



Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
Campus Tuxpan

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

**Estructura comunitaria de la vegetación litoral
del municipio de Tuxpan, Veracruz.**

TESIS:

Para obtener el título de:
**MAESTRO EN MANEJO DE ECOSISTEMAS
MARINOS Y COSTEROS**

P R E S E N T A:

Biól. José Luis Reyes Ortiz

DIRECTOR:

Dra. Consuelo Domínguez Barradas

CO-DIRECTOR:

Dr. Carlos González Gándara

Tuxpan, Veracruz

Octubre 2014

La presente Tesis titulada “**Estructura comunitaria de la vegetación litoral del municipio de Tuxpan, Veracruz**” realizada por la C. José Luis Reyes Ortiz, bajo la dirección particular de la Dra. Consuelo Domínguez Barradas y con la codirección del Dr. Carlos González Gándara ha sido aprobada y aceptada para poder llevar a cabo la solicitud de fecha de examen para obtener el grado de:

MAESTRO EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS

CONSEJO PARTICULAR:



Dra. Consuelo Domínguez Barradas

DIRECTOR



Dr. Carlos González Gandara

CODIRECTOR

Tuxpan de Rodríguez Cano Veracruz, a Octubre del 2014

La presente Tesis titulada: “**Estructura comunitaria de la vegetación litoral del municipio de Tuxpan, Veracruz**”, realizada por el C. Biol. José Luis Reyes Ortiz, bajo la dirección de la Dra. Consuelo Domínguez Barradas y la codirección del Dr. Carlos González Gándara, ha sido revisada y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRO EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS

COMISION LECTORA:



Dr. José Luis Alanís Méndez

Lector



Dra. Ana Cecilia Travieso Bello

Lector



Dr. Ascención Capistrán Barradas

Lector

Tuxpan de Rodríguez Cano, Ver., Octubre de 2014.

Dedicatoria

Para mi madre, mis hermanos y amigos.

Para la Doctora y Gerardo.

Para...

Agradecimientos

A Dios

El Señor me ha permitido llegar hasta este momento de mi vida, que jamás me ha abandonado, porque es el único que sabe lo que he vivido para llegar aquí.

A la Dra. Consuelo

Por no ser solo una maestra para mí, también una amiga y madre, que incondicionalmente está ahí cuando más lo necesito. Espero poder compensar todo lo que ha hecho por mí.

Al Dr. Gándara

Aunque no soy el mejor de sus alumnos, pero su conocimiento, sus palabras y regaños fueron tan acertados y en el momento preciso, eso ha hecho de mí un mejor estudiante.

A mi comisión lectora

Dr. José Luis Alanís Méndez, Dra. Ana Cecilia Travieso-Bello y el Dr. Ascención Capistrán Barradas por su valioso tiempo en la revisión del documento, y por sus observaciones que hicieron del trabajo un mejor escrito.

Por el apoyo otorgado

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgar la beca No. 343578, apoyo que fue utilizado para estudiar la Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros.

Y por último

A todas aquellas personas que me han brindado su amistad y confianza incondicional...

*Aquí tienen a un tonto que construyó
su casa sobre la arena*

Mt 7.26



CONTENIDO

Resumen	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES.....	4
III. OBJETIVOS	12
3.1 General	12
3.2 Particulares.....	12
IV. ÁREA DE ESTUDIO.....	13
V. MATERIAL Y METODOS.....	16
5.1 Atributos ecológicos	17
5.2 Índices ecológicos	18
a) Diversidad Alfa α	19
Medición de la estructura de las comunidades	20
Índice de diversidad Alfa Verdadera	22
b) Diversidad Beta.....	23
5.3 Evaluación de vulnerabilidad.....	25
5.4 Analisis estadístico	27
Diversidad	27
Índice de Vulnerabilidad	27
VI. RESULTADOS	28
6.1 Inventario de las especies de las dunas costeras	28
6.2 Índice de Valor de Importancia	30
6.3 Eficiencia del muestreo	31
6.4 Caracterización de las dunas costeras de Barra norte.....	32
6.5 Caracterización de las dunas costeras de Barra sur	33
6.6 Atributos ecológicos de las dunas costeras	35

a) Riqueza	35
b) Cobertura	36
c) Medición de la Diversidad verdadera	39
d) Diversidad Beta β	40
6.7 Actividades económicas.....	42
6.8 Índice de vulnerabilidad	43
a) Descripción de los sitios con base al Índice de vulnerabilidad	44
VII. DISCUSIÓN	49
Índice de Valor de Importancia (IVI)	53
Índices ecológicos	56
Cobertura	58
Índice de Vulnerabilidad	60
VIII. CONCLUSIONES.....	65
XIX. APLICACIÓN AL MANEJO	67
X. BIBLIOGRAFÍA.....	73
XI. ANEXOS.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. Localización geográfica del litoral de Tuxpan.	15
Figura 3. Representación grafica de los transectos y cuadrantes en el muestreo.	17
Figura 4. Índice de Valor de Importancia de las especies vegetales de las dunas costeras.	30
Figura 5. Valores de la riqueza observada (Sobs) y riqueza esperada de los estimadores Chao2 y Jackknife2 de las dunas costeras.	31
Figura 6. Composición florística y cobertura vegetal de las dunas que conforman la parte norte del litoral de Tuxpan.....	32
Figura 7. Composición florística y cobertura vegetal de las dunas ubicadas en la parte sur del litoral de Tuxpan.	33
Figura 8. A) Riqueza específica en las dunas de Barra Norte y Barra Sur. B) Riqueza específica de las dunas en los sitios. Las líneas corresponden a la desviación estándar. Norte: BG: Barra Galindo; ER: Emeterio Ruiz; SL: Simeón Loredo; PA: Playa Azul; Sur: P5: Playa 5; SC: San Carlos; CC: Cuatro Ciénagas; BJ: Benito Juárez; V: Villamar; PP: Punta de Piedra.	35
Figura 9. Cobertura vegetal de las dunas de la zona norte y sur del municipio de Tuxpan, Veracruz. Las líneas corresponden a la desviación estándar.	36
Figura 10. Cobertura vegetal de las dunas del litoral de Tuxpan, Veracruz. BG: Barra Galindo; ER: Emeterio Ruiz; SL: Simeón Loredo; PA: Playa Azul; P5: Playa 5; SC: San Carlos; CC: Cuatro Ciénagas; BJ: Benito Juárez; V: Villamar; PP: Punta de Piedra. Las líneas corresponden a la desviación estándar.	37
Figura 11. Índice de diversidad de Shannon y Weiner (H'). Las letras similares no fueron estadísticamente diferentes. Las líneas corresponden a la desviación estándar.	38
Figura 12. Similitud de las comunidades vegetales de los sistemas dunares de Tuxpan. Sitios: N: Norte, S: sur.	40

Figura 13. Similitud florística basada en Bray-Curtis en las dunas costeras de Tuxpan. N: Norte, S: Sur 41

Figura 14. Clasificación de los 10 sitios de muestreo de acuerdo a su índice de vulnerabilidad parcial. N: Norte, S: Sur 44

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clases de cobertura definidas por Saito y Atobe (1970). 17

Cuadro 2. Lista de especies registradas a lo largo de los 10 sitios de Tuxpan. Los números árabes indican los sitios: Norte: I: Barra Galindo, II: Emeterio Ruíz, III: Simeón Loredo, IV: Playa Azul. Sur: V: Playa 5, VI: San Carlos, VII: Cuatro Ciénegas, VIII: Benito Juárez, IX: Villamar, XIX: Punta de Piedra. Los autores se abreviaron de acuerdo con Brummit y Powell (1992). 28

Cuadro 3. Números efectivos de especies en los sitios de muestreo. 39

Cuadro 4. Valores parciales y totales del índice de vulnerabilidad, calculado para los 10 sitios localizados a lo largos de la línea costera de Tuxpan. CG=condición geomorfológica, IM=influencia marina, IE=influencia eólica, CV=cobertura vegetal, PH=presión humana, IV=índice de vulnerabilidad. Los valores más altos para el IV por sitio se resaltan. 43

Cuadro 5. Evaluación de los impactos ambientales en los diferentes sitios costeros. Los números árabes indican los sitios: Norte: I: Barra Galindo, II: Emeterio Ruíz, III: Simeón Loredo, IV: Playa Azul. Sur: V: Playa 5, VI: San Carlos, VII: Cuatro Ciénegas, VIII: Benito Juárez, IX: Villamar, XIX: Punta de Piedra. 0: Nulo, 2: Moderado, 4: Alto. 48

Estructura comunitaria de la vegetación litoral del municipio de Tuxpan, Veracruz.

José Luis Reyes Ortiz

Resumen

Las dunas costeras de Tuxpan están son impactadas por un rápido desarrollo urbano e industrial. Su relevancia ecológica se incrementa debido a que el sistema dunar esta adyacente al Sito Ramsar 1602 Manglares y Humedales de Tuxpan, se encuentran en la Región Terrestre Prioritaria Laguna de Tamiahua y también se encuentran frente al Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, que las coloca en la Región Marina Prioritaria para la Conservación. Por su escaso conocimiento florístico se caracterizó la composición, distribución y abundancia de las especies vegetales que habitan sobre el sistema. Para tal fin se establecieron diez sitios de muestreo. En los que se trazaron cinco transectos de 30 x 2 m. En cada transecto se colocaron 16 cuadrantes de 50 x 50 para caracterizar la cobertura. Se estimó la cobertura, abundancia, la diversidad Alfa y Beta, así como el número efectivo de especies, además del índice de vulnerabilidad y las actividades productivas que se desarrollan sobre las dunas. Se registraron 54 especies que corresponden a 52 géneros y 25 familias, entre estas once son nuevos registros para el área de estudio. El estrato herbáceo fue el mejor representado seguido de el estrato arbustivo y arbóreo. Divididas por el río Tuxpan se forma una Barra Norte y Barra Sur. Esta última presentó los valores más altos de riqueza y cobertura. Los números efectivos indicaron que Benito Juárez (S) es más diverso que Simeón Loredo (N). La diversidad Beta confirma que son más heterogéneas las dunas de Barra Sur. Entre las actividades productivas se encuentran las industriales, turísticas, hoteleras. El índice de vulnerabilidad indicó una vulnerabilidad media para el sistema, donde Playa Azul mostró el valor más alto.

Palabras clave: sistema dunar, Tuxpan, diversidad, vulnerabilidad, actividades productivas

I. INTRODUCCIÓN

Las dunas costeras son ambientes dinámicos y frágiles, se encuentran en diversas latitudes a través del mundo y pueden desarrollarse una amplia variedad de biomas en estos hábitats, a su vez ofrecen un límite entre el mar y la tierra (Moreno-Casasola, 1982, 1998; Moreno-Casasola y Travieso-Bello, 2006; Álvarez-Molina *et al.*, 2013). Su diversidad florística y estructural se deben a la heterogeneidad del paisaje costero (Anwar-Maun, 2009; Torres *et al.*, 2010; Castillo-Campos *et al.*, 2011; Moreno-Casasola *et al.*, 2011) a su vez determinada por las condiciones ambientales que ofrecen la litosfera, biosfera, hidrosfera y atmósfera (Carranza-Edwards *et al.*, 2004; Venugopal, 2008). A nivel geográfico, regional e incluso local, las comunidades vegetales difieren en cuanto a riqueza y abundancia de especies (Martínez *et al.*, 2004a, 2004b).

La composición y estructura de sus comunidades cambia gradualmente de la costa hacia tierra adentro, incluyendo especies trepadoras hasta arbóreas, algunas plantas son específicas y aun endémicas de estos ecosistemas, mientras que otras son de amplia distribución. Debido a esto se considera un sistema clave dentro de la franja costera, son zonas económicas muy importantes para la recreación y turismo, así como en la urbanización costera (Guevara, 1982; Puig, 1991; Seinger *et al.*, 2009; Moreno-Casasola y Travieso-Bello, 2006; Moreno-Casasola, 2010).

La vegetación halófila actúa como barrera ante la acción del viento y mareas, al conservarse, retarda los cambios en la dinámica de la costa, brindando así protección a las construcciones en caso de tormentas tropicales y huracanes; al mismo tiempo fija la duna y permite la acumulación de materia orgánica y, por ende, la formación de suelo (Espejel, 1992; Seinger *et al.*, 2009; Durán-García *et al.*, 2010). Históricamente, el avance de las dunas se constituye en una constante amenaza a centros poblados, tierras agrícolas, infraestructura vial, entre otras (Tavares-Correa y Saboga de Alegría, 2003).

Debido a esto, la mayoría de las dunas costeras de México presentan un mosaico de comunidades en diferentes etapas serales dado que su deterioro y fragmentación son producto de un crecimiento urbano inmoderado, el establecimiento de casas de verano, hoteles, basureros clandestinos, carreteras y por la incidencia de huracanes, entre otros (Castillo *et al.*, 1991; Torres *et al.*, 2010). Las dunas son perturbadas de manera accidental como intencional al modificar el transporte de sedimentos que alteran la dinámica cíclica de estos sistemas generando cambios en la estructura comunitaria de la vegetación (Stephenson, 1999; Carter, 1988).

Dado que la vegetación de dunas costeras ha sido poco apreciada, el impacto que han sufrido se debe principalmente a la urbanización a través de los asentamientos o ciudades costeras; la cría del ganado vacuno es otra causa del cambio de uso de suelo para este tipo de vegetación (Ellis y Martínez-Bello, 2010).

Hasta el momento no se cuenta con información suficiente para valorar el estado de conservación de las dunas costeras Veracruzanas, especialmente en el norte del estado, dado que las investigaciones se han enfocado a especies amenazadas o endémicas (Villaseñor, 1990; Hernández y Godínez, 1994; Rzedowski, 1996; Sosa *et al.*, 1998; Castillo-Campos *et al.*, 2005). El municipio de Tuxpan tiene una zona litoral amplia donde los cambios de uso de suelo así como los asentamientos humanos modifican la estructura y el funcionamiento de las dunas costeras (Carter, 1988; Stephenson, 1999). Por esto y, ante el escaso conocimiento florístico de este tipo de vegetación y considerando las especies endémicas, se propone un estudio que permita conocer la composición, distribución y abundancia de las especies vegetales que habitan sobre el sistema dunar, así como el desarrollo de las actividades productivas que se llevan a cabo sobre la línea de costa de este municipio.

II. ANTECEDENTES

Algunos autores incluyeron a las dunas costeras y playas como parte de las costas arenosas (Castillo y Moreno-Casasola, 1998). Para definir a la vegetación de dunas costeras Miranda y Hernández X. (1963) utilizaron la fisionomía de las especies dominantes. Mientras que Hesp (2000), Castillo-Campos y Miranda (2002) denominan como vegetación de dunas costeras a la comunidad vegetal que se está desarrollando en las hondonadas semicirculares o alargadas de estos hábitats. Por su parte Moreno-Casasola y Travieso-Bello (2006) mencionan que las comunidades de pioneras y la vegetación de dunas son los ambientes que se encuentran en los sistemas dunares. Aunque los autores antes citados tienen conceptos diferentes sobre la vegetación de dunas costeras, Castillo-Campos *et al.* (2011) consideran a la vegetación de dunas costeras como un tipo de vegetación que contiene parte de la riqueza florística de Veracruz.

Las dunas costeras pueden también entenderse como un sistema ecológico en constante cambio natural, que evoluciona a una escala de tiempo humana (Montserrat, 2010). La acumulación de sedimentos es su principal función lo que las convierte en los ambientes de sedimentación más importantes del planeta y su presencia da estabilidad a la línea de costa, en particular de las playas arenosas (Moreno-Casasola, 2006; 2010; SEMARNAT, 2013). Estas proveen el hábitat esencial para plantas e invertebrados, así como sitios de alimentación y anidación para aves y tortugas (Schlacher *et al.*, 2011). En general, es un sistema en el cual

el ambiente físico es determinante para el establecimiento y supervivencia de las plantas colonizadoras (Moreno-Casasola et al., 1998).

La vegetación de las playas y dunas de México se diferencian en cinco regiones florísticas: Pacífico Norte, Golfo de California, Pacífico Sur, Golfo de México y Mar Caribe (Moreno-Casasola *et al.*, 1998). En la región del Golfo de México existen una gran cantidad de sistemas dunares con complejidad topográfica y composición florística muy diversa (Valverde, 1988). Esto ha despertado el interés de diferentes autores para estudiar la composición vegetal que se desarrolla sobre estos ecosistemas costeros (Moreno-Casasola, 1988). Existen 16 de estos sistemas dunares en el estado de Veracruz y para su estudio, su costa ha sido dividida en cuatro regiones de acuerdo con las características de sus dunas: Zona Norte, Zona Centro Norte, Zona Centro Sur y Zona Sur (López-Portillo *et al.*, 2011). Las dunas costeras de Tuxpan pertenecen a la Zona Norte. Pero existe poco trabajo dedicado a está, y aún en el centro y sur quedan sitios que han sido poco estudiados (Moreno- Casasola *et al.*, 2011).

La comunidad vegetal de dunas costeras es muy compleja ya que el establecimiento de la flora depende de varios factores físicos como la temperatura y el manto freático (Castillo-Campos *et al.*, 2011). En está habitan plantas especializadas, de manera general su estructura comprende especies trepadoras con estolones rastreros, cespitosas, crasicuales, sub-arbustos enanos y arbustos (Puig, 1991). Dicha estructura puede ser alta o baja, abierta o cerrada, espinosa o

inerme y comúnmente se intercalan formando un complejo mosaico espacial de comunidades (Moreno-Casasola, 2004). Esto permite el desarrollo de una amplia variedad de biomas como selvas, bosques tropicales, pastizales, matorrales, vegetación típica de playas y dunas así como vegetación de humedales y acuática. Este mosaico de comunidades hace de las dunas costeras un sistema diverso y heterogéneo (Moreno-Casasola, 2004; Álvarez-Molina *et al.*, 2012). Estos biomas son el resultado de la interacción entre la tolerancia de las especies a la acumulación de arena, velocidad del viento, aspersion salina y la heterogeneidad ambiental (Anwar-Maun, 2009). Con el desarrollo de la vegetación el sustrato se estabiliza, permitiendo un proceso de sucesión, donde inicialmente predomina una cubierta herbácea o de arbustos bajos, la cual lentamente es colonizada por pequeños manchones de arbustos y vegetación arbórea (Moreno-Casasola, 2006). Esto puede ser usado para evaluar los cambios en la estructura comunitaria a través del tiempo (Moreno-Casasola y Espejel, 1986; Moreno-Casasola *et al.*, 1998; Martínez *et al.*, 2001).

Entre las descripciones de la vegetación de dunas y playas en el Golfo de México y Mar Caribe destacan los trabajos de Moreno-Casasola y Espejel (1986), Castillo y Moreno-Casasola (1996), Gallego-Fernández y Martínez (2011), otras investigaciones inician en el delta Rio Grande (Texas) hasta el Canal de Yucatán (Sauer, 1967); Cabo Rojo, Veracruz (Poggie, 1962); Yucatán (Espejel, 1984), Tabasco y Campeche (Castillo *et al.*, 1991); La Pesca, Tamaulipas hasta Nautla, Veracruz (Puig, 1991), Veracruz (López-Portillo *et al.*, 2011) y El Morro la Mancha

(Moreno-Casasola, 1986). Para este último, los estudios se han enfocado a tópicos particulares como el comportamiento fenológico (Castillo, 1981), la sucesión vegetal (González-Loera, 1982), la germinación, el crecimiento y establecimiento de las especies (Valverde, 1988; Martínez, 1988; Salinas-Pulido, 1992; Martínez-Romero, 1992; López-Ramírez, 2007) y la lluvia de semillas (Acosta-Calixto, 1993).

En el estado de Veracruz, la riqueza de la vegetación de dunas costeras es de 653 especies; entre estas 81 son típicamente costeras y 18 son endémicas para el estado, el resto son especies ruderales o secundarias (Moreno-Casasola, 1986; Castillo y Moreno Casasola, 1996, 1998; Moreno-Casasola *et al.*, 2004, 2011; Castillo-Campos *et al.*, 2005, 2011; Márquez y Márquez, 2009), mientras que las especies con potencial alimenticio, forrajero y farmacéutico que crecen sobre las dunas van de 55 a 98 (Sridhar y Bhagya, 2007, Moreno-Casasola y Paradowska, 2009; Moreno-Casasola *et al.*, 2011), igualmente, sobre las dunas costeras habitan cerca de 16 especies tóxicas para el ganado (Avendaño-Reyes y Flores-Gudiño, 1999). Dicha riqueza puede relacionarse con el aumento en la cobertura vegetal (Álvarez-Molina *et al.*, 2012). Entre las especies típicamente costeras que inician la fijación de la arena son *Palafoxia lindenii* y *Chamaecrista chamaecristoides* (Moreno-Casasola y Espejel, 1986; Gallego-Fernández y Martínez, 2011; López-Portillo *et al.*, 2011).

La composición y la sucesión se ven influenciadas por la evolución geomorfológica del sistema dunar (Moreno-Casasola y Espejel, 1986; Barrett-Mold, 2007; Torres *et al.*, 2010) y su distribución va de acuerdo a un gradiente mar-tierra, aquí un factor importante que influye es el movimiento de la arena (Moreno-Casasola, 1986, 1991; Castillo y Moreno-Casasola, 1996; Martínez y Moreno-Casasola, 1998; Moreno-Casasola y Travieso-Bello, 2006).

Se han estudiado los atributos poblacionales de especies tales como *Ipomoea pes-caprae* (Devall, 1992); *Schizanthus scoparium* (Valverde, 1992); *Sesuvium portulacastrum* (Lonard y Judd, 1997); *Chamaecrista chamaecristoides* (Martínez y Moreno-Casasola, 1998); *Ipomoea imperatii* (Lonard y Judd, 1999); *Croton punctatus* (Lonard y Judd, 2009); *Batis maritima* (Lonard y Judd, 2011); *Uniola paniculata* (Lonard *et al.*, 2011); *Sporobolus virginicus* (Lonard *et al.*, 2012); *Palafoxia lindonii* (Álvarez-Molina *et al.*, 2013); *Canavalia rosea* (Mendoza-González *et al.*, 2014) y *Paspalum vaginatum* (Lonard *et al.*, 2014). Otra especie importante en el sistema dunar es *Bletia purpurea*, reportada para las dunas costeras del Paso Doña Juana, en el centro de Veracruz (Peralta-Peláez y Moreno-Casasola, 2009; Martínez, 2010; López-Portillo *et al.*, 2011) y para las dunas de Tuxpan en un área de conservación donde se promueven acciones encaminadas a la conservación (Serrano *et al.*, 2012; Sánchez-Hernández, 2014).

De acuerdo a la NMX-AA-120-SCFI-2006 no debe existir infraestructura en las dunas costeras. La magnitud de las alteraciones dependerá de la zona que se

afecte, del tipo de obra o actividad, así como de las condiciones ambientales del sitio en el que se desarrollen (SEMARNAT, 2013). El factor clave para la alteración o interrupción de la dinámica de estos ecosistemas es la construcción de infraestructuras y urbanizaciones (Rodríguez-Gallego, 2013). La pérdida de la cobertura vegetal y la evaluación de los impactos y perturbaciones de la zona costera ha sido estudiada a partir de la marginación y turismo (Leyva *et al.*, 2006; Seingier *et al.*, 2009), el uso de los vehículos (Stephenson, 1999) y las especies invasoras (Martínez y García-Franco, 2004).

Para la recuperación de la cobertura y la formación inicial de las dunas se han utilizado algunas especies en particular (Tabares y Sabogal, 2003), como *Casuarina equisetifolia* y *Washingtonia robusta* (Zamora-Tovar, 2007), *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala* (Moreno-Casasola *et al.*, 2011). Sin embargo, la única forma de establecer el estado de equilibrio del sistema de dunas costeras es por medio de un monitoreo a largo plazo, tanto de la evolución del sistema, como de las diferentes variables ambientales (SEMARNAT, 2013), para la recuperación en la estructura y composición, además del funcionamiento de los procesos sedimentarios y ecológicos (Vega de Seoane *et al.*, 2007).

El desarrollo de la zona costera implica la transformación de la cobertura natural (Seingier *et al.*, 2009). La fragmentación de las dunas costeras conlleva a la pérdida de los servicios ambientales que ofrecen estos ecosistemas de interés económico (Mendoza-González *et al.*, 2012). Además soportan la presión de miles

de personas que anualmente ven en las playas un lugar de ocio y esparcimiento (García-Mora *et al.*, 1998). Perder un tipo de vegetación que otro tiene diferente costo, no solo por la pérdida de la biodiversidad asociada, en algunos casos, perder vegetación pone en mayor riesgo a los habitantes de la costa (Seingier *et al.*, 2009). Con frecuencia, el efecto de estos cambios no es visible de inmediato (SEMARNAT, 2013). Aunque se reconoce la importancia ecológica, social y económica de las dunas, son pocas las investigaciones detalladas que permitan realizar un diagnóstico sobre la distribución, extensión y grado de conservación de dicho ecosistema, debido a que han sido poco estudiados y valorados (Martínez *et al.*, 2007; López-Portillo *et al.*, 2011; CONAFOR, 2013).

La seria alteración y progresiva pérdida de dunas costeras durante las últimas décadas ha desembocado en la petición por parte de los conservacionistas de evaluar el estado de estos ecosistemas, habiéndose desarrollado diversos índices para evaluar la vulnerabilidad de los mismos (Muñoz-Valles *et al.*, 2011). Para los estudios de vulnerabilidad existen múltiples enfoques para abordar esta temática, mismas que coinciden en que la vulnerabilidad está determinada por una amenaza o estímulo externo ajeno al sistema u objeto de estudio (Valadez, 2013).

Para un manejo integrado de las dunas costeras se propuso el índice de vulnerabilidad definido como la pérdida de capacidad o habilidad para regresar a su estado original dinámico después de una perturbación (resiliencia) (Martínez *et al.*, 2006). El índice de vulnerabilidad emplea la influencia geomorfológica, la

influencia eólica, la influencia marina, la cobertura vegetal y los impactos antropogénicos (García-Mora *et al.*, 2001; Williams *et al.*, 2001) incluidos en las llamadas listas de control (Laranjeira *et al.*, 1999), en estas, también pueden incluirse las medidas de protección (Davies *et al.*, 1995). Otra forma de evaluar dicho índice es a través de la diversidad vegetal como una herramienta idónea (García-Mora *et al.*, 2000).

La combinación de las variables biofísicas, sociales y económicas dan como resultado el Índice de Orientación Costero Integrado que puede emplearse para identificar las áreas clave para la protección del medio ambiente o el desarrollo económico a nivel nacional (Seingier *et al.*, 2011). Otras maneras de evaluar la vulnerabilidad es a través de los efectos no deseados causados por la construcción de obras de protección costera (Valadez, 2013). Las metodologías basadas en estos índices (Laranjeira *et al.*, 1999) han sido aplicadas en la Península Ibérica (García-Mora *et al.*, 2001), en el Golfo de Cádiz (García-Mora *et al.*, 2000; Muñoz-Valles *et al.*, 2011), en el Golfo de México (Martínez *et al.*, 2006); Veracruz, México (Valadez, 2013); Escocia (Williams *et al.*, 2011) y en otros sistemas dunares del noroeste y del sur europeos (Laranjeira *et al.*, 1999).

III. OBJETIVOS

3.1 General

- ❖ Caracterizar las comunidades vegetales litorales del municipio de Tuxpan, Veracruz y su relación con las actividades productivas.

3.2 Particulares

- ❖ Caracterizar la distribución, composición, abundancia y diversidad de la comunidad vegetal de las dunas costeras del municipio de Tuxpan.
- ❖ Identificar las actividades productivas que se desarrollan sobre las dunas costeras de Tuxpan.
- ❖ Determinar el índice de vulnerabilidad de las dunas costeras de Tuxpan.

IV. ÁREA DE ESTUDIO

El sistema dunar de Tuxpan se encuentra adyacente al Sitio Ramsar 1602 Manglares y Humedales de Tuxpan y el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, los cuales incrementan aún más su relevancia ecológica (López-Portillo *et al.*, 2011). Además forma parte de la Región Terrestre Prioritaria de la Laguna de Tamiahua (Arriaga *et al.*, 2000). Las dunas costeras se ubican sobre una línea de costa de 42 km, desde Barra Galindo en la desembocadura norte de la laguna de Tampamachoco (21°5'51.12" N y 97°21'59.85" W) hasta el estero de Juan González al sur del municipio (20°47'46.85" N y 97°13'5.34" W) (Santiago, 2010). La línea costera de Tuxpan se encuentra dividida por el Río Tuxpan (Figura 2).

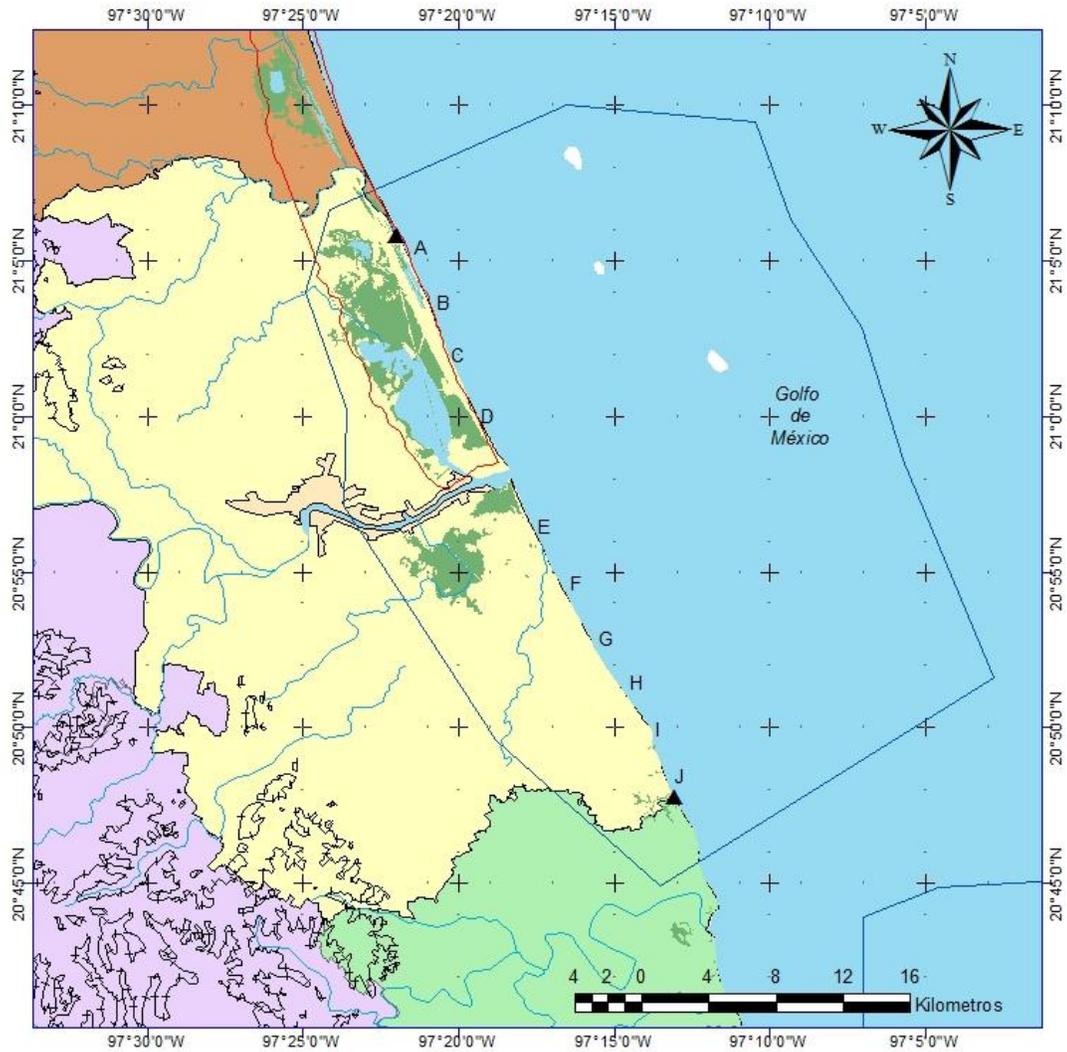
En el litoral de Tuxpan existen sitios con uso turístico recreativo; potencial turístico con calidad ambiental y estética y sitios que pueden destinarse a la conservación y ecoturismo con presencia de flora y fauna endémica (Santiago-Bravo, 2010).

La topografía de las dunas costeras de Tuxpan se caracteriza por playas amplias y angostas del tipo disipativas y reflejantes, dunas embrionarias, un primero cordón de dunas paralelo al mar, dunas frontales, transgresivas fijas y semifijas con diferentes niveles de cubierta vegetal (Gallego-Fernández y Martínez, 2011; López-Portillo *et al.*, 2011). En general, las dunas no son muy altas, van de 1.5 a 5 m. Otros aspectos importantes son el tipo de suelo y el clima, el primero se trata de un suelo de tipo regosol que deriva de material no consolidado, es susceptible

a la erosión y puede acompañarse de tepetate y litosol, además las raíces pueden penetrar fácilmente en él (Puig, 1991; INEGI, 2010). La arena es predominantemente silícea (Castillo y Moreno-Casasola, 1998).

Los tipos de vegetación descritos para el municipio son el bosque tropical, manglar, popal-tular, pastizal y la vegetación de dunas costeras (Márquez y Márquez, 2009). En el litoral de Tuxpan, la vegetación de dunas costeras se conforma por estratos rastreros, herbáceos, sub-arbustivos y arbustivos. Mientras que en las dunas estables se encuentran matorrales espinosos abiertos, detrás de estos se localizan manglares.

El clima de tipo Aw_2 (García, 1988; Puig, 1991) y queda bajo la influencia de tres temporadas climáticas, nortes (noviembre-febrero) y secas (marzo-abril) en invierno y lluvias en verano (Mosiño, 1964; Mosiño y García, 1973; De la Lanza *et al.*, 1998). El uso potencial de la tierra es principalmente agrícola y pecuario (INEGI, 2009).



- | | | | |
|----------------|---------|---|---|
| Límites | ▲ Norte | <i>Desembocadura de la laguna de Tampamachoco</i> | ■ Manglar |
| | ▲ Sur | <i>Estero de Juan Gonzalez</i> | ■ Region Terrestre Prioritaria |
| Sitios | | | ■ Sistema marino Prioritario para la conservación |
| A | | <i>Barra Galindo</i> | — Corriente Agua |
| B | | <i>Emeterio Ruiz</i> | ■ cuerpos Agua |
| C | | <i>Simeón Loredo</i> | —+— Curvas Nivel |
| D | | <i>Playa Azul</i> | ■ Zona urbana |
| E | | <i>Playa 5</i> | México |
| F | | <i>San Carlos</i> | ■ Tuxpan (Ver) |
| G | | <i>Cuatrociénegas</i> | ■ Tamaiahua (Ver) |
| H | | <i>Benito Juárez</i> | ■ Cazonez (Ver) |
| I | | <i>Villamar</i> | |
| J | | <i>Punta de Piedra</i> | |

Figura 1. Localización geográfica del litoral de Tuxpan.

V. MATERIAL Y METODOS

Para cumplir con los objetivos del presente trabajo, se realizaron cinco expediciones a las dunas costeras de Tuxpan, durante los meses de abril y junio 2013. Se establecieron un total de diez sitios de muestreo distribuidos en el litoral de Tuxpan. La composición de las especies vegetales se registró utilizando transectos perpendiculares a la costa de 30 x 2 m. En cada sitio fueron trazados cinco transectos considerando una distancia de 50 m uno de otro, estos a su vez, se utilizaron como referencia para las estimaciones de frecuencia y abundancia así como la diversidad (Espejel, 1984; Gentry, 1995; Mostacedo, 2000; Alanís-Rodríguez *et al.*, 2012), al mismo tiempo se realizaron muestreos aleatorios para cubrir la totalidad del sistema de dunas. Dichas especies se fotografiaron *in situ*, lo que permite al investigador un mejor respaldo para su trabajo de campo. La recolecta y el herborizado se llevó a cabo siguiendo la técnica propuesta por Gaviño *et al.* (2007), quien sugiere la recolecta de aquellos individuos que presenten flor, fruto o ambos.

Para la identificación de los ejemplares se utilizaron las colecciones de los Herbarios de la Facultad de Biología de la Universidad Veracruzana en Tuxpan y Xalapa, Instituto de Ecología, bases de datos como IPNI, MEXU y Tropicos.org, guías de campo para plantas y catálogos (Knopf, 1995; Puig, 1991; Villarias, 1992; Pennington *et al.*, 1998; Castillo-Campos *et al.*, 2002; Bärtels, 2005; Cheers *et al.*, 2006a, 2006b). Una vez obtenido el listado de especies se procedió a ordenarlo de

acuerdo al Sistema de Clasificación de Cronquist (1981). Los autores se abreviaron de acuerdo con Brummit y Powell (1992).

5.1 Atributos ecológicos

Cobertura y abundancia de la comunidad vegetal del litoral

Se utilizó un muestreo fitosociológico para estimar la abundancia y dominancia de las especies por medio de la cobertura (Westhoff y van der Maarel, 1978; Braun-Blanquet, 1979; Mateucci y Colma, 1982; Mostacedo, 2000). Se estimó la cobertura total de vegetación así como la cobertura por especie utilizando las clases de dominancia de Saito y Atobe (1970) (Cuadro 1) por medio de cuadrantes de 50 x 50 cm, divididos en 25 sectores de 10 x 10 cm y al mismo tiempo distribuidos a intervalos regulares dentro del transecto, realizándose 16 réplicas de estos (Figura 3).

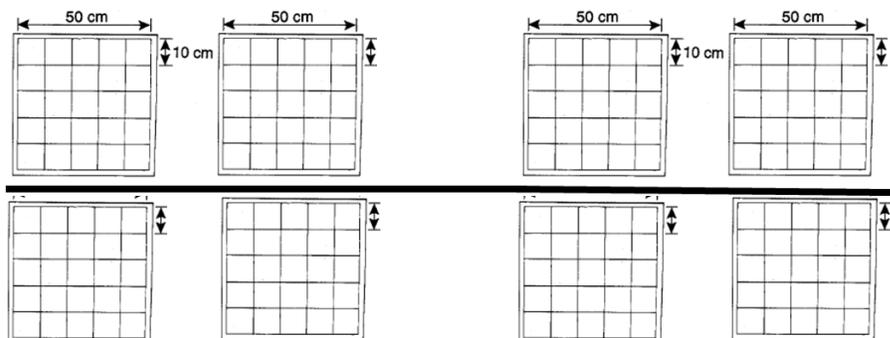


Figura 2. Representación gráfica de los transectos y cuadrantes en el muestreo.

Cuadro 1. Clases de cobertura definidas de cobertura por Saito y Atobe (1970).

Clase	Cantidad de sustrato cubierto	% de sustrato cubierto	Punto medio (%) M
5	½ a todo	50-100	75
4	¼ a ½	25-50	37.5
3	1/8 a ¼	12.5-25	18.75
2	1/16 a 1/8	6.25-12.5	9.38
1	> de 1 1/16	< 6.25	3.13
0	Ausente	0	0

La siguiente fórmula se usó para calcular la cobertura de especies en los cuadrantes:

$$C = \frac{\sum (M_i \times f_i)}{\sum f}$$

Dónde:

M_i= porcentaje del punto medio de la clase i

f= frecuencia (número de sectores con la misma clase de dominancia (i))

5.2 Índices ecológicos

Los métodos propuestos para evaluar la diversidad de especies se refieren a la diversidad dentro de las comunidades (α) basados en la cuantificación del número de especies presentes y en la estructura de la comunidad que, a nivel de sitio y zona se analizó mediante el programa Past (Hammer *et al.*, 2006). Para la medición de la diversidad alfa se describen los índices utilizados, su interpretación fue a través de la diversidad verdadera, mediante los números efectivos de especies de una comunidad (Moreno *et al.*, 2011).

Índice de Valor de Importancia (IVI)

Se calculo el IVI por especie con la formula:

$$IVI = [(F+C) / 2] \times 100$$

IVI = Índice de Valor de Importancia

F: Frecuencia

C: Cobertura

La frecuencia relativa de la especie es número de cuadros donde aparece la especie (*fi*), dividido entre el número total de cuadros muestreados (Σfi).

$$fi / \Sigma fi$$

La cobertura promedio de la especie en los cuadros donde aparece (*ni*) (según escala de cobertura abundancia), dividido entre la cobertura total del cuadro para todas las especies (Σni) (Moreno-Casasola *et al.*, 2010; Gallego-Fernández y Martínez, 2011; Hesp *et al.*, 2011).

$$ni / \Sigma ni$$

a) Diversidad Alfa α

Medición de la riqueza específica (S)

La riqueza específica o diversidad alfa es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de las mismas (Moreno, 2001), se obtiene a través de un inventario el cual es un censo de la comunidad que nos permite de

manera directa reconocer, ordenar, catalogar, cuantificar el número total de especies (S) (Noss, 1990).

Eficiencia de muestreo

En el inventariado de la diversidad biológica a menudo resulta imposible registrar la totalidad de las especies presentes en un área determinada (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003). La riqueza observada a partir de los muestreos (S obs) es una subestimación de la riqueza verdadera (López-Gómez y Williams-Linera, 2006). Para evaluar si el esfuerzo de muestreo fue suficiente para representar todas las especies observadas, se comparó mediante curvas de acumulación de especies esperadas. Se utilizaron métodos no paramétricos debido a que tienen un sesgo menor en la extrapolación basada en la curva de acumulación de especies (Gotelli y Colwell, 2001), los estimadores Jackknife2 y Chao2 fueron seleccionados de acuerdo a Hortal *et al.* (2006), obtenidos en el paquete estadístico **EstimateS 9.1.0** (Colwell, 2013).

Medición de la estructura de las comunidades

Índice de diversidad de Shannon-Weiner

El índice refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa.

Conceptualmente es una medida del grado de incertidumbre asociada a la selección aleatoria de un individuo en la comunidad (Pla, 2006).

Este índice se define como:

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

Dónde:

p_i = es la proporción de individuos en el total de la muestra que pertenecen a la especie i ,

\ln = es el logaritmo natural de p_i .

Índice de equidad de Pielou

El índice de equidad de Pielou (J') se utilizó para medir la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada (Torres-Huerta, 2008). Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Moreno, 2001).

$$J' = \frac{H'}{H' \max}$$

Dónde:

$H' \max = \ln(S)$

Índice de dominancia de Simpson

Manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influido por la importancia de las especies dominantes (Moreno, 2001). Se expresa mediante la fórmula:

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Dónde:

p_i = abundancia proporcional de la especie i , lo cual implica obtener el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra (Villarreal *et al.*, 2006).

Índice de diversidad Alfa Verdadera

Los datos obtenidos se analizaron con números efectivos (qD) que son las medidas utilizadas para medir la “diversidad verdadera”, este término definido por Jost (2006) mide la diversidad que tendría una comunidad integrada por i especies igualmente comunes. Los números efectivos se calculan de la siguiente manera:

$${}^qD = \left(\sum_{i=1}^S p_i^q \right)^{1/(1-q)}$$

Dónde:

qD : diversidad

p_i : proporción de individuos en el total de la muestra que pertenecen a la especie i

q: constante que determina que tanto influyen las especies comunes o las especies raras en la medida de la diversidad verdadera.

Tomando en cuenta que el exponente **q** puede tomar cualquier valor, se describe el exponente **q es igual a 0** o diversidad de orden cero es completamente insensible a las abundancias de las especies; por lo tanto, el valor obtenido equivale simplemente a la riqueza de especies, cuando el valor de **q es mayor a 1** indica que se sobrevaloran las especies raras; cuando **q es igual a 1**, todas las especies son incluidas con un peso exactamente proporcional a su abundancia en la comunidad; los valores de **q es menor a 1**, toman más en cuenta las especies comunes (Moreno *et al.*, 2011).

El análisis de la diversidad verdadera se efectuó a nivel sitios con el valor de ^q**D** de orden 1 para comparar el número efectivo de especies entre dunas costeras. El número efectivo de especies, como unidades de medición de la diversidad verdadera se calculó con la siguiente fórmula propuesta por Jost (2006):

$${}^1D = \exp (H')$$

b) Diversidad Beta

La diversidad beta ó diversidad entre hábitats es el grado de reemplazamiento de especies o cambio biótico a través de gradientes ambientales, su medición está basada en proporciones o diferencias que pueden evaluarse con base en índices o coeficientes de similitud, de disimilitud o de distancia entre las muestras a partir

de datos cualitativos ó cuantitativos (Moreno, 2001). La diversidad beta se determinó a nivel de sitios, mediante los coeficientes de similitud de Jaccard y Bray Curtis, dicho análisis se realizó en el paquete estadístico Past (Hammer *et al.*, 2001).

Coeficiente de similitud de Jaccard

El índice de similitud de Jaccard utiliza con datos cualitativos de presencia y ausencia de especies o números binarios, se representa por medio de un dendrograma y se calcula de la siguiente manera:

$$I_J = \frac{c}{a+b-c}$$

Dónde

a = número de especies presentes en el sitio A

b = número de especies presentes en el sitio B

c = número de especies presentes en ambos sitios A y B

Coeficiente de similitud de Bray Curtis

El índice de Bray parte de la abundancia proporcional de cada especie medida como número de individuos, biomasa, densidad, cobertura etc., ó datos cuantitativos, se calcula de la siguiente manera:

$$B = \frac{\sum_{i=1}^s |X_{ij} - X_{ik}|}{\sum_{i=1}^s [X_{ij} + X_{ik}]}$$

Dónde:

B = medida de Bray-Curtis entre las muestras **j** y **k**

X_{ij} = número de individuos de la especie **i** en la muestra **j**

X_{ik} = número de individuos de la especie **i** en la muestra **k**

s = número de especies

5.3 Evaluación de vulnerabilidad

Durante los recorridos con las listas de control, se identificaron las principales actividades primarias, secundarias y terciarias que se desarrollan sobre el litoral de Tuxpan y al mismo tiempo dan origen a construcciones permanentes y efímeras. Los datos sobre la composición de la vulnerabilidad y la vegetación fueron recogidos durante el trabajo de campo, en cada sitio, la playa y la vulnerabilidad de la duna primaria fueron evaluados siguiendo un listado técnico (Apéndice 3) García-Mora *et al.*, 2001; Williams *et al.*, 2001; Martínez *et al.*, 2006). Este se divide en cinco grupos con un total de 42 variables. En concreto, cada variable incluye elementos clave para la playa y la vulnerabilidad de dunas costeras:

- Condiciones geomorfológicas (CG, ocho variables). La tipología y extensión de las dunas costeras (longitud, amplitud y altura), incluye una evaluación general del balance de sedimentos.

- Influencia Marina (IM, ocho variables): variedad de las olas (altura, longitud y energía) amplitud de la marea; orientación costera; pendiente de la playa y tamaño de la arena.
- Influencia eólica (IA, nueve variables): influencia del viento sobre la dinámica del sedimento. Con alto abastecimiento de sedimento, desarrollo de dunas primarias, pero en depresión erosiva es movida al interior.
- Condición vegetal (CV, diez variables): basados en García-Mora *et al.* (1999), se consideraron tres tipos funcionales de plantas: tipo I: plantas sin presuntas adaptaciones al ambiente dunar; tipo II plantas con adaptaciones al estrés ambiental costero, así como salinidad y tipo III plantas que toleran el enterramiento. De acuerdo a Martínez *et al.* (2006) no se incluyen los atributos perennes o anuales debido a que son muy pocas especies que habitan en la zona costera de México.
- Efecto humano (EH, 17 variables). Los efectos antropogénicos sobre la playa y duna primaria fueron divididos en efímeros (instalaciones al aire libre, sitios para acampar y senderos) y permanentes (caminos, casas, hoteles, tiendas y restaurantes).

Cada variable se transformo en valores semi-cuantitativos con una escala que oscila de 0 (bajo) a 4 (el más alto).

5.4 Analisis estadístico

Diversidad

Para definir la existencia de diferencias en los valores de riqueza y cobertura entre sitios se realizó un análisis de varianza de una vía con un nivel de confianza de 95% entre sitios de muestreo, para esto se utilizó el programa STATGRAPHICS plus 5.1.

Índice de Vulnerabilidad

Siguiendo la técnica de García-Mora *et al.* (2001) a cada grupo de variables (GC, IM, IE, CV, PH), se obtiene la sumatoria de los valores por sitio, después se divide entre la suma máxima alcanzable dentro de cada grupo de variables. Esto da como resultado un índice de vulnerabilidad parcial expresado como un porcentaje (0-100 %), lo cual permite que cada índice oscile entre 0 y 1, (1 representa el 100 %) y como el índice aumenta, disminuye la capacidad de un sistema de dunas para soportar nuevas perturbaciones (García-Mora *et al.*, 2001; Martínez *et al.*, 2006). El índice de vulnerabilidad se obtuvo mediante el cálculo de la media de los cinco índices de la siguiente ecuación:

$$VI = (GC + MI + AI + VC + HE)/5$$

La matriz con las cinco variables (índices de vulnerabilidad parcial obtenidos de CG, IM, IE, CV, PH), y los diez sitios fueron sometidos a clúster análisis con el fin de agrupar sitios de características similares. Para verificar si existen diferencias significativas entre grupos se realizó un Analisis de varianza de una vía, con un

nivel de confianza del 95 % (García-Mora *et al.*, 2001; Williams *et al.*, 2001; Martínez *et al.*, 2006).

VI. RESULTADOS

6.1 Inventario de las especies de las dunas costeras

La flora de las dunas costeras del municipio de Tuxpan, estuvo representada por 25 familias, 52 géneros y 54 especies. Las familias con mayor riqueza fueron: Fabaceae con 13 especies, Poaceae con ocho y Asteraceae con cinco (Cuadro 2). El estrato herbáceo fue el mejor representado con 34 especies (68.46 %) seguido del estrato arbustivo y arbóreo con 20.37 y 11.11 % respectivamente. De acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 las especies *Conocarpus erectus*, *Rhizophora mangle* y *Erythrina coralloides* se reportan en la categoría de amenazada. *Spiranthes torta* está sujeta a protección especial y se encuentra en el Apéndice II de CITES.

Cuadro 2. Lista de especies registradas a lo largo de los 10 sitios de Tuxpan. Los números árabes indican los sitios: **Norte: I:** Barra Galindo, **II:** Emeterio Ruíz, **III:** Simeón Loredo, **IV:** Playa Azul. **Sur: V:** Playa 5, **VI:** San Carlos, **VII:** Cuatro Ciénegas, **VIII:** Benito Juárez, **IX:** Villamar, **XIX:** Punta de Piedra. Los autores se abreviaron de acuerdo con Brummit y Powell (1992).

Estrato arbustivo	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
<i>Acacia cornigera</i> (L.) Willd.					x	x			x	
<i>Caesalpinia bonduc</i> (L.) Roxb.								x	x	x
<i>Cassia chamaecrista</i> Miller ex Benth.				x						
<i>Cassia fasciculata</i> Michx.								x		
<i>Chamaecrista chamaecristoides</i> (Collad.) Greene				x					x	
<i>Crotalaria incana</i> L.					x	x		x		x
<i>Croton punctatus</i> Jacq.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Erythrina coralloides</i> DC.								x		x
<i>Hibiscus tiliaceus</i> L.		x			x			x	x	x

Estrato arbustivo	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
<i>Opuntia stricta</i> (Haw.) Haw.						X		X	X	X
<i>Randia laetevirens</i> Standl.		X			X	X	X	X	X	X
Estrato arbóreo										
<i>Chrysobalanus icaco</i> L.									X	
<i>Coccoloba uvifera</i> (L.) L.	X	X		X	X		X	X	X	X
<i>Conocarpus erectus</i> L.								X		X
<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunt ex Walp.		X								
<i>Psidium guajava</i> L.										X
<i>Rhizophora mangle</i> L.										X
Estrato herbáceo										
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.		X	X	X	X			X		
<i>Alysicarpus vaginalis</i> (L.) DC.									X	
<i>Arundo donax</i> L.	X	X	X	X	X			X	X	X
<i>Bidens bigelovii</i> A. Gray			X							
<i>Bidens pilosa</i> L.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Borrichia frutescens</i> (L.) DC.								X	X	X
<i>Bromelia pinguin</i> L.								X	X	X
<i>Bromus squarrosus</i> L.							X	X		
<i>Cakile geniculata</i> (B.L. Rob.) Millsp.		X		X			X	X	X	X
<i>Cenchrus echinatus</i> L.		X		X	X			X	X	
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	X			X					X	
<i>Cyperus ligularis</i> L.									X	
<i>Desmodium incanum</i> (Sw.) DC.									X	
<i>Eupatorium odoratum</i> L.		X		X		X	X	X	X	X
<i>Festuca glauca</i> Vill.	X	X			X	X		X	X	
<i>Chamaesyce glyptosperma</i> (Engelm.) Small	X		X		X	X	X	X	X	X
<i>Heliotropium curassavicum</i> L.										X
<i>Hydrocotyle bonariensis</i> Lam.	X		X		X	X			X	
<i>Lippia nodiflora</i> (L.) Michx.		X			X	X	X	X	X	X
<i>Mimosa pudica</i> L.									X	
<i>Oenothera drummondii</i> (Spach) Walp.					X	X	X	X		X
<i>Palafoxia lindenii</i> A. Gray.		X		X		X		X		
<i>Paspalum vaginatum</i> Sw.									X	
<i>Phyllanthus niruri</i> L.				X	X	X				X
<i>Sesuvium portulacastrum</i> (L.) L.		X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Sida rhombifolia</i> L.					X				X	
<i>Smilax spp</i> L.									X	X
<i>Spiranthes torta</i> Raf.								X		
<i>Sporobolus virginicus</i> (L.) Kunth	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Estrato herbáceo	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
<i>Stachytarpheta angustifolia</i> (Mill.) Vahl					x			x		
<i>Stachytarpheta jamaicensis</i> (L.) Vahl								x	x	
<i>Uniola paniculata</i> L.		x								x
<i>Vigna luteola</i> (Jacq.) Benth.				x						
<i>Macroptilium atropurpureum</i> (Moc. & Sessé ex DC.) Urb.					x					
Estrato rastrero										
<i>Canavalia maritima</i> Thouars	x	x		x			x	x	x	x
<i>Ipomoea pes-caprae</i> (L.) R. Br.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Ipomoea stolonifera</i> (Cirilo) J.F. Gmel.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

6.2 Índice de Valor de Importancia

Las especies dominantes en el sistema de dunas de acuerdo a su valor de importancia son *I. pes-caprae* (73.97), *R. laetevirens* (72.97), *I. stolonifera* (69.10), *E. odoratum* (43.46), *C. punctatus* (38.28) y *C. maritima* (37.39) (Figura 4).

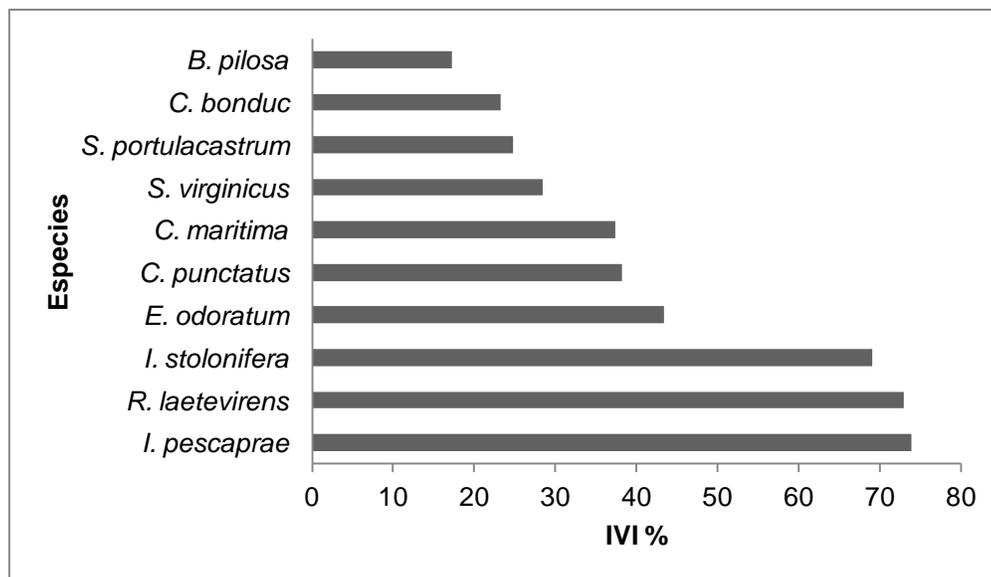


Figura 3. Índice de Valor de Importancia de las especies vegetales de las dunas costeras.

6. 3 Eficiencia del muestreo

La curva de acumulación de especies muestra una tendencia a la asíntota, es decir que el esfuerzo de muestreo fue suficiente para representar el número de especies presentes en las dunas costeras, a través de los estimadores, Jackknife 2 y Chao 2 (Figura 5). Estos estimadores constituyen el 83.07 % de representatividad.

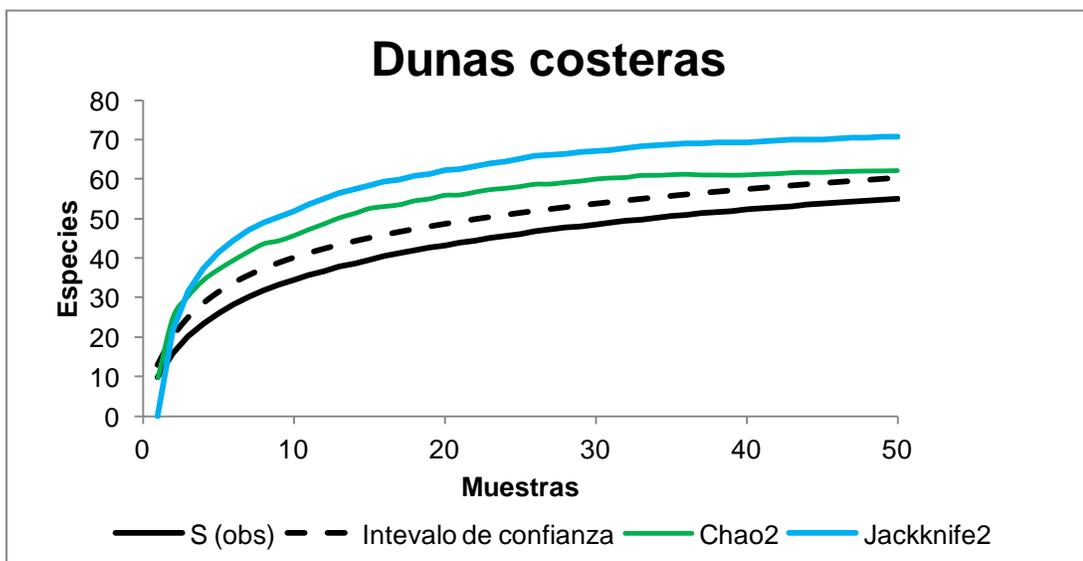


Figura 4. Valores de la riqueza observada (Sobs) y riqueza esperada de los estimadores Chao2 y Jackknife2 de las dunas costeras.

6.4 Caracterización de las dunas costeras de Barra norte

Sobre las dunas costeras de Barra norte se encuentran las localidades de Barra Galindo, Simeón Loredó, Emeterio Ruiz y Playa Azul. La cercanía de estos sistemas dunares a la zona urbana facilita el acceso a los turistas a estos sistemas. Tienen una playa cuya amplitud promedio va de 40 a 50 m, esto permite la entrada a los vehículos particulares o públicos. El sistema dunar de esta zona presentó una extensión de 50 m a partir del primer cordón de dunas, aquí se aprecian dunas embrionarias y erosionadas. La altura de las dunas va de 1.5 a 2 m.

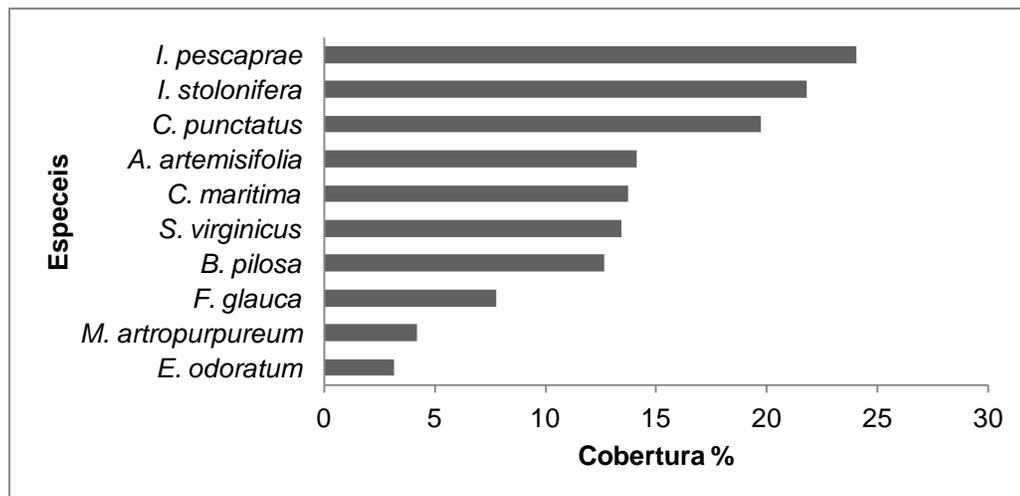


Figura 5. Composición florística y cobertura vegetal de las dunas que conforman la parte norte del litoral de Tuxpan.

Detrás de las dunas existe una barrera de *C. equisetifolia* paralela a la línea de costa. La plantación de esta especie va desde Barra Galindo hasta las cercanías del Río Tuxpan. Sobre las dunas de Barra norte habitan especies de estrato

rastrero y herbáceo principalmente. El sistema dunar de cada sitio se caracterizó por la dominancia de especies diferentes, las cuales son *C. maritima*, *I. stolonifera*, *Croton punctatus* y *A. artemisifolia* (Figura 6).

6.5 Caracterización de las dunas costeras de Barra sur

Las dunas costeras de Barra sur se estudiaron en los límites al próximo puerto profundo donde se ubicó la Playa 5 y estas continúan por Cuatro Ciénegas, San Carlos, Benito Juárez, Villamar hasta finalizar en Punta de Piedra en las cercanías al estero de Juan González. El acceso está restringido debido a que estos lugares están más alejados de la zona urbana. Estos sitios cuentan con una playa estrecha y su amplitud varía de 15 a 25 m aproximadamente. A diferencia de las playas de Barra norte es imposible el tránsito de casi cualquier vehículo, a excepción de las motocicletas y cuatrimotos, incluso por la gran cantidad de materia orgánica arrojada por el oleaje dificulta los recorridos a pie.

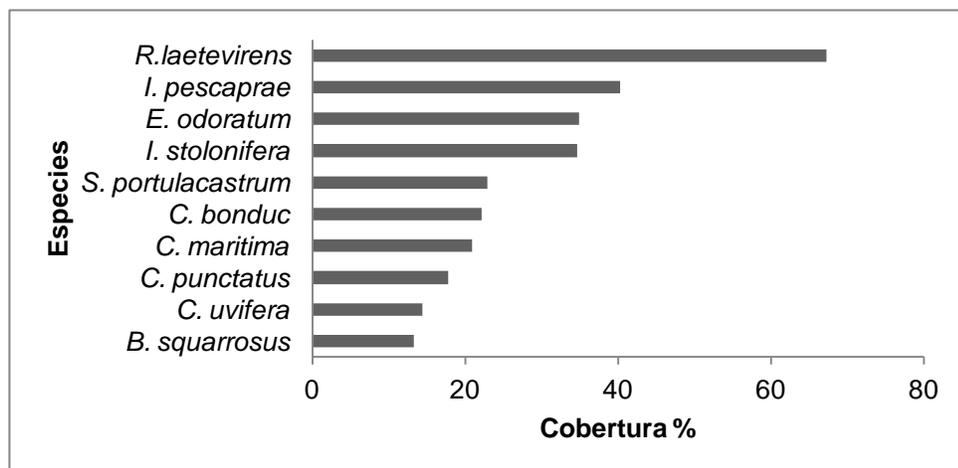


Figura 6. Composición florística y cobertura vegetal de las dunas ubicadas en la parte sur del litoral de Tuxpan.

Las dunas de esta zona son embrionarias, fijas, estables y erosionadas, alcanzan una extensión de hasta 30 m a partir del primer cordón de dunas y una altura de uno a cinco metros aproximadamente. Existen plantaciones de *C. equisetifolia*, estas se ubican desde la Playa 5 hasta Villamar. En algunos segmentos de la playa, la barrera de *C. equisetifolia* ha disminuido por el fuerte oleaje, lo que implica una pérdida tanto de la playa como de las dunas. También se observan algunas plantaciones cocoteras.

Las especies dominantes son del estrato rastrero, herbáceo y arbustivo. Se observó la dominancia de diferentes especies en cada sistema dunar. Para la Playa 5 la especie dominante es *S. portulacastrum*, en las dunas de San Carlos y Benito Juárez dominan las rastreras del género *Ipomoea spp.* Entre las especies arbustivas dominantes se encuentran *R. laetevirens* en Cuatro Ciénegas y Villamar y *C. bonduc* en Punta de Piedra (Figura 7). La distribución de estas especies se limita a las dunas fijas o estables. La especie arbórea *C. uvifera* y los arbustos *O. stricta* e *H. tiliaceus* fueron registrados, estas dos últimas especies no se registraron en las dunas del norte (Cuadro 2).

6.6 Atributos ecológicos de las dunas costeras

a) Riqueza

La riqueza en las dunas costeras de Tuxpan va de cinco hasta 22 especies (Figura 8b). En general, existe un mayor número de especies en la dunas del sur comparadas con las del norte (Figura 8a) para las cuales se detectaron diferencias significativas ($F=18.06$; $P=0.0001$). De manera particular la duna de Benito Juárez mostró un valor más alto de riqueza y playa Barra Galindo el más bajo ($F=15.22$, $P=0.0001$) (Figura 8b).

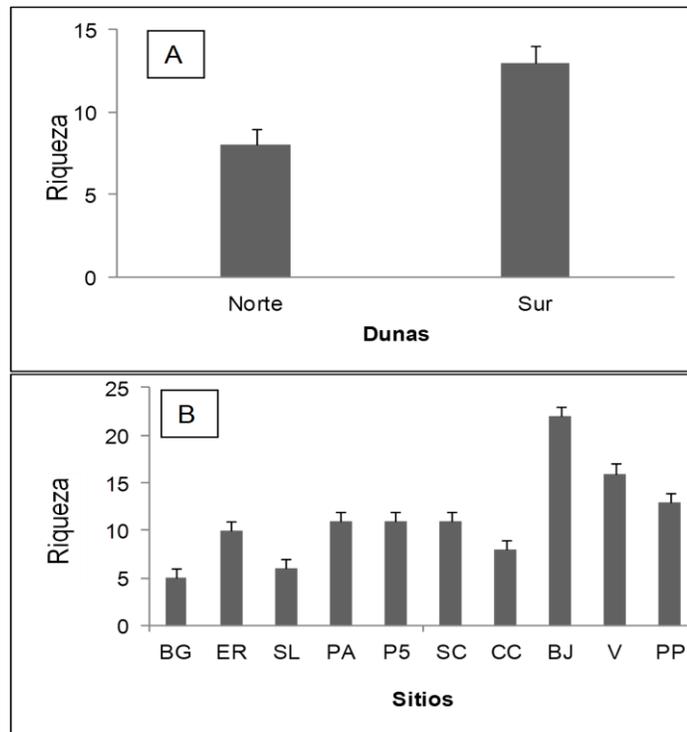


Figura 7. **A)** Riqueza específica en las dunas de Barra Norte y Barra Sur. **B)** Riqueza específica de las dunas en los sitios. Las líneas corresponden a la desviación estándar. **Norte:** BG: Barra Galindo; ER: Emeterio Ruiz; SL: Simeón Loredó; PA: Playa Azul; **Sur:** P5: Playa 5; SC: San Carlos; CC: Cuatro Ciénagas; BJ: Benito Juárez; V: Villamar; PP: Punta de Piedra.

b) Cobertura

Las estimaciones de la cobertura vegetal en las dunas del municipio de Tuxpan, Veracruz, establecieron que existe una mayor cobertura en la parte sur ($12\pm 3\%$) con respecto al norte ($7\pm 2\%$) (Figura 9) y éstas reflejaron diferencias significativas ($F=9.55$; $P=0.003$). El análisis particular manifestó valores mayores para las dunas de Benito Juárez, Cuatro Ciénegas y San Carlos mientras que, los valores más bajos correspondieron a las dunas de Emeterio Ruíz, Simeón Loredo y Barra Galindo.

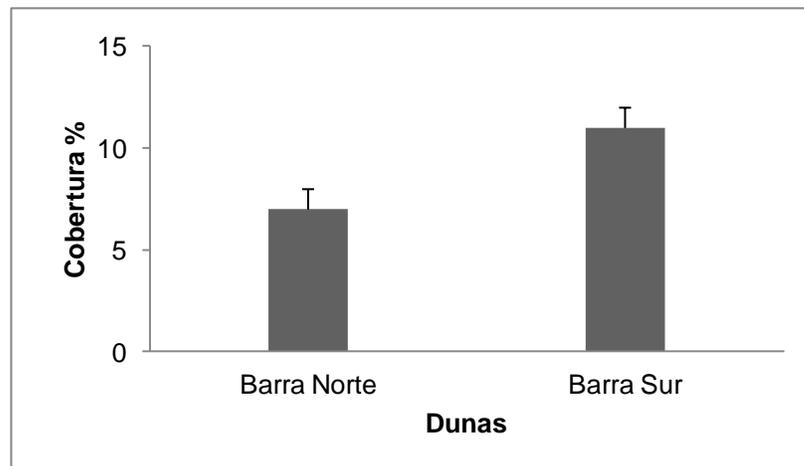


Figura 8. Cobertura vegetal de las dunas de la zona norte y sur del municipio de Tuxpan, Veracruz. Las líneas corresponden a la desviación estándar.

Destacó la mayor cobertura de Playa Azul ubicada en la parte norte en comparación con el resto de las dunas de esta zona (Figura 10). El ANOVA mostró diferencias significativas entre las dunas de Barra norte y las del sur ($F=3.42$; $P=0.003$), donde las dunas de Barra Galindo, Emeterio Ruiz, Simeón Loredo, Villamar y Punta de Piedra fueron los valores de cobertura significativamente más bajos que el resto.

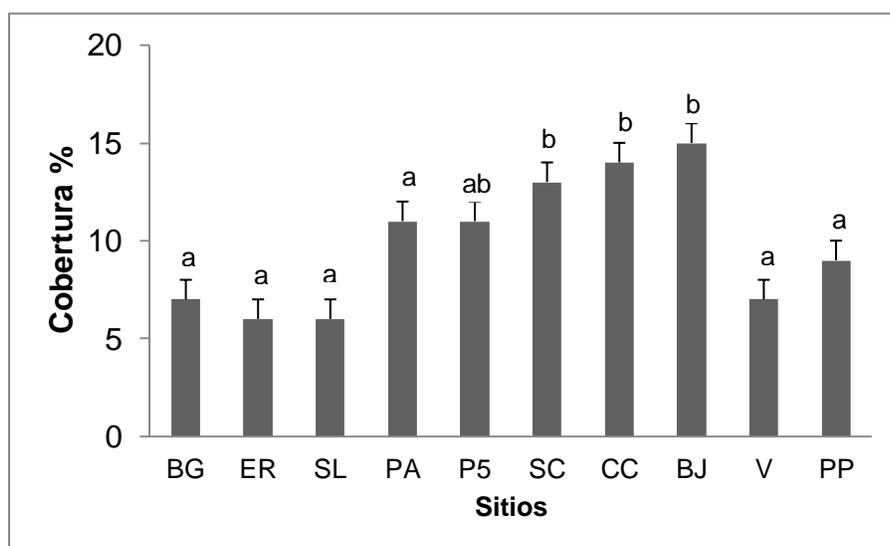


Figura 9. Cobertura vegetal de las dunas del litoral de Tuxpan, Veracruz. **BG**: Barra Galindo; **ER**: Emeterio Ruiz; **SL**: Simeón Loredo; **PA**: Playa Azul; **P5**: Playa 5; **SC**: San Carlos; **CC**: Cuatro Ciénagas; **BJ**: Benito Juárez; **V**: Villamar; **PP**: Punta de Piedra. Las líneas corresponden a la desviación estándar.

El índice de diversidad de Shannon-Weiner (H') fue más alto en la duna de Benito Juárez en el sur (2.89), y más bajo en Simeón Loredo (1.60), duna del norte (Figura 11). El Anova detectó que las diferencias entre sitios son significativas ($F=13.37$, $P=0.0001$) al igual que la dominancia ($F=8.45$, $P=0.0001$), mientras que los valores de equitatividad (J') van de .566 a .716.

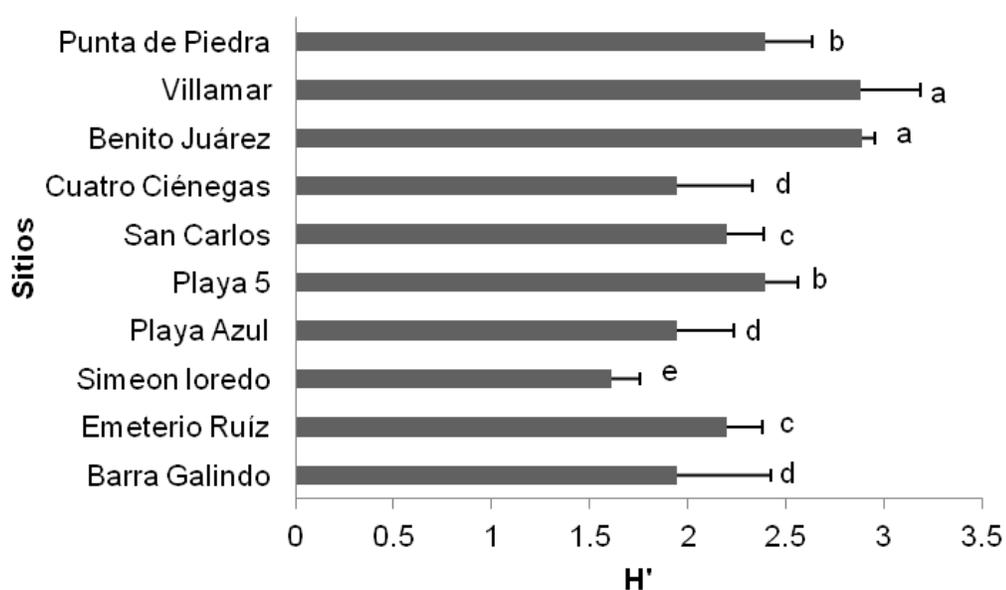


Figura 10. Índice de diversidad de Shannon y Weiner (H'). Las letras similares no fueron estadísticamente diferentes. Las líneas corresponden a la desviación estándar.

c) Medición de la Diversidad verdadera

Diversidad de orden 1: Contrastando las dunas costeras se registró una mayor diversidad en Benito Juárez presentando mayor diversidad en especies efectivas (6.98), siendo más diverso que Punta de Piedra (1.54), San Carlos (1.63) y Simeón Loredo (1.93), es decir Simeón Loredo tiene 51.57 % de diversidad de la que tiene Benito Juárez (Cuadro 3).

Cuadro 3. Números efectivos de especies en los sitios de muestreo.

Sitio	q ¹	Comparación	% Diversidad
S Benito Juárez	6.98		100
N Emeterio Ruíz	6.03	1.15	86.39
S Villamar	5.86	1.19	83.95
S Cuatro Ciénegas	5.67	1.23	81.23
N Playa Azul	5.62	1.24	80.51
S Playa 5	5.34	1.3	76.50
N Barra Galindo	5.21	1.33	74.64
S Punta de Piedra	4.52	1.54	64.75
S San Carlos	4.27	1.63	61.17
N Simeón Loredo	3.60	1.93	51.57

d) Diversidad Beta β

El análisis de similitud de Jaccard considerando un corte al 40 %, arrojó la formación de tres grupos en la vegetación de las dunas costeras, el primero corresponde al conjunto de dunas que pertenecen a la parte sur donde la riqueza de especies es más alta y un segundo y tercer grupo que reúne a las dunas del norte (Figura 12).

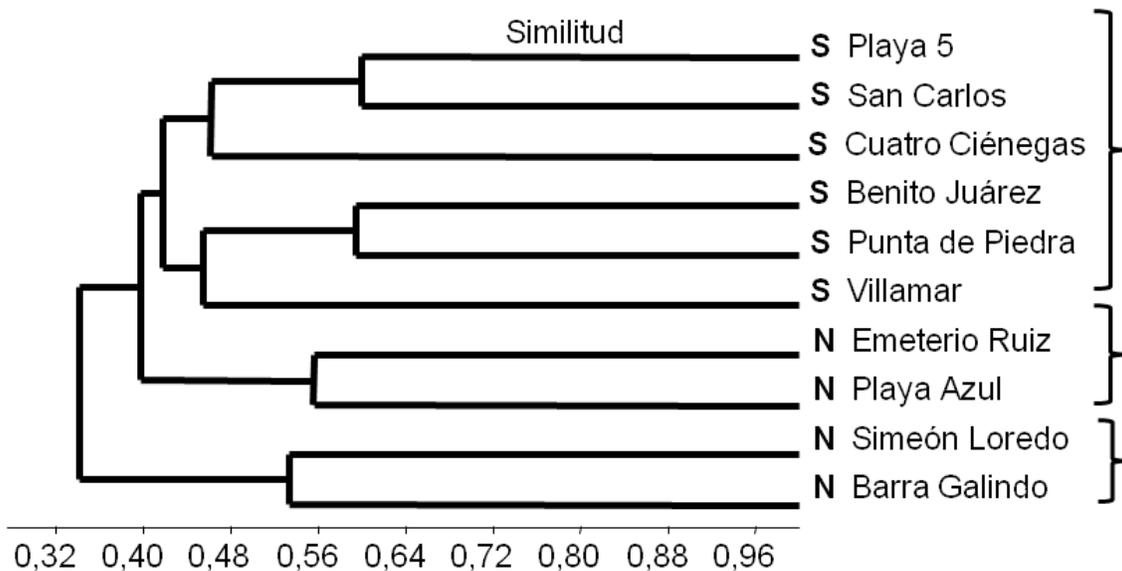


Figura 11. Similitud de las comunidades vegetales de los sistemas dunares de Tuxpan. Sitios: **N**: Norte, **S**: sur.

El análisis de similitud de Bray-Curtis considerando un corte al 28 % reveló la formación de cuatro grupos, los dos primeros formados por playas de la Barra sur: San Carlos-Cuatro Ciénegas; Villamar y Punta de Piedra; una tercera agrupación de Playa 5, Benito Juárez, Emeterio Ruiz, Playa Azul y Barra Galindo. Simeón Loredo es parte del cuarto y último grupo (Figura 13).

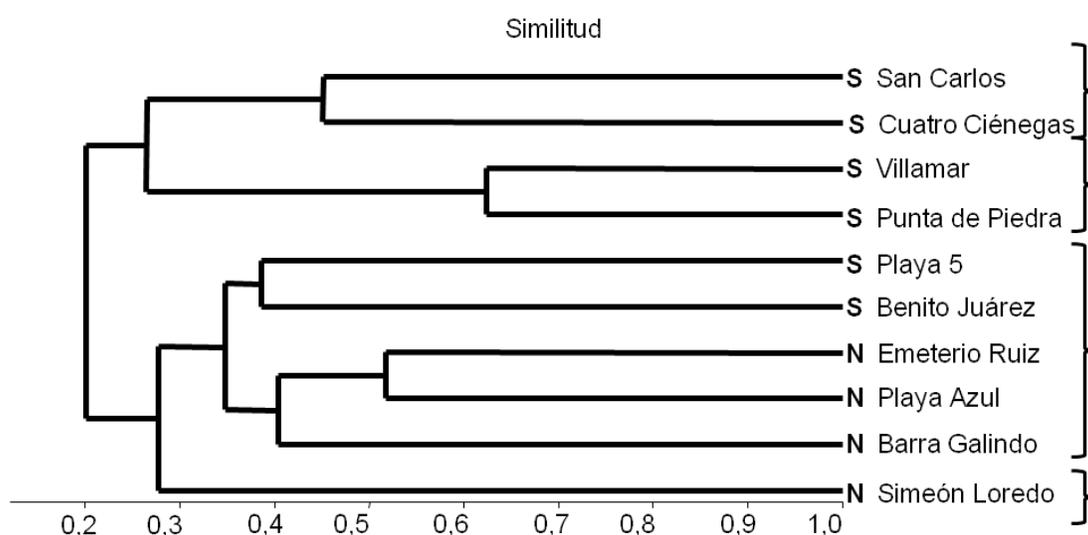


Figura 12. Similitud florística basada en Bray-Curtis en las dunas costeras de Tuxpan. **N:** Norte, **S:** Sur

6. 7 Actividades económicas

Entre las actividades económicas productivas que se desarrollan en el litoral de Tuxpan y que a su vez afectan a las dunas costeras se encuentran las primarias, secundarias y terciarias. Las actividades primarias se llevan a cabo en Barra Galindo, Simeón Loredo y Emeterio Ruiz donde la pesca es la fuente de ingresos económicos. La ganadería y la agricultura se presenta en Playa 5, San Carlos y Cuatrociénegas, Villamar y parte de Punta de Piedra, en este último la actividad es menos intensa.

Las actividades secundarias que se llevan a cabo en Playa Azul, Benito Juárez y Villamar son la Termoeléctrica y la Gasera Tomsa. Las actividades terciarias se observan en Emeterio Ruiz y Playa Azul donde el comercio, la zona hotelera y de restaurantes son notables. Los servicios educativos y médicos comienzan a desarrollarse rápidamente en Barra Galindo por la demanda de estos.

6.8 Índice de vulnerabilidad

Siguiendo la escala de García-Mora *et al.* (2001), el sistema dunar de Tuxpan en general tiene un Índice de Vulnerabilidad medio (0.44). De acuerdo al IV parcial las dunas con vulnerabilidad alta es Playa Azul (0.53) ubicada en el norte y con el IV bajo son las de Punta de Piedra (0.39) en el sur (Cuadro 4). No existen diferencias significativas entre las dunas con respecto a sus condiciones costeras ($F= 0.43$, $P=0.908$). El análisis clúster reveló la formación de tres grupos (Figura 14).

Cuadro 4. Valores parciales y totales del índice de vulnerabilidad, calculado para los 10 sitios localizados a lo largos de la línea costera de Tuxpan. **CG**=condición geomorfológica, **IM**=influencia marina, **IE**=influencia eólica, **CV**=cobertura vegetal, **PH**=presión humana, **IV**=índice de vulnerabilidad. Los valores más altos para el IV por sitio se resaltan.

Sitio	CG	IM	IE	CV	PH	Índice de Vulnerabilidad
Barra Galindo	0.52	0.4	0.23	0.55	0.42	0.42
Emeterio Ruiz	0.5	0.4	0.23	0.53	0.41	0.41
Simeón Loredo	0.48	0.43	0.2	0.48	0.45	0.40
Playa Azul	0.59	0.58	0.45	0.55	0.46	0.53
Playa 5	0.5	0.48	0.35	0.5	0.24	0.41
San Carlos	0.57	0.58	0.38	0.5	0.25	0.46
Cuatro Ciénegas	0.57	0.58	0.38	0.58	0.26	0.47
Benito Juárez	0.59	0.5	0.38	0.58	0.2	0.45
Villamar	0.68	0.63	0.4	0.55	0.16	0.48
Punta de Piedra	0.43	0.55	0.33	0.5	0.16	0.39

a) Descripción de los sitios con base al Índice de vulnerabilidad

El primer grupo conformado por Barra Galindo, Emeterio Ruiz y Simeón Loredo presentaron un amplio abasto de sedimentos lo que permite la formación de dunas embrionarias. Su playa alcanza los 50 m de amplitud y las dunas embrionarias alcanzan los 40 m. Se distinguen actividades antrópicas como la eliminación de la vegetación para la creación de parcelas y la siembra de especies exóticas como (*C. equisetifolia*) y comerciales (*Cocos nucifera*). El fácil acceso permite la llegada a estos sitios, donde el paso de vehículos y la frecuencia de visitantes van de moderado a alto (Cuadro 5).

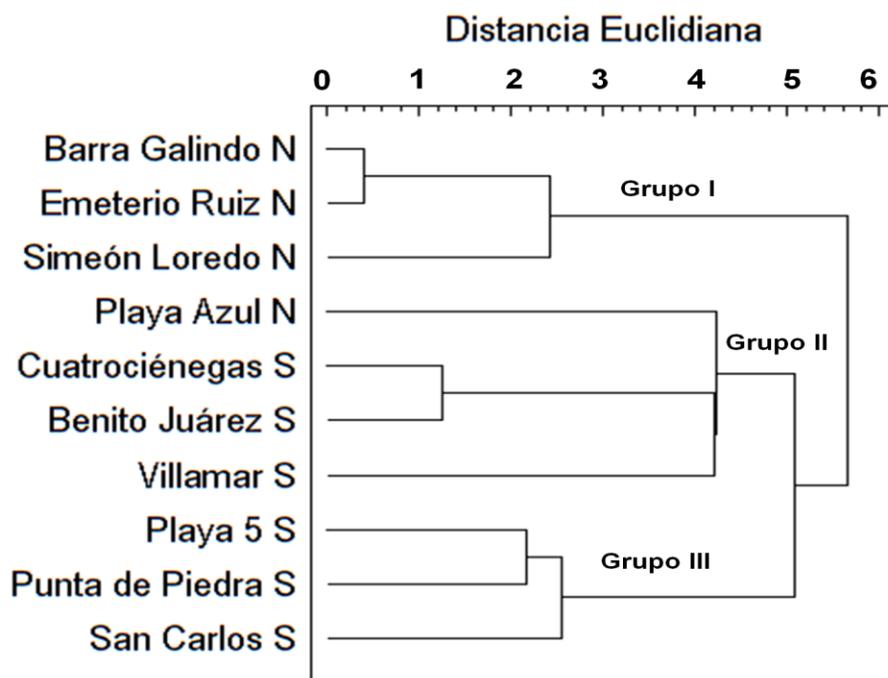


Figura 13. Clasificación de los 10 sitios de muestreo de acuerdo a su índice de vulnerabilidad parcial. **N:** Norte, **S:** Sur

Las estructuras permanentes que se observan en estos sistemas dunares son hoteleras y viviendas particulares así como una escollera hecha a base de bolsacreto, esta fue construida en la bocana de la salida norte de la laguna de Tampamachoco a finales de los 70'. Por último la construcción de los servicios básicos como alumbrado público y escuelas. Entre las estructuras efímeras están cercos vivos y posteados que indican propiedades privadas o de jurisdicción federal.

Existe una estructura forestal que brinda los mismos servicios ambientales que el pino de mar (*C. equisetifolia*), pero es notorio el cambio de uso de suelo que ha influido en el desplazamiento de esta. Los habitantes de estos lugares han observado que las dunas costeras alcanzan una altura de cinco metros. Asimismo mencionan que la barrera de *C. equisetifolia* ha disminuido a causa del oleaje.

Las dunas costeras de Playa azul, Cuatrociénegas, Benito Juárez y Villamar conforma el segundo grupo, estas se caracterizan por la alta presión humana, construcciones permanentes industriales como la termoeléctrica en el norte, la gasera en el sur y brechas que permiten la llegada a estos lugares. Constan de una playa angosta, lo que provoca un déficit de sedimentos (Cuadro 5).

En Playa Azul la presión humana se hace a través del turismo, en comparación con las otras dunas, este es más alto. La presión es tanto a pie como con transporte mismo que puede ser introducido hasta la playa. Esto ha originado el establecimiento de restaurantes y zonas de recreación como parques. Además

existen cerca de 17 espigones, una escollera y una boca de toma de la termoeléctrica y es el sitio más cercano a la zona urbana.

En las cercanías a la termoeléctrica no presenta dunas embrionarias, y el aporte de sedimentos no es suficiente debido a la pérdida parcial de su playa. Las acciones que se realizan para recuperar esa playa es la entrada de arena proveniente del desazolve de la boca de toma de la termoeléctrica, transportada con camiones cuya finalidad es recuperar los 70 m de amplitud de playa que perdieron.

Conforme se avanza hacia la desembocadura del Río Tuxpan, se encuentran aproximadamente 17 espigones, distribuidos a lo largo de la playa. La playa se ve disminuida por la migración de sedimentos, asimismo, sobre las dunas existen zonas de restaurantes y viviendas.

En las cercanías a la desembocadura del río Tuxpan la playa presenta una amplitud de casi 80 m, detrás de esta se aprecia la construcción de restaurantes y parques recreativos, sin embargo el abastecimiento de la arena proveniente de la playa junto con la acción eólica ha impulsado el proceso de saltación que da origen a las dunas embrionarias, cubriendo así parte de las estructuras permanentes que fueron construidas para beneficio económico.

En Cuatrociénegas, Benito Juárez y Villamar presentan caminos construidos por detrás de la barrera de *C. equisetifolia*. Esta barrera ha sido disminuida por la fuerza del oleaje. Constan de playas angostas lo que provoca un déficit

sedimentario. El tránsito vehicular sobre la playa es imposible, solo entran cuatrimotos en algunos casos. Aunque los habitantes de estos sitios mencionan que el turismo es alto y procede de diferentes partes de la república, se observa poca frecuencia de turistas. Estos sitios están retirados de la zona urbana y el acceso a estos es difícil.

El tercer grupo se encuentran la Playa 5, San Carlos y Punta de Piedra, sus características principales no difieren mucho del grupo dos. Las dunas de San Carlos están más próximas al futuro puerto profundo de Tuxpan. Estas zonas son de uso ganadero, aunque en Punta de Piedra este es bajo. Cercano a punta de piedra o al estero de Juan González existe una longitud de playa de un km aproximadamente cubierta por una gran cantidad de carbonato de calcio, que es saqueado para elaborar artesanías. La cantidad de materia orgánica que llega a estas playas es alta en comparación con las demás, principalmente en Punta de Piedra donde el tránsito a pie es difícil. Además es importante mencionar que no existen construcciones permanentes como espigones y escolleras (Cuadro 5).

Cuadro 5. Evaluación de los impactos ambientales en los diferentes sitios costeros. **Norte:** I: Barra Galindo, II: Emeterio Ruíz, III: Simeón Loredó, IV: Playa Azul. **Sur:** V: Playa 5, VI: San Carlos, VII: Cuatro Ciénegas, VIII: Benito Juárez, IX: Villamar, XIX: Punta de Piedra. **0:** Nulo, **2:** Moderado, **4:** Alto.

Variable	Grupo I			Grupo II				Grupo III		
	I	II	III	IV	VI	VIII	IX	V	VII	X
Fragmentación del sistema dunar	2	2	2	4	2	4	4	4	2	0
Aporte de sedimento	4	4	4	0	2	2	4	2	2	4
Altura del sistema dunar costero (m)	>5	>5	>5	>5	>1	>5	>5	>5	>1	>5
% de la superficie de la playa cubierto por residuos orgánicos	>5	>5	>5	>5	>5	>50	>50	>50	>5	>50
% de la superficie de la playa con cobertura de conchas	<25	<25	<25	<25	<25	<50	<50	<25	<25	<50
% eliminación antropica de cobertura vegetal	>25	>25	>25	>75	>50	>50	>25	>50	>50	>25
Frecuencia de visitantes	2	2	2	4	0	0	0	0	0	0
Dificultad de acceso	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4
Tránsito de vehículos sobre el sistema dunar activo	2	2	2	2	2	0	0	2	2	0
Tránsito de vehículos sobre la playa seca	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0
Paseos a caballo sobre el sistema dunar	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Frecuencia de limpieza de la playa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% infraestructuras permanentes	<75	<75	>75	>75	<50	0	0	<50	<75	0
% infraestructuras temporales	<25	<25	<50	<50	<25	<25	<25	<25	<25	0
Pastoreo en el sistema dunar activo	0	0	0	0	2	2	0	2	2	0

VII. DISCUSIÓN

Riqueza

Adquirir el conocimiento florístico de cualquier lugar es un proceso lento, acumulativo (Fernández-Carnevali *et al.*, 2012) y a nivel de ambientes particulares las aportaciones taxonómicas de la flora mexicana son escasas (Castillo y Moreno-Casasola, 1998).

Este trabajo constituye el primer intento por cubrir la totalidad del sistema dunar de Tuxpan, a su vez permite conocer su riqueza, cobertura y dominancia. La riqueza asociada a las dunas costeras de Tuxpan es de 54 especies, entre estas, once son nuevas aportaciones taxonómicas para el área de estudio. Con la inclusión de *C. chamaecrista*, *C. fasciculata*, *E. coralloides*, *H. tiliaceus*, *R. mangle*, *E. odoratum*, *A. vaginalis*, *B. bigelovii*, *B. squarrosus*, *F. glauca* y *S. angustifolia* aumenta la riqueza para el estado de Veracruz a 664. Asimismo 15 especies son propias de la vegetación de dunas costeras (Moreno-Casasola *et al.*, 2011) y 26 son frecuentes en ambientes perturbados y otras comunidades como selvas y humedales (Castillo y Moreno-Casasola, 1996). La riqueza observada en esta investigación no coincide con la reportada por Martínez *et al.* (2006) quienes señalan que es de 10 especies. Se comparten 14 especies con la dunas de Isla del Carmen, Campeche (Guadarrama *et al.*, 2014); 12 con las dunas en Sisal, Yucatán; 8 con las dunas y matorrales de dunas en Yucatán, especies más

comunes (Durán-García *et al.*, 2010; Torres *et al.*, 2010), y 32 con La Mancha (Castillo-Campos y Travieso Bello, 2006). De las especies reportadas por Puig (1991) se encuentran *Spartina spartinae*, *Crotalaria schiedeana*, *Dichromena sp*, *Mimosa aculeaticarpa* y *Suaeda nigra*. Nueve especies coinciden con las reportadas en este trabajo.

La diversidad biológica asociada a la vegetación de la dunas costeras de Tuxpan representa el 8 % de la reportada para Veracruz (Moreno-Casasola *et al.*, 2011), este es un porcentaje bajo comparado con las dunas costeras de La Mancha (34 %). A diferencia de las 15 especies propias de dunas costeras presentes en el sistema dunar de Tuxpan, La Mancha cuenta con 87 (Castillo-Campos y Travieso-Bello, 2006). En esta última las estaciones de campo se dedican al manejo de los recursos naturales como principal objeto de estudio (Moreno-Casasola, 2006), mientras que en Tuxpan, el cambio de uso de suelo se debe al rápido desarrollo urbano e industrial (Ellis y Martínez, 2010). Esto se observa en las dunas de Playa Azul, aquí el uso turístico e industrial es evidente. En Barra sur, los asentamientos humanos han eliminado la vegetación de dunas transformando así el paisaje, además durante el muestreo en campo el acceso a Barra sur fue restringido por dichos pobladores, esto se vuelve parte de la perturbación histórica del sitio (Castillo y Moreno-Casasola, 2006; Martínez y García-Franco, 2004).

Según Graham y Duda (2011) los patrones de riqueza a menudo se asocian con la perturbación, depredación y herbivoría, la productividad, la heterogeneidad

espacial, gradientes ambientales, el tiempo y la latitud, estas características afectan la composición y abundancia de la vegetación y los caracteres de las plantas que la forman, pudiendo estos últimos estar relacionados con diferentes procesos en su ciclo vital: germinación, implantación, crecimiento, desarrollo, dispersión, senescencia, etc. Mientras que Moreno-Casasola (1986); Dech y Maun (2005) consideran que la composición y la distribución de las comunidades vegetales en los sistemas dunares se ve influenciada por el grado de movilidad de la arena siendo este el principal factor. Al mismo tiempo, Acosta-Calixto (1993) propone que la composición florística se da en respuesta a la producción, dispersión y persistencia de las semillas. Otros autores (Iserman, 2011; Álvarez-Molina *et al.*, 2012) señalan que la sucesión es un factor importante que afecta la riqueza, diversidad y cobertura. Aplicar metodologías como la propuesta por Álvarez-Molina *et al.* (2012) permitirá conocer cómo se comporta la estructura de las comunidades vegetales del sistema dunar en Tuxpan a través del tiempo y así conocer los factores que intervienen en la composición florística.

Castillo (1981) señala que las especies no se encuentran repartidas homogéneamente en las dunas, sino que ocupan zonas características. Tal es el caso de especies como *B. bigelovii*, *D. incanum*, *P. vaginatum*, *M. pudica* consideradas como malezas y pioneras de la sucesión (Villaseñor y Espinosa, 1998; Vibrans, 2011) las cuales tienen una localización restringida a algunos sitios junto con *C. fasciculata*, *C. ligularis*, *G. sepium* (Cuadro 2). Aunque a menudo son más abundantes tierra adentro (Castillo y Moreno-Casasola, 1998). Su distribución

en el litoral posiblemente se encuentra determinada en gran medida por las características germinativas de cada una de ellas (Valverde, 1988). Al parecer estas especies presentan adaptaciones que les permiten sobrevivir al estrés costero, por lo tanto se les considera plantas del tipo funcional II (García-Mora *et al.*, 1999) o bien, buscan competir para no ser eliminadas a través de los filtros ambientales (Gallego-Fernández y Martínez, 2011). Mientras otras especies como *I. pes-caprae*, *I. stolonifera*, *C. punctatus*, *C. uvifera*, *B. pilosa* y *S. virginicus* están ampliamente representadas (Castillo y Moreno-Casasola, 1998).

Las especies *I. pes-caprae*, *S. portulacastrum* e *I. stolonifera* se encuentran más cerca de la línea de marea, esta distribución se presenta en las dunas de La Mancha (Moreno-Casasola y Travieso-Bello, 2006; Castillo, 1981). Distintos autores (Moreno-Casasola *et al.*, 2011) reportaron *C. chamaecristoides* y *P. lindenii* en la zona de pioneras y playa, mientras que Castillo (1981) señaló que *P. lindenii* se encuentra detrás de la zona de pioneras junto con *A. donax*, *M. atropurpureum*, *C. punctatus*. En particular, en el sistema dunar de Tuxpan, *P. lindenii* y *C. chamaecristoides* se encuentran en conjunto con *C. punctatus*, *O. drummondii*, *L. nodiflora*, esta última característica de los pastizales (Moreno-Casasola *et al.*, 2011), ubicadas por detrás de las dunas embrionarias. Según Castillo (1981) algunas especies son dependientes del manto freático como *Hydrocotyle bonariensis*, esta especie se observó asociada a las plantaciones de *C. equisetifolia*.

Palafoxia lindenii es una especie endémica o propia del sistema de dunas costeras, lo cual significa que tiene una distribución geográfica restringida. En este caso se le encuentra en las dunas costeras de Veracruz y Tabasco. Es responsable de comenzar la fijación del sistema, además de ser una especie abundante en la región central de Veracruz (Valverde, 1988; Moreno-Casasola y Travieso-Bello, 2006; Moreno-Casasola, 2010; López-Portillo *et al.*, 2011; Moreno-Casasola *et al.*, 2011). En Veracruz, Moreno-Casasola *et al.* (2011); Gallego-Fernández y Martínez (2011) indican que es una especie exclusiva de la Región Central del Golfo de México y Castillo y Moreno-Casasola (1998); Álvarez-Molina *et al.*, (2012) señalan que la distribución inicia en la parte sur del estado de Tamaulipas (Barra del Toro, Barra Chavaría y Bocatoma) y en Veracruz se le encuentra de El Faro a los Tuxtlas. El registro de *P. lindenii* permite ampliar su distribución en la Región Norte de Veracruz, en las dunas costeras de Tuxpan.

Índice de Valor de Importancia (IVI)

Moreno-Casasola *et al.* (2010) señalan que el IVI de algunas especies obedece a los valores relativamente altos de cobertura y frecuencia en más de cuatro sitios. Estos patrones se observan claramente en las especies dominantes registradas en este trabajo. De acuerdo al Índice de Valor de Importancia que oscila entre 24 a 74 %, las especies dominantes para las dunas de Tuxpan fueron *I. pes-caprae*, *R. laetevirens*, *I. stolonifera*, *E. odoratum*, *C. punctatus*, *C. maritima*, *S. virginicus*, *S. portulacastrum*, *C. bonduc* y *B. pilosa* (Apéndice 2). Las especies que se

registraron con un IVI alto fueron descritas como parte de la estructura en las comunidades vegetales de las playas y dunas (Moreno-Casasola, 2004).

En contraste con los registros hechos por Moreno-Casasola y Espejel (1986); López-Portillo *et al.* (2011); Gallego-Fernández y Martínez (2011) para este mismo sistema, quienes no registraron *R. laetevirens*, *E. odoratum* y *C. bonduc*, y el valor de importancia registrado por estos autores fue del 25 %. Sin embargo para los matorrales de La Mancha, *R. Laetevirens* es una de las especies más abundantes y con amplia distribución (Castillo y Carabias, 1982; Moreno-Casasola *et al.*, 1982). Mientras que *I. pes-caprae*, *C. punctatus* y *C. maritima* toleran el enterramiento por la arena, son buenas fijadoras y forman dunas embrionarias (Moreno-Casasola, 2010). Existe una diferencia de más del 50 % en el valor de importancia de *I. pes-caprae* y *R. laetevirens* entre los registros de esta investigación y los observados Guadarrama *et al.* (2012) para el Sisal, Yucatán, ambos registros obtenidos durante la temporada de secas. Guadarrama *et al.*, (2012) mencionan que la estacionalidad en la disponibilidad de agua es un factor limitante del crecimiento de las especies que se establecen en las dunas costeras, en este caso la precipitación media anual en el norte de Yucatán es la más baja (Moreno-Casasola y Espejel, 1986).

Diversos autores (Stephenson, 1999; Martínez *et al.*, 2006; Leyva *et al.*, 2006; Seinger *et al.*, 2009; Hesp *et al.*, 2011) atribuyen las diferencias en la dominancia se deben a la variabilidad topográfica, la vulnerabilidad, a los impactos por

factores ambientales, el movimiento de la arena, la antropización y los procesos geomorfológicos. El ciclo de vida de las especies dominantes es perenne, lo que les permite tener una gran capacidad vegetativa. Esto les confiere ventajas sobre otras plantas como incrementar la habilidad para la toma de nutrientes y agua bajo el terreno y así, la energía es utilizada más en la competencia que en la reproducción (González-Loera, 1982). Sin embargo a pesar de ser las especies dominantes a excepción de *C. chamaecristoides*, Valverde (1988) reportó que un número reducido de plántulas de *C. maritima*, *I. pes-caprae*, *I. stolonifera* y *C. punctatus* logran establecerse, y un número aún menor es capaz de llegar a la etapa reproductiva.

En el caso de la especie *P. lindenii*, endémica o propia de las dunas costeras de Veracruz, presentó un valor de importancia bajo (3.3 %) comparado con las especies dominantes de las dunas de Tuxpan, los individuos de esta especie no se reproducen de forma simultánea (Álvarez-Molina *et al.*, 2013) aunque su producción de frutos es continua a lo largo del año (Castillo, 1981). Presenta capacidad de germinar bajo diferentes profundidades (Martínez *et al.*, 2006), no obstante su baja capacidad de germinación responde a su sensibilidad a la salinidad (Valverde, 1988).

Las especies del genero *Ipomoea spp* fueron dominantes a lo largo del sistema dunar. Otras especies dominantes son *C. punctatus* y *A. artemisifolia* para Barra Norte y en Barra Sur *R. laetevirens*, *E. odoratum*. La composición florística en

relación con las formas de vida, encontradas en las dunas de Barra Sur corrobora que corresponde a un matorral de dunas costeras (Torres *et al.*, 2010), dominada por *R. laetevirens* y co-dominada por *C. bonduc* (Hesp *et al.*, 2011), la presencia de estos matorrales en Barra sur podrían ser la fase previa en el establecimiento de una selva baja o mediana (Salinas-Pulido, 1992; Acosta-Calixto, 1993).

Índices ecológicos

En términos ecológicos hay un total de 54 especies vegetales que habitan en las dunas costeras de Tuxpan, los sitios de mayor riqueza son Benito Juárez y Villamar cada uno con 19 especies. Estos resultaron ser los sitios más alejados de los asentamientos humanos. Mientras que los sitios con menor riqueza son Barra Galindo y Simeón Loredo con 12 y 11 especies respectivamente, es aquí donde la influencia del desarrollo urbano y turístico es más fuerte debido a su cercanía con la zona urbana. Estos resultados son similares a los de las dunas de Yucatán donde la composición, estructura y diversidad se ven afectadas por el desarrollo urbano y las consecuencias de las actividades humanas en la zona costera, a pesar de que la vegetación de dunas de Yucatán se encuentra protegida por las reservas de Ría Lagartos y Ría Celestún (Torres *et al.*, 2010).

Los índices ecológicos explican que ciertamente Benito Juárez y Emeterio Ruiz tienen mayor diversidad de Shannon y Weiner que Simeón Loredo, esto en términos de diversidad alfa verdadera Benito Juárez posee mayor número de

especies efectivas, es decir, es más diverso que Simeón Loredó. Emeterio Ruiz es más diverso que Simeón Loredó, esto muestra que los valores de diversidad observada (1D) siguen la misma tendencia que la diversidad de Shannon. Álvarez-Molina *et al.* (2012) sugieren que la diversidad aumenta con el tiempo como lo dice la teoría de la sucesión, sin embargo esta puede verse afectada por cambios drásticos en la composición y estructura de la comunidad. Gallego-Fernández *et al.* (2011) mencionan que la diversidad de especies es baja en las dunas costeras, debido a la intensidad de las perturbaciones naturales como el enterramiento por arena. Estos mismos autores señalan que la diversidad se reduce a nivel local cuando los factores abióticos son extremos en las comunidades cercanas al mar, lo cual hace de este una serie de filtros demasiado fuertes para las especies que no toleran las condiciones extremas. Sin embargo esperan a que la diversidad aumente cuando los filtros ambientales sean menos severos.

La equitatividad (J') indicó que no hay especies dominantes, sin embargo existen zonas como San Carlos y Punta de Piedra donde la dominancia decae debido a la existencia de especies como *R. laetevirens* y *C. bonduc*, especies típicas de matorrales de dunas costeras. Por esta razón manifestó mayor cobertura en esta zona y elevó el índice de equidad, en ambos sitios las especies pioneras presentaron menor cobertura. Esto obedece a que el sistema dunar está en formación o que el sistema dunar ha evolucionado a tal grado de permitir la formación de matorrales costeros, pudiendo así resistir los embates naturales.

El análisis de la diversidad beta muestra que son más heterogéneas las dunas costeras del sur comparadas con las del norte, esto es evidente en campo debido al tipo de manejo (presión humana) que recibe cada duna costera con sus respectivas playas, para las dunas del norte la perturbación proviene de la introducción de los vehículos a la playa, el turismo, la construcción de hoteles, escolleras denominadas como construcciones permanentes (Martínez *et al.*, 2006) y la introducción de especies exóticas para frenar el movimiento de la arena, esto impide que el sistema dunar no pueda continuar con su evolución y su resiliencia sea cada vez menor. En cambio, la presión sobre las dunas costeras del sur no es tan evidente porque el transporte público o particular no llega fácilmente a estos sitios, esto ha permitido el desarrollo de una comunidad que corresponde a un matorral de dunas costeras.

Cobertura

En las estimaciones de la cobertura se descartaron las plantaciones de *C. equisetifolia* debido a su introducción por los humanos (Gallego-Fernández y Martínez, 2011) para el control de la erosión del suelo y frenar el movimiento de las dunas (Arellano-Guillermo *et al.*, 1998). Algunos autores (Álvarez-Molina *et al.*, 2012) sugieren que la riqueza aumenta cuando el valor de la cobertura supera el 60 %. Con base a esto, la riqueza de las dunas costeras de Tuxpan podría aumentar, sin embargo, para corroborar el aumento de esta se deben realizar muestreos constantes en aquellos sitios que presentan valores de cobertura superiores a 60 % (San Carlos, Cuatro Ciénegas y Benito Juárez). Asimismo

verificar si la presión antrópica que se ejerce sobre el sistema permite el establecimiento de nuevas especies.

Los matorrales de dunas costeras en Tuxpan se caracterizan por las especies *R. laetevirens* y *C. bonduc* esta última no forma parte de la composición florística de los matorrales de dunas en Yucatán (Durán-García *et al.*, 2010). Al comparar los matorrales de Tuxpan con los de Yucatán se observó un 10 % menos en su cobertura. Esto se debe a la selección de los sitios, en Yucatán los sitios fueron elegidos tomando en cuenta el grado de perturbación de la vegetación de la duna costera (Torres *et al.*, 2010), además se encuentran en Áreas Naturales Protegidas (Ruiz-Barranco y Arellano-Morín, 2010), mientras que en Tuxpan se utilizó un muestro sistemático que permitió ubicar los sitios a lo largo del litoral, sin tomar en cuenta el estado de conservación de cada uno. En general, la cobertura de las dunas costeras de Tuxpan es mayor que las del sistema dunar en Sisal, Yucatán. No obstante, la vegetación de estos sectores es muy distinta y cabe considerar la existencia de dos floras diferentes (Castillo y Moreno-Casasola, 1998), mismas que se relacionan con la transición geográfica entre la vegetación del golfo y el Caribe (Castillo *et al.*, 1991), además Hesp (1991) sugiere que la cobertura vegetal y el tipo de especies presentes están en función de la región biogeográfica, el clima y la historia, estabilidad, exposición y dinámica sedimentaria de los sitios.

Índice de Vulnerabilidad

Aunque el puerto de Tuxpan forma parte de los puertos más importantes para México, según Ortiz-Lozano (2005) no tiene la misma importancia como centro turístico en la costa. Santiago (2010) señala que en el litoral de Tuxpan se presentan sitios con uso turístico-recreativo como San Antonio, Playa Azul, Cocoteros, Villamar; sitios con potencial turístico poco impactados, con calidad ambiental y estética como Barra de Galindo y Benito Juárez. Asimismo, Santiago (2010) menciona que el Palmar y Emiliano Zapata pueden destinarse a la conservación y el turismo.

Es importante resaltar que Playa azul y Barra Galindo se encuentran en una Región Terrestre Prioritaria Laguna de Tamiahua (Arriaga *et al.*, 2000). El Índice de vulnerabilidad ubica a Playa Azul como un sitio con menor resiliencia, por la alta frecuencia de turistas, las construcciones permanentes como la termoeléctrica. Para Barra Galindo su vulnerabilidad es media, aunque Serrano *et al.* (2012) señalan que no presenta alteraciones antrópicas.

Para Benito Juárez el valor estético se ve alterado por la construcción industrial como lo es la gasera Tomsa, la cual atribuye una vulnerabilidad media a este sitio. El Palmar y Emiliano Zapata se encuentran adyacentes a Villamar y Punta de Piedra mismos que están influenciados por las condiciones geomorfológicas. Estas zonas son aprovechadas para la anidación de las tortugas marinas misma que es diferente a la observada en Barra Galindo. En Punta de Piedra la

ganadería es baja lo cual ha permitido la formación de matorrales de dunas costeras cuya altura alcanza los 3 metros. Además el carbonato de calcio que se encuentra en este sitio es saqueado para elaborar artesanías.

Con base a los estudios de vulnerabilidad (Martínez *et al.*, 2006) se describe a Tuxpan dentro de la región más vulnerable y menos resistente junto con las costas de Chachalacas, Tecolutla y Coatzacoalcos, debido a la alta vulnerabilidad a los atributos naturales como la condición geomorfológica, la influencia marina y eólica y la cobertura vegetal, junto con una intensa intervención humana y el desarrollo de infraestructura permanente y transitoria que afecta la dinámica costera, y seguramente resultará en costos sociales y económicos. Otro factor importante es la introducción de especies exóticas como *C. equisetifolia* que desplazan a las especies de las dunas costeras, aumentando así la degradación del medio ambiente.

La descripción del presente trabajo sitúa a Tuxpan como una zona de vulnerabilidad media lo cual difiere con los registros antes descritos. En el litoral de Tuxpan aún se observan sitios con una fuente de arena, como una playa; lo que permite el fácil transporte de los granos de arena que realizan la saltación a través del viento (Moreno-Casasola, 2004); especies pioneras establecidas y poca frecuencia de visitantes a excepción de Playa Azul. En el estudio de Martínez *et al.* (2006) recorren 902 km desde Tamaulipas hasta Tabasco en un mes, esto implica poco tiempo dedicado a cada sitio de estudio, lo cual permite ubicar a Tuxpan

como una zona de alta vulnerabilidad. Barra Galindo, Emeterio Ruiz, Simeón Loredo presentan playas en proceso de acreción o acumulación donde se observa un aumento en su amplitud y montículos en forma de dunas (Bolongaro-Crevenna *et al.*, 2010). Otros como Playa Azul se observa una pérdida de playa lo que representa un abasto negativo de sedimentos para dar origen a las dunas igualmente está afectada por estructuras permanentes como restaurantes, la termoeléctrica, escolleras y espigones. En Barra Galindo, Emeterio Ruiz, Simeón Loredo la presión humana presenta valores de 0.40 a 0.42. Este valor se considera como presión media.

Martínez *et al.* (2006) consideran que la metodología empleada para evaluar el índice de vulnerabilidad tiene la desventaja de usar valores relativos dentro de sus variables, mientras que Williams *et al.* (2001) aseguran que esta metodología es eficaz para llevar a cabo una evaluación de la vulnerabilidad en estos ecosistemas frágiles. De manera general se sugiere que la aplicación de estas listas de control (García-Mora *et al.*, 2001; Williams *et al.*, 2001; Martínez *et al.*, 2006), sean complementadas con las metodologías propuestas por Valadez (2013) quien evalúa la vulnerabilidad del sistema de playas a través de los efectos no deseados por construcción de protección costera.

Las dunas costeras son numerosas en las desembocaduras de los ríos (Vega de Seoane *et al.*, 2007), algunos autores (López-Portillo *et al.*, 2011) señalan que el sistema dunar puede extenderse hasta 1.5 km tierra adentro, sin embargo esto no

se aprecia en el sistema dunar de Tuxpan. A lo largo del litoral principalmente en la Barra Norte, la dinámica está afectada primariamente por la plantación de *C. equisetifolia* que disminuye la superficie de la arena no consolidada y las obras de protección costera como escolleras y espigones cuyos efectos son el bloqueo y migración de sedimentos (Martínez, 2010; Valadez, 2013; Arellano-Méndez, *com. pers.*). En algunos casos estas obras se consideran una acción drástica para mantener abiertas las bocanas de las lagunas (Martínez *et al.*, 2012), como se hizo en la bocana norte de la Laguna de Tampamachoco. Aunque esta acción no ha tenido el efecto esperado y los pescadores esperan que el municipio se encargue de desazolvar, para evitar más pérdidas económicas. Es importante señalar que esta bocana lleva poco más de un año cerrada.

Una manera de solventar la pérdida de playa es abastecerla con sedimentos artificialmente (Moreno-Casasola, 2004), esta alternativa se lleva a cabo en Playa Azul por la pérdida de su playa. Para que el sistema pueda mantener su dinámica natural, la arena que llega a este sitio proviene del desazolvamiento de la boca de toma de la termoeléctrica por medio de camiones. Además los espigones distribuidos en esta playa desde la escollera del río Tuxpan hasta la termoeléctrica presentan los efectos señalados por Martínez (2010); Valadez (2013); Arellano-Méndez (*com. pers.*). Según Moreno-Casasola (2010) el problema inicia cuando observamos esta dinámica bajo la perspectiva de una generación humana y pretendemos que la playa donde veraneamos o construimos el hotel permanezca

inalterable; pero a veces las mismas decisiones que se toman para lograr esto resultan contraproducentes.

Las comunidades vegetales de las dunas costeras de Tuxpan deben ser consideradas elementos clave en la protección de la zona costera, debido a que favorecen la retención del sustrato por su capacidad para tolerar las condiciones extremas de estos ambientes. A su vez reconocer la importancia ecológica por sus especies endémicas y aun aquellas sujetas a protección especial y su importancia económica por proveer diversos servicios ecosistémicos para la protección costera.

VIII. CONCLUSIONES

La composición florística de las dunas costeras de Tuxpan estuvo representada por 25 familias, 52 géneros y 54 especies, donde las familias con mayor riqueza fueron Fabaceae (13), Poaceae (8) y Asteraceae (5), se incluyen doce nuevos registros para el área de estudio: *S. torta*, *B. bigelovii*, *H. curassavicum*, *E. coralloides*, *V. luteola*, *S. angustifolia*, *H. tiliaceus*, *C. glyptosperma*, *B. squarrosus*, *F. glauca*, *P. vaginatum* y *C. fasciculata*.

Las especies dominantes para las dunas de Tuxpan fueron *I. pes-caprae*, *R. laetevirens*, *I. stolonifera*, *E. odoratum*, *C. punctatus*, *C. maritima*, *S. virginicus*, *S. portulacastrum*, *C. bonduc* y *B. pilosa*. Todas las especies dominantes sobre el sistema de dunas son perennes.

Se registraron las especies endémicas o propias del sistema de dunas: la leguminosa pionera *C. chamaecristoides* en Playa Azul y Villamar y *Palafoxia lindenii* en Emeterio Ruiz, Playa Azul, San Carlos y Benito Juárez.

De manera general la cobertura es mayor en la parte sur con respecto al norte. Las especies del género *Ipomoea spp.* y el arbusto *R. laetevirens* presentan una mayor cobertura vegetal, siendo estas las especies dominantes e importantes. A nivel de sitios las especies del género *Ipomea spp.* se distribuyen en todo el litoral, mientras que la distribución de *R. laetevirens* se limita a la parte sur del litoral Tuxpeño.

La diversidad alfa verdadera definió que las dunas de Benito Juárez es 1.93 veces más diverso Simeón Loredo, el cual tiene 51.57 % de la diversidad. Los índices de similitud de Jaccard y Bray Curtis corroboran las diferencias entre los sitios de Barra norte y sur, e indican que barra sur presenta mayor heterogeneidad.

El índice de vulnerabilidad ubicó a Tuxpan como zona de vulnerabilidad media. De acuerdo con este índice existen sitios con una capacidad menor de responder a las condiciones naturales (resiliencia) como Playa Azul por la presión humana que se ejerce sobre este sitio.

XIX. APLICACIÓN AL MANEJO

Los gobiernos siguen apelando al modelo tradicional de desarrollo, que se sustenta en una idea de bienestar que exige la creciente explotación de la naturaleza e ignora la necesidad de cambios radicales en nuestros estilos de vida (Gómez Dantés, 2005). El desarrollo sostenible es la palabra rey en los debates sobre política ambiental, sin embargo, las palabras “servicios de los ecosistemas”, es la moda en el mundo científico. Este vocablo se ha convertido en un concepto-fuerza emergente, con un gran potencial futuro en la conservación de la naturaleza (Montes, 2007).

Los ecosistemas son conceptualizados como una “fábrica de servicios” que afectan directa o indirectamente al bienestar de múltiples actores sociales. La sociedad debe implicarse en la gestión (conservación/restauración) (Montes, 2007). Seinger *et al.* (2009) consideran que las dunas costeras son un ecosistema clave de la zona costera, y la pérdida de este ecosistema está relacionada con el núcleo familiar que habitan en las playas y dunas, el cual es de bajo nivel cultural. Esto pone de manifiesto como el impacto de las actividades humanas sobre los ecosistemas tiene importantes consecuencias en el bienestar humano (Montes, 2007).

Servicios ambientales

La flora del sistema dunar debe ser protegida ya que el proceso de estabilización del sustrato depende de las plantas pioneras altamente especializadas para soportar la sequia, las altas temperaturas en el aire y la superficie de la arena, los vientos con salinidad, la abrasión por la arena y la baja cantidad de nutrientes (López-Portillo *et al.*, 2011). En este sentido Acosta-Calixto (1993) menciona que la vegetación acelera la acumulación de arena al reducir la velocidad del viento y estabiliza la superficie de arena desnuda y móvil. Asimismo especies como *P. lindenii* y *C. chamaecristoides* deben ser protegidas dado que son algunas de las primeras especies colonizadoras y endémicas del sistema dunar, además su distribución se limita a dunas costeras. Estas especies permiten la germinación de otras especies (Castillo y Moreno-Casasola, 1998; Álvarez-Molina *et al.*, 2013). Actualmente para el manejo de las dunas costeras se han elaborado manuales que indican como primer paso saber cuál es el estado de conservación-degradación y los factores que lo han llevado a tal situación al sistema dunar (Vega de Seoane *et al.*, 2007) así como identificar y organizar las buenas prácticas que deben seguir las obras y actividades que se pretendan realizar en sistemas de dunas costeras y evitar daños ambientales de difícil y costosa reparación (SEMARNAT, 2013). Esto se puede lograr a través de convenios con los ejidatarios y las distintas empresas industriales y hoteleras que se encuentran sobre las dunas, para evitar pérdidas económicas.

Importancia ecológica

Es importante señalar que mantener la cobertura vegetal de las dunas costeras permitirá conservar una amplia cantidad de insectos polinizadores del orden Diptera, Himenoptera (familias: Andrenidae, Apidae, Colletidae, Forbicidae, Halictidae), Lepidoptera (Familia Hesperiiidae; *Urbanus proteus*); Coleoptera (*Phyllobaenus pubescens*) (Devall, 1992; Martínez y Moreno-Casasola, 1998; Lonard y Judd, 1997, 1999, 2009; Álvarez-Molina *et al.*, 2013; Mendoza-González *et al.*, 2014). Incluso se infiere a otros polinizadores aves de la familia Trochilidae (Sánchez-Hernández, 2014). Asimismo permite conservar distintas especies de epifitas del género *Tillandsia* las cuales tienen preferencia por el arbusto *R. laetevirens* (García-Franco, 1996).

Esto a su vez genera relaciones importantes en las dunas, como las interacciones planta-hormiga. Las plantas proporcionan alimento como néctar o corpúsculos proteínicos a las hormigas que las defienden del ataque de herbívoros; las hormigas pueden interactuar con homópteros, quienes las alimentan con ambrosía, un producto digestivo basado en el floema de la planta; las hormigas pueden alimentar a las plantas al dejar la materia orgánica dentro de estructuras llamadas pseudobulbos o bien pueden dispersar sus semillas (Martínez *et al.*, 2006).

Importancia económica

Diversos autores (Devall, 1992; Martínez y Moreno-Casasola, 1998; Lonard y Judd, 1997, 1999, 2009, 2011; Lonard *et al.*, 2012, 2014; Álvarez-Molina *et al.*, 2013; Mendoza-González *et al.*, 2014) indican que las especies tales como *I. pes-caprae*, *S. portulacastrum*, *C. chamaecristoides*, *I. imperatii*, *C. punctatus*, *U. paniculata*, *S. virginicus*, *P. lindenii*, *C. maritima* y *P. vaginatum* pueden ayudar a proteger las costas y la infraestructura costera debido a su capacidad de controlar la erosión de las playas y la estabilización de los sustratos arenosos costeras por el rápido crecimiento de estolones en algunos casos. Estas estructuras pueden amortiguar el impacto de los huracanes y las marejadas. Dichas características representan la importancia económica de la duna, es decir, la estabilización puede ser de gran importancia para los seres humanos ya que movimiento de la arena invade la infraestructura humana y se traduce en altos costos financieros.

Lonard *et al.* (2011) mencionan que la importancia económica de *U. paniculata* reside en la anidación de las tortugas marinas (*Caretta caretta* y *Chelonia mydas*) debido a que estas especies anidan donde *U. paniculata* es dominante y la actividad de anidación promueve la estabilización de las dunas costeras y, posteriormente, preserva el hábitat de las tortugas marinas. En el litoral de Tuxpan anidan *Chelonia mydas*, *Eretmochelys imbricata* y *Lepidochelys kempii* (Santiago, 2010).

Otras aplicaciones

La flora de las dunas costeras tiene una amplia gama de aplicaciones en la nutrición, la medicina, la industria y la agricultura (Sridhar y Bhagya, 2007). Las hojas de *P. lindenii* son usadas en infusión para combatir el insomnio, además contiene flavonoides que reducen el riesgo de coágulos de sangre y la prevención de un ataque al corazón o riesgo de cáncer (Álvarez-Molina *et al.*, 2013). Mientras que *S. virginicus* se utiliza para combatir la candidiasis (Lonard *et al.*, 2012) y *C. maritima* es utilizada para tratar la tuberculosis, intoxicación por ciguatera, reumatismo, lepra, quemaduras, sangrados e infecciones entéricas causadas por *Bacillus cereus*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus stearothermophilus*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus* y *Streptococcus faecalis* (Mendoza-González *et al.*, 2014).

Otras especies como *P. vaginatum* se utilizan en la desalinización en campos de regadío improductivos y en la fitorremediación con un gran potencial para reducir los niveles de metales pesados tóxicos y contaminantes de hidrocarburos, es importante en la contención de derrames de petróleo logrando eliminar hasta un 30 % de crudo (Lonard *et al.*, 2014).

En este contexto surge la necesidad de desarrollar estudios que posibiliten el establecimiento de una base de conocimientos científicos, que sirvan de fundamento para la elaboración de medidas de gestión eficientes, para garantizar la conservación de estos ecosistemas, aseguren su plena funcionalidad y

posibiliten la recuperación de aquellos que han desaparecido o han sido gravemente dañados (Rodríguez-Gallego, 2013).

Por su actual condición, el litoral de Tuxpan en términos de la heterogeneidad florística y estructural de la vegetación de dunas costeras, esta investigación contribuye al conocimiento del estado actual de las dunas, desde su cobertura vegetal hasta la presión humana que se ejerce en estas. Esta información puede ser utilizada para crear propuestas de restauración y manejo (Torres *et al.*, 2010) que en muchos casos resulta en fracasos por no utilizar la vegetación adecuada o por un mal manejo y una decisión incorrecta (Moreno-Casasola, 2004). La valoración actual de las dunas es un referente que permitirá el seguimiento del sistema y sentar las bases para evaluar los recursos existentes y establecer pautas de manejo y conservación (Castillo y Moreno-Casasola, 1998). La estructura de un ecosistema de dunas costeras se compone de diversos elementos cuyas características dependen de la dinámica del transporte de sedimentos y de la presencia y composición de la cubierta vegetal. Esta diversidad obliga a que en la gestión y el manejo de las dunas se deba establecer consideraciones específicas para cada elemento; considerando lo anterior, en aquellas zonas donde ya existen construcciones sobre las dunas, la playa o estructuras en el mar, se debe establecer un programa de monitoreo para registrar la generación de procesos de erosión o sedimentación y, si es el caso, implementar un plan de restauración del sistema playa-dunas. (SEMARNAT, 2013).

X. BIBLIOGRAFÍA

Acosta-Calixto, I. 1993. Lluvia de semillas en matorrales de dunas costeras en el Morro de la Mancha, Veracruz. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 104 p.

Alanís-Rodríguez, E., J. Jiménez-Pérez, A. Valdecantos-Dema, M. A. González-Tagle, O. A. Aguirre-Calderón y E. J. Treviño-Garza. 2012. Composición y diversidad de la regeneración natural en comunidades de *Pinus-Quercus* sometidas a una alta recurrencia de incendios en el noreste de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83:108-124.

Álvarez-Molina, L. L. y M. L. Martínez. 2012. Richness, diversity, and rate of primary sucesion over 20 year in tropical coastal dunes. *Plant Ecology* 213:1597-1608.

Álvarez-Molina, L. L., M. L. Martínez, D. Lithgow, G. Mendoza-González, P. Flores, S. Ortiz-García y P. Moreno-Casasola. 2013. Biological flora of coastal dunes and wetlands: *Palafoxia lindenii* A. Gray. *Journal Coastal Research* 29(3):680-693.

Anwar-Maun, M. 2009. *The Biology of Coastal Sand Dunes*. Oxford University Press. United States. 265 p.

Arriaga-Cabrera, L., J. M. Espinoza, C. Aguilar. 2009. Regiones prioritarias y planeación para la conservación de la biodiversidad. pp. 433-457. *In: CONABIO. Capital natural de México vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. México. 821 p.

Avendaño-Reyes, S. y J. S. Flores-Gudiño. 1999. Registro de plantas tóxicas para ganado en el estado de Veracruz. *Veterinaria México* 30(1):79-94.

Barrett-Mold, C. 2007. The influence of morphological evolution on coastal dune plant species composition and sucession. Tesis de Maestría. University College London. Londres, Inglaterra. 49 p.

Bärtels, A. 2005. Plantas tropicales, ornamentales y útiles. Omega. España. 392 p.

Bolongaro-Crevenna-Recaséns, A., A. Z. Márquez García, V. Torres Rodríguez y A. García Vicario, 2010. Vulnerabilidad de sitios de anidación de tortugas marinas por efectos de erosión costera en el estado de Campeche. pp. 73-96. *In*: Botello, A. V., S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez, y J. L. Rojas-Galaviz (eds.). Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. SEMARNAT-INE, UNAM-ICMYL, Universidad Autónoma de Campeche. 514 p.

Braun-Blanquet, J. 1979. Fitosociología: bases para el estudio de las comunidades vegetales. Blume Ediciones. Madrid. 820 p.

Brummitt, R. K. y C. E. Powell. 1992. Authors of plant names. The Royal Botanic Gardens, Kew. 736 p.

Carranza-Edwards, A., L. Rosales-Hoz, M. Caso-Chávez, E. Morales de la Garza. 2004. La geología ambiental de la zona litoral. pp. 573-602. *In*: Caso, M., I. Pisanty y E. Ezcurra (eds.). Diagnostico ambiental del Golfo de México. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Instituto de Ecología, A. C., Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies. México. 472 p.

Carter, R. W. G. 1988. Coastal Environments: An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of the Coastlines. Academic Press, Nueva York. 617 p.

Castillo, S. A. 1981. Fenología de dunas costeras. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 102 p.

Castillo, S. y J. Carabias. 1982. Ecología de la vegetación de las dunas costeras: fenología. *Biótica* 7:551-568.

Castillo, S. y P. Moreno-Casasola. 1996. Sand dune vegetation: an extreme case of species invasion. *Journal of Coastal Conservation* 2:13-22.

Castillo, S. y P. Moreno-Casasola. 1998. Análisis de la flora de dunas costeras del Golfo y Caribe de México. *Acta Botánica Mexicana* 45:55-80.

Castillo, S., J. Pompa y P. Moreno-Casasola. 1991. Coastal sand dune vegetation of Tabasco and Campeche, México. *Journal of Vegetation Science* 2:73-88.

Castillo-Campos, G. y M. E. Medina-Abreo. 2005. Árboles y arbustos de la reserva natural de La Mancha, Veracruz. Manual para la identificación de las especies. Instituto de Ecología, A. C. México. 144 p.

Castillo-Campos, G., M. E. Medina-Abreo, P. D. Dávila-Aranda y J. A. Zavala-Hurtado. 2005. Contribución al conocimiento del endemismo de la flora vascular en Veracruz, México. *Acta Botánica Mexicana* 73:19-57.

Castillo-Campos, G., S. Avendaño y Ma. E. Medina. 2011. Flora y vegetación. pp. 159-176. *In: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México. 679 p.*

Cheers, G., M. Olds, J. Young, A. Cheifetz, C. Double, L. Barnard y D. Imwold. 2006a. *Botanica's Pocket: Annuals and Perennials*. Könnemann. China. 1008 p.

Cheers, G., M. Olds, J. Young, A. Cheifetz, C. Double, L. Barnard y D. Imwold. 2006b. *Botanica's Pocket: Trees and Shrubs*. Könemann. China. 1008 p.

Colwell, R. K. 2013. *EstimateS*: statistical estimation of richness and shared species from samples. Version 9. Persistent URL <purl.oclc.org/estimates>.

Cronquist, A. 1981. *An Integrated System of Classification of Floewing Plants*. Columbia University Press. 1262 p.

Davies, P., A. T. Williams, R. H. F. Curr. 1995. Decision making in dune management: theory and practice. *Journal of Coastal Conservation* 1:87-96.

Dech, J. P. y M. A. Maun. 2005. Zonation of Vegetation along a burial gradient on the leeward slopes of Lake Huron sand dunes. *Canadian Journal of Botany* 83:227–236.

Devall, M. S. 1992. Biological flora of coastal dunes and wetlands: *Ipomoea pes-capre* (L) Roth. *Journal of Coastal Research* 8(2):442-456.

Durán-García, R., W. Torres e I. Espejel. 2010. La vegetación de la duna costera del estado de Yucatán. pp 136-137. *In*: Durán R., M. Méndez y J. Arellano (eds.). *Diversidad biológica y desarrollo humano en Yucatán*. CICY, SEDUMA PNUD, CONABIO. México. 496 p.

Ellis, E. A. y M. Martínez-Bello. 2010. Vegetación y Uso de Suelo de Veracruz. pp. 203-226. *In*: *Atlas del Patrimonio Natural, Histórico y Cultural del Estado de Veracruz*. Comisión para la Conmemoración del Bicentenario de la Independencia Nacional y del Centenario de la Revolución Mexicana. Gobierno del Estado de Veracruz. 280 p.

Espejel, I. 1984. La vegetación de las dunas costeras de la Península de Yucatán. *Análisis florístico del estado de Yucatán*. *Biótica* 9(2):183-210.

Espejel, I. 1992. Coastal Sand Dune Communities and Soil Relationships in the Yucatan Peninsula, México. pp. 323-335. *In*: Seeliger U. (ed). Coastal Plant Communities of Latin America. Academic Press. San Diego, California, U.S.A. 392 p.

Fernández-Camevali, G. C., J. L. Tapia-Muñoz, R. Duna de Stefano, I. M. Ramírez-Morillo, L.- Can-Itzá, S. Hernández-Aguilar y A. Castillo. 2012. La flora de la Península de Yucatán Mexicana: 250 años de conocimiento florístico. CONABIO. Biodiversitas 101:6-10.

Gallego-Fernández, J. B. y M. L. Martínez. 2011. Environmental filtering and plant functional types on mexican foredunes along the Gulf of Mexico. *Ecoscience* 18(1):52-62.

García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. Press. 224 p.

García-Franco, J. G. 1996. Distribución de epifitas vasculares en matorrales costeros de Veracruz, México. *Acta Botanica Mexicana* 37:1-9.

Gaviño, de la T. G., J. C. Juárez y H. H. Figueroa. 2007. Técnicas Biológicas Selectas de Laboratorio y de Campo. Limusa. México. 308 p.

Gentry, A. H. 1995. Diversity and floristic composition of neotropical dry forests. pp. 146-190. *In*: Bullock, S. H., H. A. Mooney y E. Medina (eds). Seasonally Dry Tropical Forests. Cambridge University. Press. Cambridge, Inglaterra. 392 p.

Gómez Dantés, O. 2005. Reseñan de "Evaluación de los ecosistemas del milenio" de Organización de las Naciones Unidas. *Salud Pública de México* 47(3):255-256.

González-Loera, J. 1982. Regeneración de la vegetación de hondonadas húmedas de dunas costeras, a partir de una perturbación inducida. Tesis de Licenciatura. Facultad de ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 61 p.

Gotelli, N. J. y R. K. Colwell. 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters* 4:379-391.

Graham, J. H. y J. J. Duda. 2011. The humpbacked species richness-curve: a contingent rule for community ecology. *International Journal of Ecology* 2011:1-15.

Guadarrama P., J. Ramos-Zapata, L. Salinas-Peba, L. Hernández-Cuevas y S. Castillo-Argüero. 2012. La vegetación de dunas costeras y su interacción micorrízica en Sisal, Yucatán: una propuesta de restauración. *In: Sánchez A.J., X. Chiappa-Carrara y P.R. Brito (eds.). Recursos Acuáticos Costeros del Sureste, vol. II, pp. 159-180. Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica, Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología, Gobierno del Estado de Yucatán, Mérida. 1123 p.*

Guadarrama, P. L. Salinas-Peba, M. García-Bielma, E. Endañú-Huerta, J. Hernández-Cortés y J. A. Ramos-Zapata. 2012. Nota sobre la florística y estado de conservación de remanentes de vegetación pionera de duna costera de isla del Carmen, Campeche, México. *Botanical Sciences* 92(3):453-456.

Guevara, S. S. 1982. Ecología de la vegetación de dunas costeras: esquema de investigación. *Biótica* 7:603-610.

Halffter, G., J. Soberón, P. Koleff y A. Melic (eds.). 2005. Sobre Diversidad Biológica: el significado de la diversidades Alfa, Beta y Gamma. m3m-

Monografías 3er Milenio, Vol. 4. SEA, CONABIO, Grupo DIVERSITAS y CONACYT, Zaragoza, España. IV + 242 pp.

Hammer, Ø., D. A. T. Harper y P. D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Paleontología Electronica*. 4(1). 9 pp. Disponible en: http://paleo-electronica.org/2001_1/past/issue_01.htm.

Hernández, H. M. y A. Godínez. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas Mexicanas amenazadas. *Acta Botánica Mexicana* 26:33-52.

Hesp, P. A. 1991. Ecological processes and plant adaptations on coastal dunes. *Journal Arid Environmental* 21:165-191.

Hesp, P. A. 2000. Coastal sand dunes: form and function. Coastal Dune Vegetation Network. Boletín Técnico No. 4. Universidad de Massey, Nueva Zelanda.

Hesp, P. A., M. Martínez, G. Miot da Silva, N. Rodríguez-Revelo, E. Gutiérrez, A. Humanes, D. Laínez, I. Montañó, V. Palacios, A. Quesada, L. Storero, G. González Trilla y C. Trochine. 2011. Transgressive dunefield landforms and vegetation associations, Doña Juana, Veracruz, Mexico. *Earth Surf. Process. Landforms* 36:285-195.

Hortal, J., P. A. Borges y C. Gaspar. 2006. Evaluating the performance of species richness estimators: sensitivity to sample grain size. *Journal of Animal Ecology* 75:274-287.

INEGI. 2010. [Actualizado al 31 de marzo de 2014]. Página electrónica (<http://www.inegi.org.mx>).

Iserman, M. 2011. Patterns in species diversity during succession of coastal dunes. *Journal of Coastal Research* 27(4):661-671.

Jimenez-Valverde A. y J. Hortal. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología* 8:151-161.

Jost, L. 2006. Entropy and diversity. *Oikos* 113:363-375.

Knopf, A. A. 1995. National Audubon society Field Guide to North American wildflowers. Chanticleer Press. New York, United States. 888 p.

Leyva, C., I. Espejel, A. Escofet y S. H. Bullock. 2006. Coastal Landscape Fragmentation by Tourism Development: Impacts and Conservation Alternatives. *Natural Areas Journal* 26(2):117-125.

Lonard, R. I. y F. W. Judd. 1997. Biological flora of coastal dunes and wetlands: *Sesuvium portulacastrum* (L.) L. *Journal of Coastal Research* 13(1):96-104.

Lonard, R. I. y F. W. Judd. 1999. Biological flora of coastal dunes and wetlands: *Ipomoea imperati* L. *Journal of Coastal Research* 27(5):984-993.

Lonard, R. I. y F. W. Judd. 2009. Biological flora of coastal dunes and wetlands: *Croton punctatus* L. *Journal of Coastal Research* 25(1):23-29.

Lonard, R. I., F. W. Judd y R. Stalter. 2011. Biological flora of coastal dunes and wetlands: *Uniola paniculata* L. *Journal of Coastal Research* 15(3):645-652.

Lonard, R. I., F. W. Judd y R. Stalter. 2013. Biological flora of coastal dunes and wetlands: *Sporobolus virginicus* (C. Linnaeus) K. Kunth. *Journal of Coastal Research* 29(3):706-716.

López-Gómez, A. M. y G. Williams-Linera. 2006 Evaluación de métodos no paramétricos para la estimación de riqueza de especies de plantas leñosas en cafetales. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 87:7-15.

López-Portillo J., M. L. Martínez, P. Hesp, J. R. H. Santana, A. P. Méndez, V. Vázquez-Reyes, L. R. G. Aguilar., O. Jiménez-Orocio, S. L. G. Delgado. 2011. Atlas de las costas de Veracruz: manglares y dunas. Universidad Veracruzana México. 248 p.

López-Ramírez, M. C. 2007. Germinación, establecimiento y crecimiento de seis especies en matorrales de dunas costeras. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 169 p.

Magurran, A. E. 1988. Ecological Diversity and its Measurement. Princeton University Press. Princeton, New Jersey, United States. 172 p.

Magurran, A. E. 2004. Measuring Biological Diversity. Blackwell Science. United Kingdom. 256 p.

Márquez-Ramírez, W. y J. Márquez-Ramírez. 2009. Municipios con mayor biodiversidad en Veracruz. Foresta Veracruzana 11(2):43-50.

Martínez, M. L. 2010. Las playas y las dunas costeras: un hogar en movimiento. La Ciencia para Todos. Fondo de la Cultura Económica. México, D. F. 189 p.

Martínez, M. L. y J. G. García-Franco. 2004. Plant-plant interactions in sand dunes. *In*: Martínez, M. L. y N. P. Psuty (eds.). Coastal Sand Dunes: Ecology and Restoration. Springer Verlag. New York, United States. pp. 205-220.

Martínez, M. L. y Moreno-Casasola, P. 1998. Biological flora of coastal dunes and wetlands: *Chamaecrista chamaecristoides* (Colladon) I. y B. Journal of Coastal Research 14(1):162-174.

Martínez, M. L., G. Vázquez y S. Sánchez-Colón. 2001. Spatial and temporal dynamics during primary succession on tropical coastal sand dunes. Journal of Vegetation Science 12:361–372.

Martínez, M. L., G. Vázquez, J. López-Portillo, N. P. Psuty, J. G. García-Franco, T. M. Silveira y N. A. Rodríguez-Revelo. 2012. Dinámica de un paisaje complejo en la costa de Veracruz. *Investigación Ambiental* 4(1): 151-160.

Martínez, M. L., J. B Gallego-Fernández, J. G. García-Franco, C. Moctezuma y C. D. Jiménez. 2006. Assessment of coastal dune vulnerability to natural and anthropogenic disturbances along the Gulf of Mexico. *Environmental Conservation* 33(2):109-117.

Martínez, M. L., J. G. García-Franco y V. Rico-Gray. 2006. Las adaptaciones y las interacciones de las especies. pp. 273-283. *In: Moreno-Casasola, P. (ed). Entornos Veracruzanos: la costa de La Mancha. Instituto de Ecología A.C. Xalapa. 574 p.*

Martínez, M. L., M. A. Maun, y N. P. Psuty. 2004. The Fragility and Conservation of the World's Coastal Dunes: Geomorphological, Ecological, and Socioeconomics Perspectives. pp. 355-370. *In: Martínez, M. L. y N. P. Psuty (eds.). Coastal Dunes, Ecology and Conservation. Springer- Verlag. Nueva York. 388 p.*

Martínez, M. L., N. P. Psuty y R. A. Lubke. 2004. A Perspective on Coastal Dunes. pp. 3-10. *In: Martínez, M. L. y N. P. Psuty (eds.). Coastal Dunes, Ecology and Conservation. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. 388 p.*

Martínez-Romero, E. 1992. Producción y establecimiento de raíces adventicias en dos especies dominantes de playas en dunas costeras (*Ipomoea pes-caprae* (L.) R. Br. (Convolvulaceae) y *Canavalia rosea* (L.) (Leguminosae). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 73 p.

Matteucci, S. D. y A. Colma. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos,

Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D.C. 168 p.

Mendoza-González, G., M. L. Martínez y D. Lithgow. 2014. Biological flora of coastal dunes and wetlands: *Canavalia rosea* (Sw) DC. Journal Coastal Research 30(4):697-713.

Mendoza-González, G., M. L. Martínez, D. Lithgow, O. Perez-Maqueo y P. Simonin. 2012. Land use change its effects on the value of ecosystem services along the coast of the Gulf of Mexico. Ecological Economics 82:23-32.

Montes, C. 2007. Del desarrollo sostenible a los servicios de los ecosistemas. Ecosistemas 16(3):1-3.

Montserrat, A. L. 2010. Evaluación del estado de conservación de dunas costeras: dos escalas de análisis de la costa pampeana. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Argentina. 220 p.

Moreno-Casasola, P. 1982. Ecología de la vegetación de dunas costeras: factores físicos. Biótica 7(4):577-602.

Moreno-Casasola, P. 1986. Sand movement as a factor in the distribution of plant communities in a coastal dune system. Vegetation 65:67-76.

Moreno-Casasola, P. 1988. Patterns of plant species distribution on Mexican coastal dunes along the Gulf of Mexico. Journal of Biogeography 15:787-806.

Moreno-Casasola, P. 2004. A case study of conservation and management of a tropical sand dune system: La Mancha-El Llano. pp. 319-334. *In*: Martínez, M. L., N. Psuty y R. Luke. (eds). Coastal sand dunes. Ecology and conservation. Ecological Studies. Springer Verlag. Nueva York. 388 p.

Moreno-Casasola, P. 2004. Las playas y dunas del Golfo de México. Una visión de la situación actual. pp. 491-520. *In:* Caso, M., I. Pisanty y E. Ezcurra. Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Instituto Nacional de Ecología. México. 472 p.

Moreno-Casasola, P. 2010. Veracruz: Mar de arena. Gobierno del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y de la Revolución Mexicana-Universidad Veracruzana. México. 283 p.

Moreno-Casasola, P. e I. Espejel. 1986. Classification and ordination of coastal dune vegetation along the Gulf and Caribbean sea of Mexico. *Vegetation* 66:147-182.

Moreno-Casasola, P. y A. C. Travieso-Bello. 2006. Las playas y dunas. pp. 205-220. *In:* Moreno-Casasola, P. (ed). Entornos Veracruzanos: la costa de La Mancha. Instituto de Ecología A.C. Xalapa. 574 p.

Moreno-Casasola, P. y G. Vázquez. 2006. "Las comunidades de las dunas". pp. 205-220. *In:* Moreno-Casasola, P. (ed.). Entornos Veracruzanos: la costa de La Mancha. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz, México. 574 p.

Moreno-Casasola, P. y K. Paradowska. 2009. Especies útiles de la selva baja caducifolia en las dunas costeras del centro de Veracruz. *Madera y Bosques* 15:21-44.

Moreno-Casasola, P., D. Infante-Mata y C. Madero-Vega. 2011. Germinación y supervivencia de dos especies de acahuals de selva baja importantes para restaurar dunas costeras. *Ciencia Foresta* 11:19-36.

Moreno-Casasola, P., E. Cejudo-Espinosa, A. Capistrán-Barradas, D. Infante-Mata, H. López-Rosas, G. Castillo-Campos, J. Pale-Pale y A. Campos-Cascaredo. 2010. Composición florística, diversidad y ecología de humedales

herbáceos emergentes en la planicie costera central de Veracruz, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 87:29-50.

Moreno-Casasola, P., E. van der Maarel, S. Castillo, M. L. Huesca e I. Pisanty. 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., I. Espejel, S. Castillo, G. Castillo-Campos, R. Durán, J. J. Pérez Navarro, J. L. León, I. Olmsted, J. Trejo-Torres. 1998. Flora de los ambientes arenosos y rocosos de las costas de México. pp. 177-258. *In*: Halffter, G. (ed.). Biodiversidad en Iberoamérica. CYTED-Instituto de Ecología A.C., Xalapa. 337 p.

Moreno-Casasola, P., S. Castillo y M. L. Martínez. 2011. Flora de las playas y los ambientes arenosos (dunas) de las costas. pp. 229-238. *In*: Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). La Biodiversidad en Veracruz: Estudio del Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México. 679 p.

Mosiño, A. P. 1964. Tiempo superficial y configuraciones del flujo aéreo superior en México. Geofísica Internacional 4:117-168.

Mosiño, A. P. y E. García. 1973. The climate of Mexico. pp. 345-404. *In*: Bryson, R. A. y F. K. Hare (eds.). Climates of North America. World Survey of Climatology. Elsevier. Amsterdam, Holanda. 420 p.

Mostacedo, B. y T. S. Fredericksen. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en Ecología Vegetal. BOLFOP, Santa Cruz, Bolivia. 87 p.

Muñoz-Vallés, S., J. B. Gallego-Fernández y C. M. Dellafiore. 2011. Dune vulnerability in relation to tourism pressure in central Gulf of Cadiz (SW Spain), a case of study. Journal Coastal Research 2:243-251.

Noss, R. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical model. *Conservation Biology* 4:355-364.

Ortiz-Lozano L., A. Granados Barba, V. Solís-Weiss, M. A. García-Salgado. 2005. Environmental evaluation and development problems of the Mexican Coastal Zone. *Ocean and Coastal Management* 48:161-176.

Pennington, T. D. y J. Sarukhán. 1998. Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies. Universidad Nacional Autónoma de México- Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 521 p.

Peralta-Peláez, L. A., P. Moreno-Casasola. 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.

Pla, L. 2006. Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia* 31(8):583-590.

Poggie, J. J. 1962. Coastal pioneer plants and hábitat in the Tampico región, Mexico. Coastal Studies Institute, Louisiana State University. Technical Report 17:1-62.

Puig, H. 1991. Vegetación de la Huasteca (México): estudio fitogeográfico y ecológico. Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération-ORSTOM. Instituto de Ecología de Xalapa Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos - CEMCA. 626 p.

Ranwell, D. S. 1972. Ecology of Salt Marshes and Sand Dunes. Chapman and Hall. London. 252 p.

Rodríguez-Gallego, C. M. 2013. Caracteres funcionales de las dunas costeras del sur de España. Tesis de doctorado. Departamento de Biología Vegetal, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga. 137 p.

Rzedowski, J. 1996. Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botánica Mexicana* 35:25-44.

Saito, Y. y S. Atobe. 1970. Phytosociological study of intertidal marine algae. I. Usujiri Benten-Jima, Hokkaido. *Bulletin of the Faculty of Fisheries, Hokkaido University* 21:37-69.

Salinas-Pulido, M. G. 1992. Crecimiento de especies arbóreas de dunas costeras bajo diferentes condiciones de suelo y cobertura. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 136 p.

Sánchez-Hernández, J. C. 2014. Fenología de *Bletia purpurea* (Lam) DC., en la duna costera del municipio de Tuxpan, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología, Universidad Veracruzana. 43 p.

Santiago, B. R. 2010. Caracterización de las playas de Tuxpan, Veracruz mediante criterios de certificación. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México. 71 p.

Sauer, J. D. 1967. Geographic reconnaissance of the seashore vegetation along the Mexican Gulf coast. Coastal Studies Institute. Louisiana State University. Press. Louisiana, United States. 59 p.

Schlacher, T. A., R. de Jager y T. Nielsen. 2011. Vegetation and ghost crabs in coastal dunes as indicators of putative stressors from tourism. *Ecological Indicators* 11:284-294.

Seingier G., I. Espejel y J. L. Ferman-Almada. 2009. Cobertura vegetal y marginación en la costa mexicana. *Investigación Ambiental* 1(1):54-69.

Seingier, G., I. Espejel, J. L. Fermán-Almada, O. Delgado-González, G. Montaña-Moctezuma, I. Azuz-Adeathd y G. Aramburo-Vizcarrae. 2011. Designing an integrated coastal orientation index: A cross-comparison of Mexican municipalities. *Ecological Indicators* 11:633-642.

SEMARNAT. 2013. Manejo de ecosistemas de dunas costeras, criterios ecológicos y estrategias. México, D. F. 98 p.

Serrano, A., L. Vázquez-Castán, C. G. Sánchez Silva, A. J. Basáñez-Muñoz y C. Naval-Ávila. 2012. Identificación de la flora bacteriana en la tortuga lora (*Lepidochelys kempi*) en el ejido Barra Galindo, Tuxpan, Veracruz, México. *Hidrobiológica* 22 (2):142-146.

Sosa, V., A. P. Vovides y G. Castillo-Campos. 1998. Monitoring endemic plant extinction in Veracruz, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 7:1521-1527.

Sridhar, K. R. y B. Bhagya. 2007. Coastal sand dune Vegetation: a potential source of food, fodder y pharmaceuticals. *Livestock Research for Rural Development* 19(6):84.

Stephenson, G. 1999. Vehicle Impacts on the biota of sandy beaches and coastal dunes: A Review from a New Zealand Perspective. Department of Conservation, Wellington, New Zealand. 48 p.

Tavares-Correa, C. y A. Sabogal de Alegría. 2003. Estabilización de dunas litorales utilizando *Sesuvium portulacastrum* L. en el departamento de La Libertad, costa norte de Perú. *Ecología Aplicada* 2(1):47-50.

Torres Huerta, A. M. 2008. Elasmobranquios del sistema laguna Chantuto-Panzacola y Carretas-Pereyra de la Reserva de la Biósfera La Encrucijada, Chiapas Universidad del Mar. Informe final SNIB-CONABIO proyecto DJ030. México D. F.

Torres, W., M. Mendez, A. Dorantes y R. Durán. 2010. Estructura, composición y diversidad del matorral de duna costera en el litoral yucateco. Boletín de la Sociedad Botánica de México 86:37-51.

Valverde, M. T. 1988. Germinación de algunas especies pioneras de dunas costeras del Golfo de México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 93 p.

Valverde, M. T. 1992. Historia de vida de *Schizachyrum scoparium* var. *littoralis* en diferentes microambientes de dunas costeras. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 172 p.

Venugopal, P. D., R. S. Bhalla y M. Anbarashan. 2008. Stabilization of Coastal Sand Dunes. pp 159-177. *In*: Bhalla, R. S., S. Ram y V. Srinivas. (eds.). Studies on Vulnerability and Habitat Restoration along the Coromandel Coast. UNDP/UNTRS y FERAL, Pondicherry, India. 235 p.

Villarias, J. L. 1992. Atlas de las malas hierbas. Ediciones Mundi-Prensa. España. 207 p.

Villaseñor, J. L. 1990. The genera of Asteraceae endemic to Mexico and adjacent regions. *Aliso* 12(4):685-692.

Villarreal H., M. Álvarez, S. Córdoba, F. Escobar, G. Fagua, F. Gast, H. Mendoza, M. Ospina y A. M. Umaña. 2006. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 236 p.

Westhoff, V. y E. van der Maarel, 1978. The Braun-Blanquet approach. pp. 287-399. *In*: Whittaker, R. H. (ed.). Classification of Plant Communities. The Hague: Junk. Holanda. 424 p.

Williams, A. T., R. W. Duck y M. R. Phillips, 2011. Coastal dune vulnerability among selected Scottish. *Journal of Coastal Research* 57: 1263–1267.

Zamora-Tovar, C. 2007. Restauración de la Cuenca Hidrográfica de la Laguna Madre. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Instituto de Ecología Aplicada. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. CJ069. México D. F.

XI. ANEXOS

Apéndice 1. Dominancia en los sistemas dunares de Veracruz, tomado de López-Portillo *et al.* (2011) y Gallego-Fernández (2011). **I:** Pueblo viejo, **II:** Tampico Alto, **III:** Tamiahua, **IV:** Tuxpan, **V:** Tecolutla-Vega de Alatorre, **VI:** San Agustín, **VII:** Laguna Verde, **VIII:** El Farallón-La Mancha, **IX:** El Quijote, **X:** Doña Juana, **XI:** La antigua, **XII:** Veracruz, **XIII:** Mandinga, **XIV:** Alvarado, **XV:** Sontecomapan, **XVI:** Coatzacoalcos, **XVII:** Tuxpan (Investigación actual).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII
<i>Acacia cornigera</i>	x	x															
<i>Eupatorium odoratum</i>								x									x
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	x																
<i>Bidens pilosa</i>		x															x
<i>Bletia purpurea</i>										x							
<i>Canavalia maritima</i>		x			x	x		x			x						x
<i>Caesalpinia bonduc</i>																	x
<i>Cenchrus echinatus</i>					x						x						
<i>Chamaecrista chamaecristoides</i>			x					x	x				x			x	
<i>Coccoloba barbadensis</i>		x															
<i>Coccoloba uvifera</i>												x					
<i>Commelina erecta</i>											x						
<i>Crotalaria incana</i>					x												
<i>Croton punctatus</i>	x	x			x	x		x		x	x						x
<i>Dalbergia brownei</i>	x																
<i>Ipomoea imperatii</i>				x	x							x					x
<i>Ipomoea pes-caprae</i>						x	x	x		x	x	x	x	x		x	x
<i>Palafoxia lindenii</i>	x				x	x	x			x	x	x					
<i>Paspalum sp</i>			x														
<i>Randia laetevirens</i>																	x
<i>Sesuvium portulacastrum</i>							x	x					x			x	x
<i>Sporobolus virginicus</i>	x		x	x			x						x	x			x

Apéndice 2. Variables consideradas en el Índice de Vulnerabilidad, según García-Mora *et al.* (2001); Williams *et al.* (2001); Martínez *et al.* (2006).

Índice geomorfológico-sedimentario dunar (IGD)						
1	Longitud del sistema dunar activo (km)	0	1	2	3	4
		>20	>10	>5	>1	>0.1
2	Anchura del sistema dunar activo (Km)	0	1	2	3	4
		>2	>1	>0.5	>0.1	<0.1
3	Anchura de la duna primaria en % de la del sistema dunar activo	0	1	2	3	4
		<5	<25	<50	<75	>75
4	Altura modal de las dunas del sistema dunar costero (m)	0	1	2	3	4
		>25	>10	>5	>1	<1
5	Altura modal de la duna primaria (m)	0	1	2	3	4
		>25	>15	>10	>5	<5
5a	Si cordones paralelos: n°	0	1	2	3	4
		>10	>4	>2	2	1
5b	Si duna rampante: pendiente de la base	0		2		4
		suave		media		alta
5c	Si dunas sobre acantilado: altura del acantilado (m)	0		2		4
		>2		2 a 5		>5
6	Superficie relativa de las depresiones interdunares húmedas	0		2		4
		Media		Escasa		Ninguno
7	Grado de fragmentación del sistema dunar	0		2		4
		Bajo		Medio		Alto
8	Granulometría de la ladera de barlomar de la duna primaria (φ)	0	1	2	3	4
		<1	0	1	2	3

52

Índice de incidencia marina						
1	Fetch geográfico (Km)	0	1	2	3	4
		<25	<100	<250	>500	>1000
2	Estado modal de la playa	0		2		4
		Disipada		intermedia		Refle

3 Anchura de la zona intermareal (Km)	0	1	2	3	4
	>0.5	>0.2	>0.1	>0.05	<0.05
4 Carrera de marea (m)	0		2		4
	<2		2 a 4		>4
5 Exposición costera	0		2		4
	10 a 45°		0 a 10°		0°
6 N° de barras arenosas sumergidas o emergidas	0		2		4
	>1		1		0
7 Anchura de la playa seca (m)	0	1	2	3	4
	>75	<75	<25	<10	0
8 Superficie relativa de los cortes en la duna primaria debidos al oleaje	0	1	2	3	4
	0	<25	<50	<75	>75
9 % de la longitud de la duna primaria con escarpes de erosión debidos al oleaje	0	1	2	3	4
	0	<25	<50	<75	>75
10 Granulometría del sedimento de la playa seca (ϕ)	0		2		4
	<0		0-2		>2

Índice de incidencia eólica					
1 Aporte de sedimento a la duna primaria	0		2		4
	Alto		Moderado		Bajo
2 % de la playa seca ocupado por dunas embrionarias	0	1	2	3	4
	>50	<50	<25	<5	0
3 % sobre la superficie del sistema dunar ocupado por cubetas de deflación	0	1	2	3	4
	<5%	>5%	>10%	>20%	>40%
4 % sobre la superficie del la duna primaria ocupado por pasillos de deflación	0	1	2	3	4
	<5%	<10%	<25%	<50%	>50%
4a Si pasillos de deflación, profundidad como % de la altura de la duna primaria	0	1	2	3	4
	<5%	<10%	<25%	<50%	>50%
5 % de la superficie de la playa seca cubierto por residuos orgánicos	0	1	2	3	4
	0%	<5%	>5%	>25%	>50%
6 % de la superficie de la playa seca con cobertura de gravas	0	1	2	3	4
	0%	<5%	>5%	>25%	>50%

7	% de la superficie de la playa seca con cobertura de conchas	0	1	2	3	4
		0%	<5%	<25%	<50%	<50%
8	% de la superficie de la ladera de barlomar de la duna primaria con cobertura vegetal	0	1	2	3	4
		>90	>60%	>30	>10	<10
9	% de la superficie del sistema dunar sin vegetación	0	1	2	3	4
		<10	<20	<40	<75	>75

Índice de características de la cubierta vegetal (ICV)						
1	% de la superficie de la playa seca cubierto por especies Tipo III	0	1	2	3	4
		>50	>25	>15	>5	<5
2	% de la superficie de la ladera de barlomar de la duna primaria cubierto por especies Tipo II	0	1	2	3	4
		>90	>60	>30	>15	<15
3	% de especies Tipo II en la ladera de barlomar de la duna primaria	0	1	2	3	4
		<5	<15	<30	<60	>60
4	% de especies I en la ladera de barlomar de la duna primaria	0	1	2	3	4
		<1	>1	>5	<15	>15
5	% de especies exóticas en la ladera de la duna primaria	0	1	2	3	4
		0	<1	<5	<15	>15
6	% de especies Tipo I y II en los primeros 100 m a sotamar de la duna primaria	0	1	2	3	4
		>75	>50	>25	>10	<10
7	% de plantas vigorosas en la ladera de barlomar de la duna primaria	0	1	2	3	4
		>75	>50	>25	>10	<10
8	% de plantas con raíces expuestas en la ladera de barlomar de la duna primaria	0	1	2	3	4
		<5	>5	>15	>25	>50
9	% de plantas con evidencias de daño físico en la ladera de barlomar de la duna primaria	0	1	2	3	4
		<5	>5	>15	>25	>50
10	% eliminación antropica de cobertura vegetal de ladera de barlomar de la duna primaria	0	1	2	3	4
		<10	>10	>25	>50	>75

Índice de presión de uso (IPU)				
1 Presión de visitantes	0	2	4	
	Baja	Moderada	Alta	
2 Frecuencia de visitantes	0	2	4	
	Baja	Moderada	Alta	
3 Dificultad de acceso	0	2	4	
	Alta	Moderada	Baja	
4 Transito de vehículos sobre el sistema dunar activo	0	2	4	
	Ninguno	Alguno	Elev	
5 Transito de vehículos sobre la playa seca	0	2	4	
	Ninguno	Alguno	Elev	
6 Paseos a caballo sobre el sistema dunar	0	2	4	
	Ninguno	Alguno	Elev	
% de la superficie de la duna primaria con pasillos de deflación de origen antrópico	0	1	2	3
	0%	<5%	<25%	<50%
				>50%
7a Anchura de los pasillos de deflación de origen antrópico de la duna primaria (m)	0	1	2	3
	<1	<2	<3	<5
				>5
7b Profundidad de los pasillos como % de la altura de la duna primaria	0	1	2	3
	<5	<25	<50	>50
				>75
8 % de la superficie del campo dunar ocupada por residuos sólidos urbanos	0	1	2	3
	0%	<5%	<25%	<50%
				>50%
9 Extracción de áridos	0	2	4	
	Nula	Moderada	Alta	
10 Frecuencia de limpieza de la playa	0	2	4	
	Nula	Moderada	Alta	
11 % playa seca afectada por las actividades de limpieza	0	1	2	3
	0	<25	<50	<75
				>75
12 % del sistema dunar activo ocupado por infraestructuras permanentes	0	1	2	3
	0	<25	<50	<75
				>75
13 % del sistema activo ocupado por infraestructuras temporales	0	1	2	3
	0	<25	<50	<75
				>75

14	% de línea forestal 200 m a sotamar de la duna primaria	0	1	2	3	4
		0	<25	<50	<75	>75
15	% de línea de cultivos 200 a sotamar de la duna primaria	0	1	2	3	4
		0	<25	<50	<75	>75
16	Pastoreo en el sistema dunar activo	0		2		4
		Ninguno		Moderado		Alto
17	Presencia de conejos	0		2		4
		Ninguna		Moderada		Alta