33, 483–494.
- Siemens, H. A., Moreno-Casasola, P. y Sarabia, C. (2006). The metabolization of dunes and wetlands by the city of Veracruz, Mexico. *Journal of Latin American Geography*, 5, 7–29.
- Sigüenza, C., Espejel, I. y Allen, E. B. (1996). Seasonality of mycorrhizae in coastal sand dunes of Baja California. *Mycorrhiza*, 6, 151–157.
- Skudder, P. A., Backus, D. H., Goodwin, D. H. y Johnson, M. E. (2006). Sequestration of carbonate shell material in coastal dunes on the Gulf of California (Baja California Sur, Mexico). *Journal of Coastal Research*, 22, 611–624.
- Sosa-Escalante, J. E., Hernández, S. y Segovia, A. (2001). *Chiroderma villosum* (Chiroptera: Phyllostomidae) en el estado de Yucatán, México. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 5, 68–71.
- Torres, W., Méndez, M., Dorantes, A. y Durán, R. (2010). Estructura, composición y diversidad del matorral de dunas costera en el litoral yucateco. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 86, 37–51.
- Torres-Hernández, L., Rico-Gray, V., Castillo-Guevara, C. y Vergara, J. A. (2000). Effect of nectar-foraging ants and wasps on the reproductive fitness of *Turnera ulmifolia* (Turneraceae) in a coastal sand dune in Mexico. *Acta Zoológica Mexicana*, 81, 13–21.
- Valverde, T., Rincón, E. y Pisanty, I. (1997). Growth response of six tropical dune plant species to different nutrient regimes. *Journal of Coastal Research*, 13, 497.
- Van der Maarel, E., Espejel, I. y Moreno-Casasola, P. (1987). Two-step vegetation analysis based on very large data sets. *Vegetatio*, 68, 139–143.
- Vanderplank, S. E. (2011). Rare plants of California in greater San Quintín, Baja California, Mexico. En J. W. Willoughby, B. K. Orr, K. Schierenbeck y N. Jensen (Eds.), *Proceedings of the CNPS conservation conference: Strategies and solutions* (pp. 381–387). Sacramento: California Native Plant Society.
- Vargas, C. F., Parra-Tabla, V., Feinsinger, P. y Leirana-Alcocer, J. (2006). Genetic diversity and structure in fragmented populations of the tropical orchid *Myrmecophila christinae* var *christinae*. *Biotropica*, 38, 754–763.
- Vázquez, G. (2004). The role of algal mats on community succession in dunes and dune slacks. En M. L. Martínez y N. P. Psuty (Eds.), *Coastal Dunes, Ecology and Conservation* (pp. 188–203). New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Vázquez, G., Moreno-Casasola, P. y Barrera, O. (1998). Interaction between algae and seed germination in tropical dune slack species: a facilitation process. *Aquatic Botany*, 60, 409–416.

- Villamil, N., Márquez-Guzmán, J. y Boege, K. (2013). Understanding ontogenetic trajectories of indirect defense: Ecological and anatomical constraints in the production of extrafloral nectaries. *Annals of Botany*, 112, 701–709.
- Zárate-Ovando, B., Palacios, E. y Reyes-Bonilla, H. (2008). Community structure and association of waterbirds with spatial heterogeneity in the Bahía Magdalena-Almejas wetland complex, Baja California Sur, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 56, 371–389.