

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

“ESTUDIOS FLORÍSTICOS SOBRE VEGETACIÓN  
COSTERA DEL GOLFO Y CARIBE DE MÉXICO: UN  
ENFOQUE METODOLÓGICO A PARTIR DE BASES  
DE DATOS”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO

DOCTOR EN CIENCIAS (BIOLOGÍA)

P R E S E N T A

SILVIA CASTILLO ARGÜERO

DIRECTOR DE TESIS: Dra. Patricia Moreno-Casasola Barcelo.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

Para Alicia y muy especialmente para Humberto

## AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo es producto de varios años y de la ayuda de innumerables personas.

En primer lugar y de manera muy especial quiero agradecer a la Dra. Patricia Moreno-Casasola por dirigir esta tesis, cuyo ejemplo e influencia académica y humana fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

Quiero agradecer muy especialmente al Dr. Vázquez-Yanez que aunque ahora ausente sus enseñanzas fueron fundamentales para mi formación académica.

Quiero expresar un sincero agradecimiento a las personas que fungieron como sinodales y revisaron esta tesis: Dra. Patricia Moreno-Casasola, Dr. Sergio Guevara, Dr. Jorge Meave, Dr. Eberto Novelo, Dr. Antonio Lot, Dr. Fernando Chiang y al Dr. Jorge López-Portillo.

Quiero agradecer al Dr. Jorge Meave por sus minuciosas correcciones y sugerencias de este trabajo, por todo su apoyo y su enorme disposición que siempre ha tenido en el desarrollo de mi vida académica y por su amistad.

La ayuda de Marco Antonio Romero en la edición final de este trabajo, en su disposición a desatorar todos los problemas de cómputo y su acertada respuesta a toda mis dudas, que sin su ayuda no estaría escrito este trabajo.

A todos mis compañeros del laboratorio de Ecología. gracias por la ayuda que en todo momento me han brindado, pero principalmente a Paty e Irene por su amistad y por su impulso a terminar este trabajo.

Pero quiero agradecer muy especialmente a mi familia, que han sido pacientes y me brindan siempre su apoyo.

## CONTENIDO

Resumen

Abstract

I	Introducción	1
	1.- Enfoque para estudios de la flora	
	2.- Generalidades de las dunas costeras	
	3.- Concepción y desarrollo de la base de datos biológicos para las dunas costeras del golfo y caribe de México	
	a) Conceptos generales de las bases de datos	
	b) Enfoques en el manejo de bases de datos	
	c) Etapa de diseño de una base de datos	
	d) Bases de datos científicas	
	e) Creación de una base de datos en biología	
	f) Modelo lógico de la base de datos biológica	
	4.- Objetivos	
II	Moreno-Casasola, P. y S. Castillo. 1992. Dune ecology on the eastern coast of Mexico. En U. Seeliger (ed.) Coastal Plant Communities of Latin America. Academic Press, Nueva York. pp. 309-321.	34
III	Castillo, S. y P. Moreno-Casasola. 1998. Análisis de la flora de dunas costeras del litoral Atlántico de México. Acta Botanica Mexicana, 45:55-80.	51
IV	Castillo, S. y P. Moreno-Casasola. 1996. Coastal sand dune vegetation: an extreme case of species invasion. Journal of Coastal Conservation, 2: 13-22.	81
V	Martínez, M.L., P. Moreno-Casasola y S. Castillo. 1993. biodiversidad costera: playas y dunas. En: Salazar-Vallejo, S.I. y E. González (eds). pp. 160-180. Biodiversidad Marina y Costera de México. CIQRO- CONABIO. México, D.F.	104
VI	Discusión General	136

## RESUMEN

Esta tesis está conformada por cuatro artículos, cuyo propósito fundamental fue examinar diversas características de la flora de los sistemas de dunas costeras de las porciones mexicanas del Golfo de México y del Mar Caribe, utilizando una base de datos relacional como herramienta básica de análisis. El objetivo fue mostrar algunos ejemplos de las diferentes aplicaciones de una base de datos cuyo diseño permitió extraer la información a diferentes niveles. Uno de ellos permitió, aplicando un enfoque regional, hacer un análisis general de la estructura y la dinámica de estos sistemas de dunas. En contraste, otro enfoque se centró en las características particulares de las especies, sintetizando información particular o detallada de partes del sistema. La base de datos incorporó: 1) información florística de campo recolectada en 44 sitios; 2) información florística obtenida de la literatura; 3) información de la estructura de la vegetación de 44 sitios con el mismo tipo de muestreo y análisis (método del relevé y análisis de clasificación y ordenación); 4) información ambiental (suelo, topografía, clima, perturbación); y 5) información biológica (fenología, características de las especies).

La consulta de la base de datos permitió sintetizar la composición y estructura de la vegetación de los sistemas de dunas costeras, comparando las similitudes y las diferencias ambientales y florísticas (Capítulo II). Esto permitió hacer una regionalización basada en las características geográficas, climáticas y vegetacionales a lo largo de las costas estudiadas. Entre las cinco regiones distinguidas se encontraron diferencias importantes en la complejidad estructural y la riqueza florística. Por ejemplo, se determinaron grupos florísticos con una distribución regional, la mayoría de los

cuales están compuestos por especies costeras presentes a lo largo del litoral, y se identificaron grupos florísticos que caracterizan las zonas protegidas y estabilizadas, así como las hondonadas húmedas del sistema; éstos últimos están restringidos a una o dos playas y la mayoría poseen pocas especies costeras, pero tienen una presencia notable de especies de otras comunidades.

Una segunda aplicación de la base de datos consistió en la descripción de la flora de dunas costeras, presentada en el Capítulo III. En este capítulo se sintetizan las características más importantes relacionadas con la presencia y la frecuencia de familias, géneros y formas de crecimiento, y con su distribución, tanto a lo largo de la costa como en diferentes hábitats, con base en el muestreo de 44 sitios y en la revisión de ejemplares de herbario y de la bibliografía. Se determinó el porcentaje de especies presentes en cada uno de los tres ambientes diferenciados; es decir, el ambiente de dunas, sujeto a altas tasas de movimiento de arena y en ocasiones alta salinidad; el ambiente de hondonadas, sujeto a fluctuaciones de manto freático; y el ambiente estabilizado, donde hay una alta cubierta de vegetación y donde los factores físicos como el movimiento de arena, la salinidad y la inundación no son determinantes.

Un análisis más realizado con la información incorporada en la base de datos se presenta en el Capítulo IV, en el cual se examinó con más detalle una de las causas de la riqueza florística de las dunas (el tipo de especies presentes) y su preferencia por cierto hábitat o región. Las especies recolectadas o registradas fueron divididas en tres grupos en función de su distribución. Se denominó "costeras" a aquellas especies distribuidas principalmente en la costa (sistemas de dunas); "secundarias" a aquellas frecuentemente localizadas en zonas perturbadas o alteradas por la actividad del hombre; e "invasoras de otras comunidades" a aquellas que son características de otros

tipos de vegetación ubicados tierra adentro y que han encontrado un hábitat favorable en las dunas. Para los tres grupos se analizó su presencia en los diferentes hábitats y regiones de las dunas y su influencia sobre la diversidad. Se encontró un total de 71 especies (10.83%) eminentemente costeras, 237 secundarias (36.2%), y 336 especies (51.3%) propias de otros tipos de comunidades. Las especies costeras tuvieron una distribución mucho más regional, en tanto que las especies secundarias y las especies invasoras de otro tipo de vegetación presentaron un patrón de distribución más bien local. Este análisis permitió concluir que la distribución y la riqueza de especies dentro de cada sitio depende tanto del tipo de sistema a lo largo del litoral como de su grado de estabilización.

Finalmente, el Capítulo V es un ejemplo de cómo la sistematización de la información en una base de datos permite alcanzar una mejor comprensión del funcionamiento de los sistemas de las dunas costeras. Este capítulo ofrece una visión amplia de los sistemas costeros a través de la importancia de su diversidad, enfatizando su relevancia para la conservación, discutiendo la importancia de las especies raras y analizando los mosaicos espaciales de las comunidades costeras. El análisis indica que a nivel local el factor más importante que incrementa la biodiversidad es la vecindad con otras comunidades y la presencia de una gran variedad de microambientes que posibilitan la colonización de especies. Así mismo, se hace énfasis en la afectación que sufren las dunas costeras por las actividades humanas y por procesos naturales como tormentas y huracanes, y en el hecho de que la conservación de los ambientes costeros es importante para mantener las especies endémicas de estos sistemas en México. De este análisis se desprende que en el manejo y conservación de dunas costeras hay que considerar a las especies y a los procesos



que ocurren constantemente y que en gran medida afectan la biodiversidad de estos sistemas.

Este estudio permitió corroborar la idea de que la incorporación de la información en una base de datos facilita la organización y la extracción de la información de manera ordenada y sistemática, por las posibilidades de síntesis y análisis que abre, mismas que se requieren para el conocimiento a diferentes escalas de los sistemas de dunas costeras.

## ABSTRACT

This dissertation is conformed by four papers, whose common aim was to analyze various aspects of the sand dune systems flora on Mexican coasts along the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea, by using a relational database as the basic tool for the analysis. The general purpose of the study was to examine different applications of a database whose design allowed extracting information at contrasting levels. First, with a regional approach, a broad analysis of the structure and dynamics of these sand dune systems was performed. Another approach focused on individual species' attributes by analyzing more specific information about some components of the system. The database incorporated: 1) floristic field information collected in 44 sites; 2) floristic information obtained from the literature; 3) information on vegetation structure from 44 sites obtained with the same sampling and analysis procedures (*relevé* method and *classification and ordination analyses*); 4) *environmental information (soil, topography, climate, disturbance)*; and 5) *biological information (phenology, species attributes)*.

By making queries to the database it was possible to synthesize the floristic composition and vegetation structure of the sand dune systems, by comparing environmental and floristic similarities and differences among localities (Chapter II). This procedure led to a regionalization based on geographic, climatic, and vegetational features along the studied coasts. Among the five regions that were distinguished important differences existed regarding structural complexity and composition. Some floristic groups with a regional distribution were identified, most of which are composed of coastal species occurring along the coastline, whereas others were found to

characterize the protected and stabilized zones, as well as the wet slacks of the system. The latter groups are restricted to one or two beaches, and most of them comprised only a few coastal species, while they have a noticeable presence of species typical of other communities.

A second application of the database produced the description of the coastal sand dune flora presented in Chapter III, including a synthesis of the most important characteristics of the system related to the presence and frequency of families, genera and growth forms, as well as to its distribution both along the entire coastline and in different habitats. This analysis was based on the vegetation sampling conducted in 44 sites and on the revision of herbarium vouchers and literature. Three environmental types were recognized, and the proportion of species present in each was assessed, namely the dune environment, which is subjected to high rates of sand movement and occasionally to a high salinity; the slack environment, which is subjected to water table fluctuations; and the stabilized environment, where vegetation cover is large and physical factors such as sand movement, salinity and inundation are not determinant.

In Chapter IV, the database allowed to analyze in greater detail the effect of the species' ecological affinities and their preference for habitat types or regions on the floristic richness of the dunes. All collected or registered species were classified into three groups according to their distribution. Those species distributed mainly on the coast (dune systems) were called "coastal"; those frequently distributed in naturally or man-disturbed areas were classified as "secondary"; and those species typical of other plant communities occurring further inland, but that have found a favorable habitat in the dunes, were called "invaders from other communities". The presence of the three groups was analyzed in the different habitats and regions of the dune system, as well as their

influence on the system's diversity. A total of 71 species (10.83%) were found to be uniquely coastal, 237 were secondary (36.2%), and 336 species (51.3%) were typical of other communities. Coastal species tended to have a more regional distribution, whereas secondary species and species invading from other communities showed rather local distribution patterns. This analysis led to the conclusion that specific richness and individual species distributions within sites depend both on the kind of system along the coastline as well as on the stabilization degree of the sand substrate.

Finally, Chapter V illustrates how the systematization of the information in a database allows one to gain a better comprehension of the functioning of coastal sand dune systems. This chapter offers a broader insight of the coastal dune systems through the examination of its relevance to biological diversity, and by emphasizing its prime role in biological conservation. Here the importance of rare species is discussed, and the spatial mosaics that form coastal communities is analyzed. The results indicate that at a local level, the most important factor with an apparent increasing potential of the system's floristic richness is the vicinity to other plant communities, together with the existence of a large variety of microenvironments that render colonization of many species possible. The role of disturbances affecting coastal dunes, both anthropogenic and those caused by natural processes such as storms and hurricanes, is examined, as well as the fact that conservation of coastal systems is critical for the maintenance of species exclusive of these habitats in Mexico. From this analysis it is concluded that in managing and conserving coastal sand dunes, considering species identities and attributes and the processes that constantly take place in them is essential, as these two factors are major determinants of the system's biodiversity.

The present investigation confirmed the idea that compiling information in a database simplifies the organization and withdrawal of information in an orderly and systematic fashion, given the possibilities of analysis and synthesis that it offers, both of which are essential in order to acquire the necessary knowledge about sand dune systems at different scales.

# INTRODUCCIÓN

## 1.- Enfoques para estudios de flora.

México es uno de los países más diversos en cuanto a plantas y animales (Mittermeier, 1988; Toledo, 1988). Se ha sugerido que básicamente esto se debe a su localización geográfica en la convergencia de los reinos biogeográficos Neártico y Neotropical, y a la gran heterogeneidad que presenta en cuanto a climas, suelo, topografía e historia geológica (Rzedowski, 1978, 1991; Toledo, 1988; Mittermeier y Goettsch, 1992). Se considera que México, en cuanto a biota de aves, mamíferos, reptiles y plantas, alberga alrededor del 10% de la diversidad del planeta, con porcentajes de endemismo que están entre el 33 y el 65% (Ramamoorthy y Lorence, 1987; Mittermeier y Goettsch, 1992; Rzedowski, 1992). En cuanto a especies vegetales la estimación oscila entre 20 y 30,000, lo que permite ubicar a México en el cuarto lugar a nivel mundial (Ramamoorthy y Lorence, 1987; Mittermeier y Goettsch, 1992; Rzedowski, 1992).

Se ha planteado que la biodiversidad se ve afectada por el incremento de la población humana y los efectos de sus actividades económicas (Myers, 1990; Reid, 1992). En México, las actividades de ganadería o agricultura y las tasas de deforestación tan altas han ocasionado una notable reducción y fragmentación de sus ecosistemas (Toledo, 1988; Dirzo y García, 1992; Landa et al., 1997). Por estas razones, es evidente y de suma importancia conocer cada uno de los ecosistemas de nuestro país, así como ordenar y sistematizar la información de manera que permita dar alternativas de manejo y conservación más adecuados a nuestros recursos naturales.

Una flora se puede definir como un conjunto de especies de plantas dentro de un área o región (Radford et al., 1974). Una flora es el resultado de eventos bióticos (interacciones poblacionales, extinción, etc.) y abióticos (deriva continental, cambios

climáticos, oceanográficos y fisiográficos). La actividad humana es hoy en día un elemento más de impacto en la conformación de las floras. Una flora se modela entonces a través de eventos históricos y actuales, los cuales van cambiando las relaciones entre sus diversos elementos a lo largo del tiempo en una forma muy dinámica (Lawrence, 1951; Heywood, 1973,1978).

Los enfoques de los estudios florísticos han sufrido una evolución. Los primeros inventarios, e incluso muchos de los actuales, son meramente descriptivos. No fue sino hasta principios del siglo XIX con los trabajos de Humboldt, de Candolle y Hooker, entre otros, cuando se introduce un enfoque analítico en la florística, dando énfasis en los aspectos relacionados con el origen la biota de una región (Rzedowski, 1991).

La elaboración de una flora con un enfoque analítico conlleva una fuerte interacción con otras disciplinas como son la taxonomía, la ecología y la biogeografía. Así mismo, Rzedowski (1991) menciona que un inventario florístico ofrece la oportunidad de ver el conjunto de la flora bajo enfoques de orden sintético, analítico y comparativo, conducentes a su vez a la formulación de conclusiones, interpretaciones y sugerencias de manejo y conservación. En la actualidad, los trabajos florísticos se desarrollan frecuentemente con estudios vegetacionales y es difícil marcar una línea de separación entre ambos enfoques. Esta conjunción nos permite realizar descripciones y análisis más completos necesarios para la conservación y manejo de los recursos naturales (Moreno et al. 1982; Moreno et al 1999).

A pesar de la importancia de contar con la descripción de una flora en un país, no existe una flora de México. Rzedowski (1991) calcula que el número de especies de la flora fanerogámica en nuestro país es aproximadamente de 22,000. Los intentos por cuantificar la riqueza florística se han topado con que un número significativo de plantas

no ha sido descrita y a menudo ni siquiera colectado. Estas estimaciones convierten al país en uno de los que poseen mayor riqueza florística.

## **2.- Generalidades de las dunas costeras.**

Las dunas costeras que se encuentran a lo largo de las costas, ya sea marinas o lacustres, son grandes acumulaciones de arena que se distribuyen tanto en zonas templadas como tropicales. Las diferencias en clima, origen del substrato y topografía local influyen sobre la composición florística, produciendo importantes diferencias entre una región y otra (Barbour, 1992; Moreno-Casasola et al., 1999).

Los factores que se han considerado como los de mayor efecto sobre los sistemas de dunas costeras son el movimiento de arena (Moreno-Casasola et al., 1982, 1986; Maun, 1990,1994), la baja capacidad de retención de agua en la arena y las fluctuaciones del manto freático ( De Jong y Klinkhamer; 1988; Martínez et al., 1997), la cantidad de nutrientes disponibles y los cambios en el pH del suelo (Eldred y Maun, 1982; Moreno-Casasola et al., 1982), la alta radiación solar (Moreno-Casasola 1982; Barbour, 1992; Maun, 1994), la aspersion salina (Ranwell, 1972; Maun, 1990; 1994), y los disturbios, los cuales juegan un papel importante en la dinámica de la vegetación (González-Loera y Moreno-Casasola, 1982; Barbour, 1992; Chapman, 1992; Kooijman et al., 1998. Martínez et al., 1997). Tanto la forma como la orientación de las dunas costeras están determinadas por la dirección y velocidad de los vientos (Ranwell, 1972; Carter et al., 1990; Kooijman et al., 1998).

Moreno-Casasola et al. (1998) mencionan que en el Golfo de México y en el mar Caribe se tiene dos grandes tipos de sistemas de dunas, que se extienden desde unos cuantos metros hasta 3 ó 4 km tierra adentro: 1) **Sistemas sencillos** que consisten de



una playa y un primer cordón de dunas paralelo a la costa, generalmente estrecho, y que posteriormente se continúa con otro tipo de sistemas como selvas o zonas cultivadas. Este tipo de sistema es común en el sur de Veracruz y Tabasco y se puede considerar simple desde el punto de vista topográfico. Entre los sistemas sencillos están los formados por playas angostas o anchas, con una extensión ondulada de varios cientos de metros, donde el primer cordón tiene una altura apenas perceptible; este tipo de sistemas son comunes en los estados de Tamaulipas, Campeche, Yucatán y Quintana Roo; 2) **Sistemas complejos**, la cuales consisten de una en una playa angosta o ancha, dunas embrionarias y un primer cordón, seguido por un conjunto de dunas parabólicas que alcanzan hasta 25 m de altura y que se pueden encontrar en diferentes grados de estabilización y de heterogeneidad ambiental. Este tipo de sistema se localiza preponderantemente en el norte de Tamaulipas y centro de Veracruz.

La existencia de mosaicos complejos de ambientes y comunidades a lo largo de las costas es un factor importante a considerar si se quiere evaluar la biodiversidad costera. Este número y variabilidad de condiciones ambientales produce una gran riqueza y heterogeneidad de hábitats que favorece la presencia de numerosas plantas y animales con formas de crecimiento y adaptaciones muy diferentes. Así mismo, se debe considerar la existencia de diversos factores que promueven la biodiversidad de los sistemas costeros, los cuales deben verse a diferentes escalas y bajo diferentes enfoques complementarios. La primera de las escalas es a nivel geográfico, la segunda a nivel local y la tercera a nivel de microambientes o hábitats. Cada una de estas escalas resulta en un mosaico florístico/ambiental cuya dimensión depende del enfoque usado (Castillo et al., 1991; Duffaud, 1998; Moreno-Casasola, 1988; Moreno-Casasola, et al. 1999).

La heterogeneidad en un sistema brinda una mayor variedad de condiciones, y por lo tanto de posibilidades, de establecimiento para las especies. En el sistema de dunas costeras la heterogeneidad se produce a través de la acción de numerosos factores, entre los que se distinguen el movimiento de arena, la inundación con agua de mar, el afloramiento del manto freático, la descomposición de organismos y su incorporación como nutrientes, la sombra producida por la copa de arbustos y árboles, la depredación diferencial en los matorrales y fuera de ellos, etc. Todos estos procesos modifican el ambiente, creando pequeñas diferencias a las que las plantas pueden responder (Ranwell, 1972; Carter et al., 1990; Kooijman et al., 1998).

La existencia de un gradiente de estabilización a lo largo del cual la influencia de los factores físicos se atenúan, a la vez que se incrementan diversos tipos de interacciones biológicas, resulta de una heterogeneidad propia de cada microambiente, así como también de una heterogeneidad a nivel del mosaico de vegetación. En especial, la interacción entre el océano y la tierra produce gradientes donde los factores intrínsecos de cada sistema fluctúan entre extremos, lo cual repercute de manera importante en la vida y en los procesos biológicos (Moreno-Casasola et al., 1999; Moreno-Casasola y Espejel, 1986; Castillo et al., 1991; Kooijman et al., 1998).

Entre los procesos básicos que regulan la dinámica, y por lo tanto la composición y estructura de la flora de los sistemas de dunas costeras, está la capacidad de las especies para resistir la acreción de arena y el desenterramiento, su capacidad para obtener agua profunda o de rocío, y sus mecanismos reguladores de la presión osmótica (Martínez et al., 1997; Sival et al., 1998). Así, la capacidad para manejar este tipo de áreas se basa en el entendimiento de los mecanismos de fijación del sustrato, lo cual implica directamente la diseminación de las semillas o frutos, sus condiciones de

germinación, el establecimiento de plántulas, la tolerancia al enterramiento o al desenterramiento y en general la capacidad para crecer en estas condiciones (Martínez et al., 1997; Sival et al., 1998).

En las comunidades establecidas sobre las dunas costeras del Golfo de México y del mar Caribe encontramos una gran riqueza de especies y una gran heterogeneidad en la estructura de la vegetación. Entre las condiciones que afectan a estas comunidades destacan la movilidad del sustrato, la escasez de humedad en el suelo, las altas concentraciones salinas, la baja disponibilidad de recursos, la cercanía con otras comunidades, la dinámica de la vegetación y los patrones de distribución. En estas condiciones existe una muy clara correspondencia entre los cambios cíclicos de reproducción y crecimiento y los cambios físicos a lo largo del año (Moreno-Casasola et al., 1998).

Los patrones sucesionales descritos para dunas costeras sugieren que el cambio desde las primeras colonizadoras hasta un bosque bien desarrollado puede durar desde cientos hasta miles de años, dependiendo del desarrollo del suelo (Clark, 1986; Ehrenfeld, 1990). La sucesión en las dunas puede ser primaria (colonización de arena desnuda) o bien secundaria (en zonas donde la vegetación ha sido total o parcialmente removida, pero que están afectadas por la vegetación previa debido a que hay propágulos en el suelo; Berendse et al., 1998).

Por efecto de los disturbios se abren huecos en las dunas y la arena desnuda comienza a moverse y se desestabiliza. Este proceso trae como consecuencia el desarrollo de un mosaico de vegetación de distintos estadios sucesionales (Moreno-Casasola et al., 1982; Castillo et al., 1991; Acosta, 1993; Pérez, 1993). Este mosaico

también se forma por la aparición de manchones de especies arbustivas en los pastizales que cubren las dunas.

Los parches que conforman este mosaico tienen diferentes características (factores ambientales, disponibilidad de recursos, cercanía con otros parches), de manera que las especies capaces de colonizar y establecerse en cada uno de ellos también pueden ser diferentes. En cada parche ocurre una sucesión de especies a pequeña escala, la cual está determinada por el tamaño del parche, los mecanismos de colonización de las especies, las fluctuaciones ambientales, la historia de vida de las especies y la migración de propágulos de un parche a otro. Los disturbios retrasan la sucesión o la regresan a etapas anteriores, y así funcionan como un factor clave que mantiene la dinámica en parches de la comunidad (Pickett y White, 1985). La frecuencia con que se presentan los disturbios locales afecta la entrada de otras especies al sistema: si son muy recurrentes se mantiene una etapa seral temprana, y si ocurren muy esporádicamente, la vegetación tardía puede ser la predominante (Connell, 1978).

La distribución de las especies y de los tipos de comunidades al interior de una localidad responde claramente al conjunto de condiciones físicas imperantes en cada sitio. Así, podemos reconocer una franja de dunas que denominamos zona de pioneras, en las áreas de playa posterior al límite de mareas altas; una zona de dunas denominada intermedia que en algunos casos puede presentar dunas semimóviles compuesta de diversos hábitats (brazos, cresta, hondonada seca y hondonada inundable, zona móvil) o que puede ser un área con una composición específica pero cuyo principal componente florístico es de especies con una estructura herbácea; y finalmente un franja de dunas fijas ocupada principalmente con matorrales u otro tipo de

vegetación como pueden ser selvas bajas caducifolias o subperennifolias. Es notable la riqueza de tipos de comunidades en zonas con una superficie tan restringida (Castillo et al., 1991; Duffaud, 1998; Castillo et al., 1996).

Tradicionalmente las dunas costeras han sido utilizadas para el establecimiento de pastizales para ganado, para el cultivo de coco, de caña o de otras especies. Sin embargo, se ha demostrado que cuando el suelo por diversas razones pierde la cobertura vegetal, se inicia un movimiento activo ocasionado por la acción del viento. Esto hace a estas zonas terriblemente frágiles y peligrosas, pues la arena es capaz de desplazarse rápidamente, invadiendo áreas de cultivo, vías de comunicación o áreas urbanas, causando grandes perjuicios.

En el manejo y conservación de las dunas costeras no sólo hay que tener en cuenta a las especies, sino también a los procesos que están ocurriendo. Las políticas de conservación de dunas costeras llevadas a cabo en otros países tienden a mantener todo tal y como está, dejando a un lado la dinámica propia del sistema y sin tomar en cuenta el hecho de que los patrones espaciales cambian en el tiempo. Es importante considerar que un paisaje dinámico implica que los procesos siempre están ocurriendo y que la conservación puede alterar estos procesos. Es decir, en un ambiente tan dinámico como el que estamos tratando, una situación en particular (por ejemplo las partes estabilizadas) no debe ser el objetivo único de conservación. Más bien lo que se debe considerar es al paisaje de dunas como una entidad que cambia en el tiempo y en el espacio. Así, una política de conservación más adecuada implica conservar de tal manera que se permitan todos los procesos naturales que suelen ocurrir en el paisaje de dunas costeras (Wanders 1989; Westhoff 1989; Lambeck y Saunders, 1993; Law y Dickman, 1998). Esto abarca la conservación de todos los estadios sucesionales,

incluyendo aquellos donde hay un gran movimiento de arena. Si se tiende a una fijación general de las dunas, entonces no hay un rejuvenecimiento eólico, lo que trae como consecuencia la desaparición de etapas sucesionales tempranas. De esta manera se llega a perder el mosaico de diversos estadios sucesionales, incrementándose notoriamente los más estables, y disminuye de manera importante la variación natural de las dunas (van der Meulen y Jungerius, 1989; Turner y Corlett, 1996).

Resumiendo, la conservación de la biodiversidad de playas y dunas costeras forma parte de la conservación de la biodiversidad de toda la franja terrestre del litoral, y a su vez debe enmarcarse dentro de un contexto más amplio que incluya al paisaje como un mosaico ambiental con parches de diferente composición y estructura. Es importante señalar que la investigación en estos sistemas es indispensable para lograr un buen manejo de los mismos. La comprensión del funcionamiento de las dunas costeras propiciará una mayor capacidad para la toma de decisiones y en mejores políticas de conservación de estos sistemas tan diversos y frágiles. Se debe tomar en cuenta que estas comunidades forman parte de un paisaje costero de la misma manera que otras comunidades inundables como los humedales dulceacuícolas, los manglares y los salitrales rocosos, y que el conjunto de este paisaje protegen los ambientes tierra adentro durante tormentas u oleajes muy fuertes.

Finalmente, la riqueza de especies y la estrecha dependencia de éstas con el medio físico sugieren que estos sistemas deben conservarse también con fines educativos y de investigación, ya que las condiciones limitantes establecidas permiten diseños experimentales simples que arrojarían gran información acerca de las características de la historia de vida de las plantas adaptadas para permanecer en distintos hábitats de las dunas.

### **3.- Concepción y desarrollo de una base de datos biológicos para las dunas costeras del Golfo de México y el Caribe mexicano.**

Todas las áreas de la ciencia recopilan gran cantidad de datos, que deben incrementarse y actualizarse de forma permanente y eficiente para su consulta y análisis. Por ello es necesario disponer de un banco de datos, el cual requiere un diseño funcional, flexible y cuidadoso, tanto en el terreno informático como en el conocimiento de datos biológicos para investigaciones, consultas e informes científicos.

En este apartado se introducen algunos conceptos generales acerca de las bases de datos, para después mostrar la construcción de una base de datos biológicos para las dunas costeras del Golfo de México y del Caribe, desde su concepción hasta su instrumentación en un manejador de bases de datos.

#### **a) Conceptos generales de bases de datos.**

En general se puede decir que una base de datos es una colección organizada de información que pretende modelar la estructura intrínseca de los datos almacenados, independientemente de las aplicaciones que empleen los datos. En esencia, es un sistema de mantenimiento de registros basado normalmente en computadoras, es decir, un sistema cuyo propósito general es recopilar, registrar, mantener y recuperar información. Este sistema debe ser capaz de almacenar datos en forma eficiente, manejar asociaciones múltiples y proporcionar acceso tanto directo como secuencial a la información (Date, 1986).

La existencia de bancos de información permite la rápida difusión y utilización de los productos de la investigación. Es una vía más eficaz y flexible que las propias

publicaciones impresas para extender los beneficios de la actividad académica a la sociedad. La existencia de buenos sistemas de manejo de bases de datos apoya al progreso de la ciencia básica. Las formas actuales de manejo de bases de datos surgen de las necesidades del procesamiento de información en los negocios, las cuales tienen requerimientos diferentes a los de bases de datos científicas. Martin (1983) menciona algunas de las características a las que deben responder los sistemas actuales para el manejo de bases de datos: a) eficiencia en el acceso y modificación de grandes cantidades de datos; b) flexibilidad o adaptabilidad a los cambios de hardware o errores de software; c) detección y recuperación a los errores de software; d) control de acceso tanto permitiendo la entrada a múltiples usuarios, como accesos restringidos y autorizados a partes de la información; e) capacidad de guardar y mantener los datos por grandes periodos de tiempo, independientemente de los procesos que permitan el acceso a ellos; y f) facilidad para a los usuarios en el acceso, la manipulación y el diseño de las bases de datos.

#### **b) Enfoques en el manejo de bases de datos.**

El primer enfoque que surge para el manejo de grandes cantidades de datos por medio de la computadora es el llamado **jerárquico**. Su filosofía para construir bases de datos requiere que todos los registros semejen jerarquías, donde algunos registros son las "raíces" y otros sus sucesores. El lenguaje para la consulta de este tipo de bases de datos era complicado, pues el usuario debía recorrer los registros desde la raíz hasta aquél que le interesaba, accedando uno a la vez.

El segundo enfoque, llamado **en red**, consiste en que la colección de registros están arreglados como una red, interconectados unos con otros y con varios puntos de



entrada. Para consultar un dato, el usuario tiene que saber el punto de entrada y recorrer la retícula hasta encontrar la información deseada.

Estos dos enfoques tenían algunas desventajas fundamentales (Date, 1986): 1) para ofrecer una respuesta a alguna consulta sobre los datos, se requería de un *programador que debía escribir un programa complejo para rastrear en la estructura de los datos*, y 2) al cambiar la estructura de la base de datos, lo que pasaba al agregar nuevos tipos de campos o información, los programas se debían reescribir.

Codd (1971) propuso un nuevo enfoque, el **modelo relacional**. Para él se parte de la base de que los datos se pueden representar en forma de tablas, en las que las columnas representan atributos o características de los datos y en los renglones se van almacenando los datos o entidades con los valores correspondientes para cada atributo. El lenguaje de consulta es por medio de enunciados o predicados que definen las características del dato o conjunto de datos que se desean obtener (Kim, 1979).

Así pues, el modelo relacional presenta varias ventajas: a) permite almacenar la información en forma tabular, que es una estructura sencilla y familiar a los usuarios en general; b) el permite definir nuevas relaciones o tablas; y c) es mucho más sencillo describir las características de los datos que se desean obtener, que decir a la computadora cómo buscarlos a través de otro tipo de estructura por medio de un programa.

### **c) Etapa de diseño de una base de datos**

El diseño de una base de datos conlleva los siguientes pasos, mismos que serán explicados en el inciso "Creación de una base de datos para los sistemas de dunas costeras del Golfo de México y del Caribe mexicano".

1.- *Definición del modelo conceptual.* Esta parte constituye la fase inicial en el proceso de diseño de una base de datos. En ésta se analiza la información que va a ser almacenada y se identifican las entidades, las características o atributos que presentan y se definen las tablas o relaciones necesarias.

2.- *Elección del manejador de bases de datos.* Éste debe incluir un lenguaje que permita consultar la información en forma accesible para cualquier usuario, así como un diccionario de definición de datos basado en el modelo conceptual constituyendo el llamado modelo lógico.

3.- *Mapeo del modelo conceptual dentro del manejador de bases de datos elegido.* Ya conocido el diseño de la base, tiene que transcribirse a un modelo lógico, usando una estructura fundamental la del Sistema Manejador de Bases de Datos (DBMS Data Base Manager System).

4.- *Cálculo del espacio requerido para almacenar cada una de las tablas.* Ya definidas las tablas que van a formar la base, es necesario estimar el espacio requerido para almacenar cada una de ellas.

5.- *Asignación de los espacios para el almacenamiento de las tablas.* Conociendo el espacio que se requiere para cada tabla, se deben reservar los espacios físicos en memoria necesarios.

6.- *Creación de las tablas y vistas.* Con todo lo anterior, entonces se tiene la posibilidad de crear físicamente en la computadora las tablas que se requieren en general, así como las necesarias para una aplicación en particular, a las cuales se les llama "vistas". Para esto se definen para cada tabla los atributos que tendrá, el tipo de datos o dominio, y si es un campo que sirve para identificar una entidad (al cual se le llama "llave").

7.- *Asignación de valores a una tabla.* Se introducen los datos concretos que se van almacenar en la base y los diccionarios correspondientes.

8.- *Comunicación del manejador de bases de datos con otros sistemas.* Con la información de alguna consulta se instrumenta el uso de paquetes estadísticos para un análisis específico.

#### **d) Bases de datos científicas.**

Una base de datos científica es una aplicación especializada de una base de datos. En ésta, la información que se almacena no es dinámica en el sentido de que existen pocos cambios en el contenido de la misma, reduciéndose éstos a inserciones de nuevos datos o corrección de información errónea, pero pocas veces a la eliminación de datos. Otra característica de este tipo de bases, es que las consultas demandan un alto porcentaje de recuperación de información, generalmente superior al 10%, al hacer procesamientos más elaborados como podrían ser cálculos integradores estadísticos, de validación, calibración, etc. Otra particularidad de estas bases es que el contenido de los datos es básicamente de dos tipos: para clasificación o para ordenamiento (Zicari, 1990).

#### **e) Creación de una base de datos biológica.**

Los investigadores ocupan buena parte de su tiempo en recopilar, consultar, verificar y ordenar datos. Esta labor frecuentemente duplica esfuerzos y el consiguiente dispendio de recursos. Además, no siempre se puede garantizar que la información de los resultados sea actual, completa y confiable. En términos generales puede decirse que aunque exista buena información disponible sobre la mayoría de los temas, las fuentes suelen estar dispersas y/o son de difícil acceso. Lo anterior es válido respecto a

los estudios de las ciencias biológicas, pero también se aplica a las ciencias de la tierra, del mar, de la atmósfera y otras (Shetler, 1974; Kim et al., 1986).

Recientemente se han realizado esfuerzos serios por organizar y automatizar la información, y éstos van aunados del desarrollo tecnológico sobre lenguajes de programación de alto nivel, manejadores de bases de datos versátiles, telecomunicaciones y redes de cómputo que enlazan equipos de diferentes capacidades y con distintos sistemas operativos y aplicaciones (Rojas y Castillo, 1990).

Hay que hacer énfasis en que la creación de una base de datos no resuelve el problema general de manejo de información, porque si bien proporciona una herramienta útil en la selección de los datos, no proporciona en sí misma las facilidades de análisis que puedan ser requeridas. Por lo tanto, se hace necesario interconectar el sistema de manejo de bases de datos con un sistema que permita consultar la base para seleccionar los datos y proporcionar las herramientas necesarias para el análisis. Éste es un problema no resuelto por los manejadores de bases de datos comerciales actuales, por lo que en general son necesarias una serie de transformaciones de los datos de las bases de datos para ser compatibles con los paquetes usados frecuentemente para el análisis.

Los sistemas de dunas costeros de la vertiente atlántica de México ocupan una franja angosta que se extiende a lo largo de aproximadamente 2000 km de litoral. Como se mencionó anteriormente, son sistemas con alta complejidad ambiental, ya que la variabilidad y la heterogeneidad de la topografía trae como consecuencia la existencia de una variedad de hábitats. Éstos van desde los inundables hasta aquéllos en los que el manto freático está fuera del alcance de las plantas, así como desde sitios donde el substrato puede ser móvil hasta donde es totalmente fijo. Esta gran variabilidad de

hábitats es uno de los factores que favorece la alta riqueza de especies a lo largo de los parches o mosaicos de vegetación que se establecen en ellas (Moreno-Casasola et al., 1982; Moreno-Casasola y Espejel 1986; Castillo et al., 1991). Aunque abarquen poca distancia tierra adentro, son sistemas sujetos al impacto de numerosas actividades humanas. Entre las principales están las actividades turísticas y las plantaciones de coco. Otras menores son la extracción de agua, las actividades petroleras, la agricultura y la ganadería local en baja escala, entre otras. Muchas de estas actividades son imprescindibles para el desarrollo del país, algunas por la generación de recursos que producen (desarrollos turísticos) y otras por su importancia para la subsistencia de los miembros de pequeños poblados. Por tanto, es necesario contar con un conocimiento lo más completo, detallado y actualizable de los sistemas costeros que permita encontrar, planear y formalizar el balance entre el uso y la conservación.

Como una estrategia para conocer y poder sistematizar toda la información de recopilada a través de 10 años de investigación en los sistemas de dunas costeras se decidió diseñar una base de datos relacional. De esta manera, investigaciones futuras, hipótesis no planteadas de antemano o simplemente el manejo estadístico de datos puedan extraerse fácilmente de la base, constituyéndose así en una herramienta útil en la selección y manejo de los datos. La información que se incorporó a la base fue obtenida en 44 sitios a lo largo de toda el área de estudio, los cuales se muestran en la **Figura 1.**

A continuación se explica en detalle cómo se obtuvo, se categorizó y se resumió la información de cada archivo, y finalmente cómo se estructuraron los archivos dentro de la base. La metodología de campo y de laboratorio que generó el conocimiento de la vegetación de los sistemas de dunas costeras del Golfo de México y del Caribe, y que

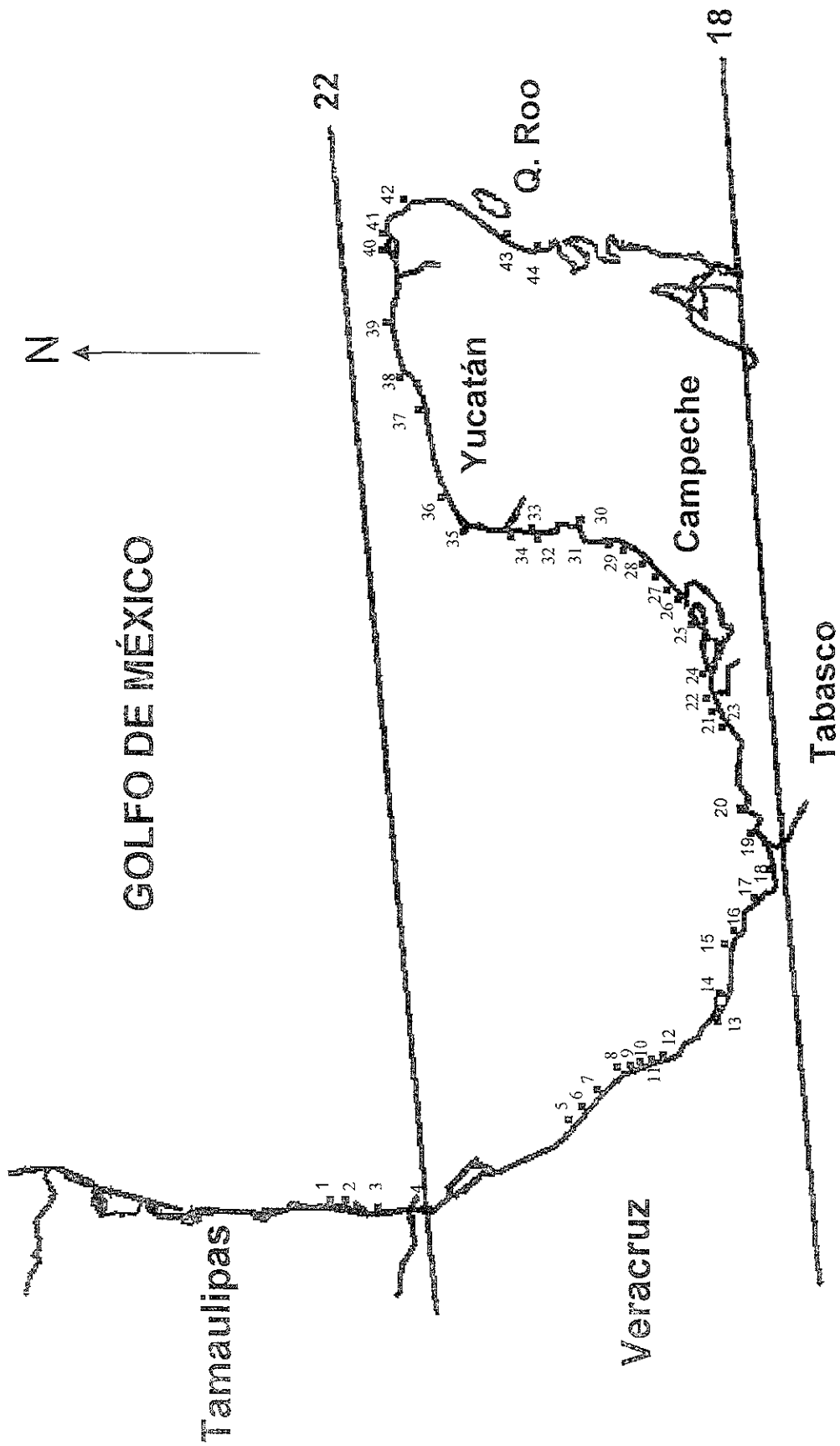


Figura 1. Localización de los sitios de estudio.

fue la base para la generación de la base de datos, incluyó los siguientes aspectos: 1) diseño del método de muestreo y selección de los sitios de trabajo; 2) diseño y estrategias del análisis de la información; y 3) concepción y desarrollo de la base de datos.

*1. Diseño del método de muestreo y selección de los sitios de trabajo.* Se seleccionaron los sitios y se hizo un recorrido previo que permitiera reconocer la zona en general, apreciar su diversidad de condiciones y de vegetación, llevar a cabo una primera colecta florística y delimitar el área de muestreo. Ésta se delimitó por la presencia de suelo arenoso o bien por la presencia de otro tipo de comunidad (salina, manglar, pastizal en uso). Además, un factor que determinó de manera importante la selección de sitios fue su accesibilidad. La **Tabla 1** muestra las características generales de cada uno de los sitios de muestreo.

Para poder describir la vegetación del sistema de dunas y su zonación, en cada sitio se realizaron varios transectos de banda de 1 m de ancho, desde la playa hacia el interior de las dunas, que permitieran determinar los diferentes hábitats existentes y la estructura y composición de especies que presentaban. La longitud de los transectos estuvo en función de los criterios de delimitación, abarcando entre 80 y 2000 m. Para cada metro cuadrado se anotaron una serie de datos tanto ambientales como sobre la vegetación. Entre los primeros están la altura sobre el nivel del mar (se utilizó un dispositivo como el descrito por Johnson, 1977, 1982), la distancia al mar, la pendiente y su orientación, el porcentaje de arena descubierto y sus colindancias. Cada 25 ó 50 m, dependiendo de la extensión de la zona, se tomaron muestras de suelo para su posterior análisis. Así mismo, se tomaron datos sobre la estructura de la vegetación (No. de estratos, altura y cobertura), especies dominantes y características relevantes

**Tabla 1.** Generalidades ambientales de 44 sitios muestreados, CSI= suelo con sílice, SSI= suelo silíceo, SCA= suelo calcáreo.

No.Sitio	Nombre del Sitio	Estado	Tipo de suelo	Tem. Media Anual °C	Precipitación Total ( mm).
1	Barra del Tordo	Tamaulipas	CSI	23.57	968.8
2	Barra de Chavarría	Tamaulipas	CSI	25.19	1006.9
3	Bocatoma	Tamaulipas	CSI	25.19	1006.9
4	Faro Morro	Veracruz	SSI	23.20	1606.0
5	Raudal	Veracruz	SSI	24.40	1292.0
6	Riachuelo	Veracruz	SSI	24.40	1292.0
7	Morro de la Mancha	Veracruz	SSI	25.40	1259.0
8	Rancho Quijote	Veracruz	SSI	25.40	1259.0
9	Doña Juana	Veracruz	SSI	25.40	1259.0
10	Chalchihueca	Veracruz	SSI	25.40	1259.0
11	Rincón del Pirata	Veracruz	SSI	25.00	1230.0
12	Antón Lizardo	Veracruz	SSI	23.30	1694.7
13	Playa Azul	Veracruz	SSI	25.30	1694.7
14	El Capricho	Veracruz	SSI	25.30	1694.7
15	La Trocha	Veracruz	SSI	25.30	1694.7
16	Gaviotas	Veracruz	SSI	28.60	2063.0
17	Playa Norte	Veracruz	SSI	28.60	2063.0
18	Montepío	Veracruz	SSI	26.30	3328.0
19	Sontecomapan	Veracruz	SSI	26.30	3328.0
20	Cuahutemozing	Tabasco	SSI	26.00	1775.8
21	Alvaris	Tabasco	SSI	26.00	1775.8
22	Pailebot	Tabasco	SSI	26.00	1775.8
23	Rancho Grande	Tabasco	SSI	26.00	1775.8
24	Ostión tercero	Tabasco	SSI	26.00	1775.8
25	Flores	Tabasco	SSI	26.00	1775.8
26	Jalapita	Tabasco	SSI	26.00	1775.8
27	Vellizia	Tabasco	SSI	26.00	1775.8
28	Estrella	Tabasco	SSI	26.60	1526.0
29	Emiliano Zapata	Campeche	CSI	26.60	1526.0
30	Santa Rita	Campeche	SCA	26.60	1577.0
31	Puerto Real	Campeche	SCA	26.60	1577.0
32	Isla Aguada	Campeche	SCA	26.60	1577.0
33	Isla	Campeche	SCA	26.60	1577.0
34	Champotón	Campeche	SCA	26.60	1577.0
35	Sisal	Yucatán	SCA	25.50	589.0
36	Celestún	Yucatán	SCA	26.51	777.1
37	Progreso	Yucatán	SCA	25.50	444.0
38	San Benito	Yucatán	SCA	25.50	444.0
39	Telchac	Yucatán	SCA	25.80	570.6
40	Dxilam Bravo	Yucatán	SCA	24.80	601.8
41	Río Lagartos	Yucatán	SCA	25.70	550.0
42	El Cuyo	Yucatán	SCA	26.30	675.5
43	Pto. Morelos	Q. Roo	SCA	26.51	444.0
44	Sian Ka'an	Q. Roo	SCA	26.51	570.6



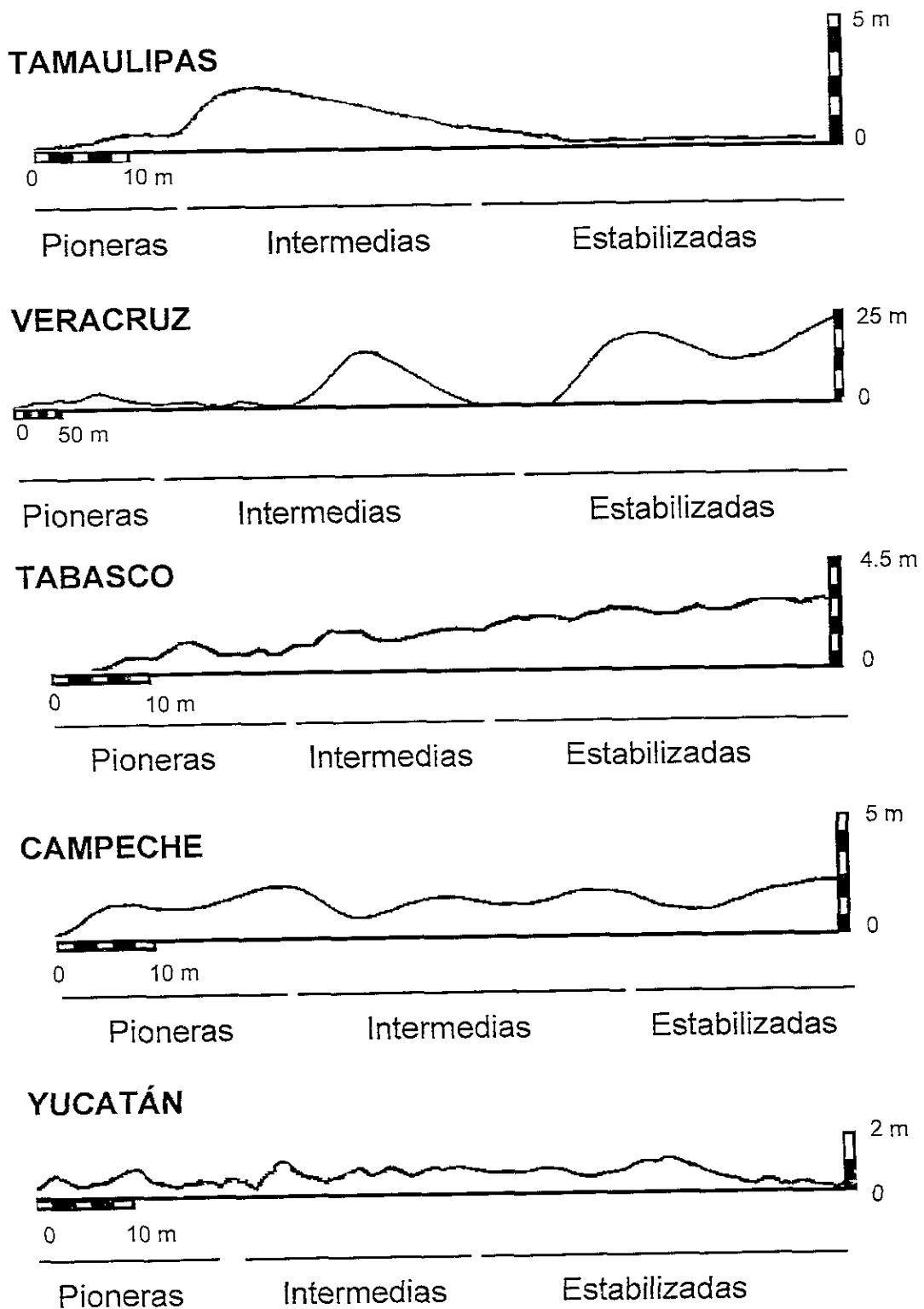


Figura 2. Perfiles tipo de los diferentes sistemas de dunas en los cinco estados en los que se realizó el estudio. Nótese las diferencias de la escala vertical entre los sitios.

presentes en el cuadro. La **Figura 2** ejemplifica cinco transectos de los diferentes estados trabajados.

Un aspecto determinante en el diseño del muestro fue la extensión de la zona a trabajar (Golfo de México y Caribe mexicano). Se buscó utilizar un método de muestreo rápido y eficiente que facilitara el trabajar de manera uniforme y en un periodo corto toda la costa. Esto permitiría contar con datos de vegetación obtenidos de manera uniforme para una gran área geográfica, dando posibilidades de análisis e interpretación más integrales (Moreno-Casasola y Espejel, 1986; Castillo et al., 1991).

La metodología utilizada se basó en el sistema de muestreo fitosociológico de Braun-Blanquet que utiliza como área de muestreo el "levantamiento" (relevé). Cada relevé se basa en la composición florística total de la superficie muestreada y utiliza un área variable en forma y tamaño, a partir de un mínimo, que debe comprender la representación de una asociación vegetal homogénea en composición, estructura y medio ambiente. El método consiste en hacer una estimación cuantitativa de la importancia de la especies dentro de los límites del área establecida (Mueller Dombois y Ellenberg, 1974; Westhoff y Maarel, 1978). Las muestras se escogen subjetivamente, siempre y cuando cumplan con las características de homogeneidad establecidas.

*2. Diseño y estrategias del análisis de la información.* El análisis de la vegetación comprendió la elaboración del perfil de vegetación y un análisis numérico de las muestras. Dicho análisis consistió en la aplicación de métodos multivariados, los cuales permitieron resumir y analizar datos de numerosas variables y zonas al mismo tiempo.

En el presente trabajo se utilizaron dos programas de clasificación elaborados para el análisis de datos: el programa FLEXCLUS (Tongeren, 1986) y el TWINSPLAN

(Hill, 1979 ). También se utilizó el programa de ordenación DECORANA (Hill, 1979) que utiliza un análisis de correspondencia sin tendencias.

La información obtenida se correlacionó con los factores ambientales de mayor significancia y la clasificación final se construyó a diferentes niveles: 1) se trabajó cada sitio por separado para tener una idea de los grupos florísticos locales y su variación; 2) se analizó toda la información en su conjunto de los 44 sitios para obtener una tipología florística del Golfo de México; 3) se caracterizó ambientalmente los sistemas (clima, suelo, topografía) y se identificaron gradientes ambientales y gradientes florísticos; y 4) toda la información se incorporó en la base de datos.

La información obtenida por las diferentes investigaciones de este proyecto están contenidas en: 1) información florística de recolectas de campo de 44 sitios; 2) información florística obtenida de bibliografía; 3) información de estructura de la vegetación de 44 sitios con el mismo tipo de muestreo y análisis; 4) información ambiental como suelo, topografía, clima, perturbación; y 5) información biológica (fenología, características de las especies).

**3. Concepción de la base de datos biológica.** A partir de la información recopilada se estableció el modelo conceptual para los datos. Se decidió almacenar los datos de acuerdo al esquema de la **Figura 3**. En ésta, las entidades se representan encerradas en rectángulos y las asociaciones entre ellas se indican por flechas.

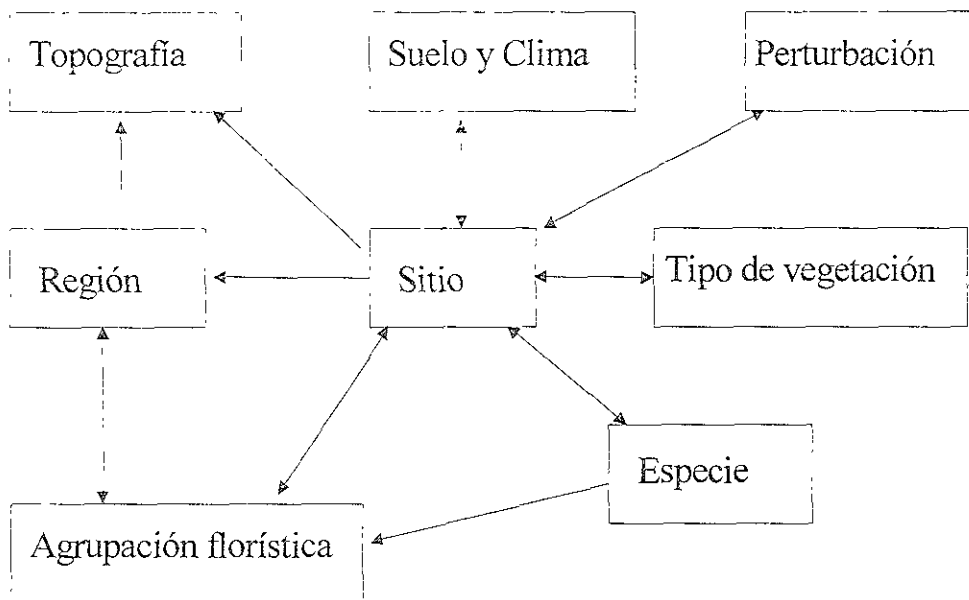


Figura. 3. Modelo conceptual de la base de datos.

En la **Figura 3** se indica que una “*REGIÓN*” está asociada a varios sitios, mientras que cada “*SITIO*” pertenece a una sola “*REGIÓN*”. Las flechas que unen una “*REGIÓN-AGRUPACIÓN FLORÍSTICA*” denotan que una agrupación puede estar asociada a varias regiones, y a su vez una “*REGIÓN*” puede tener varias “*AGRUPACIONES*”. La asociación “*AGRUPACIÓN FLORÍSTICA-SITIO*” denota que un “*SITIO*” puede tener varias “*AGRUPACIONES*”. A su vez, una “*AGRUPACIÓN FLORÍSTICA*” se puede encontrar en varios “*SITIOS*”. La asociación “*TOPOGRAFÍA-SITIO*” denota que varios sitios están caracterizados por la misma topografía. Las flechas entre “*SITIO-PERTURBACIÓN*” indican que varios tipos de perturbación pueden asociarse a un sitio y viceversa. La conexiones entre las entidades “*AGRUPACIÓN FLORÍSTICA-ESPECIE-SITIO*” significan que una o varias especies caracterizan a una agrupación y que ésta va a depender del sitio; así, se tiene la asociación “*SITIO-*

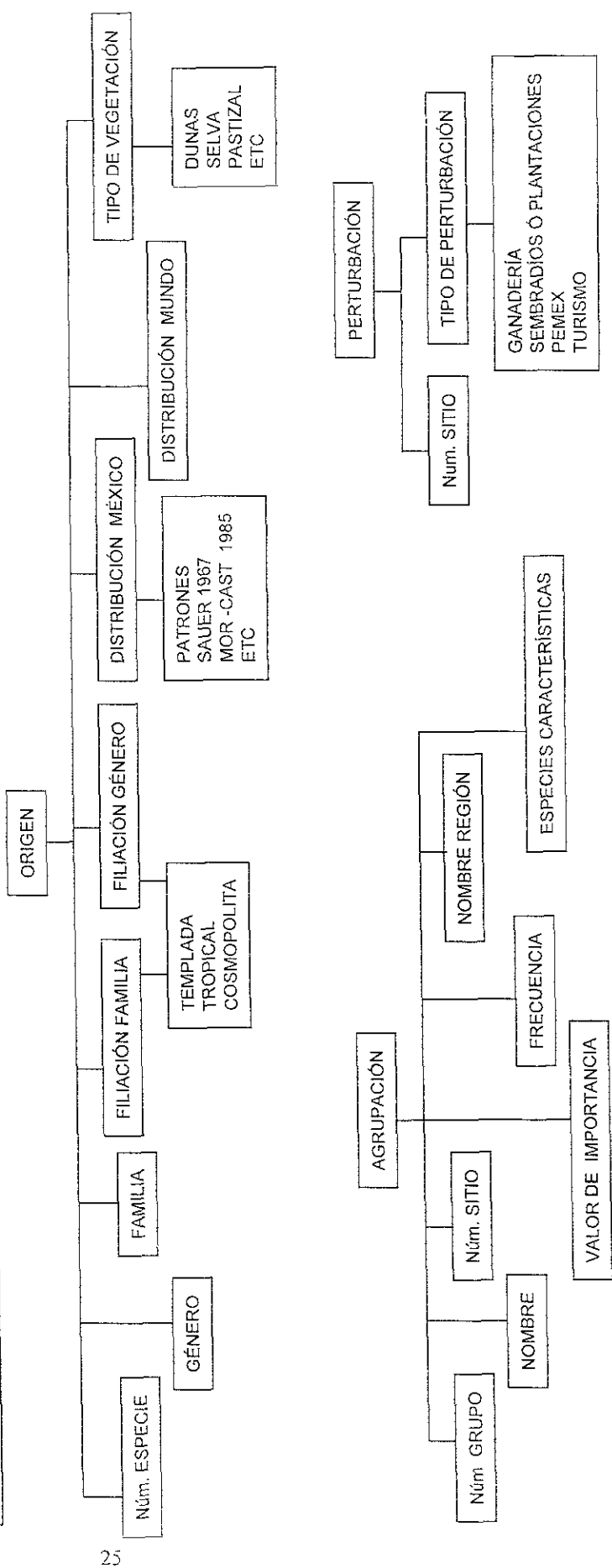
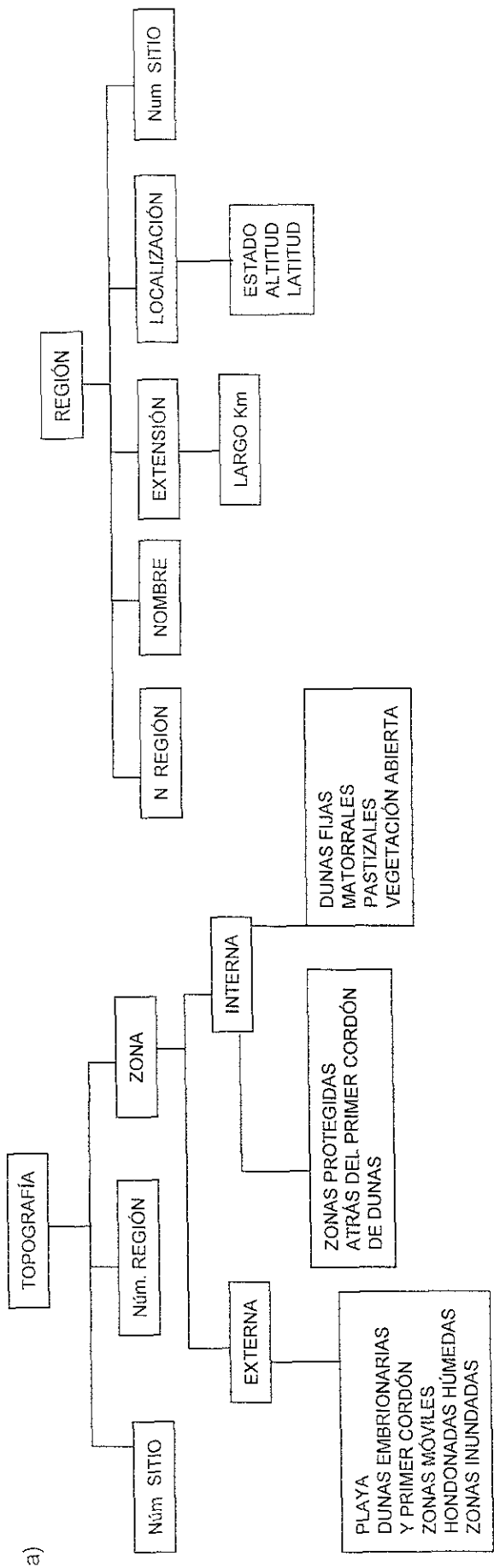
*ESPECIE*” donde una especie se puede distribuir en varios sitios y un sitio puede contener varias especies.

**f) Modelo lógico de la base de datos biológica.**

El modelo lógico de la base de datos de las dunas costeras queda expresada con la colección de tablas que aparecen en la **Figura 4**.

Ya definidas las tablas que van a formar la base, se decide el manejador de bases de datos que se usará. Se seleccionó el uso del programa ACCESS como manejador de la base, el cual es una aplicación que se desarrolló bajo Windows. ACCESS proporciona los recursos básicos de las bases de datos relacionales y también muchas herramientas adicionales entre las que se encuentran: 1) características de afinación y facilidad de manejo; 2) definición dinámica de la base de datos; 3) independencia de los datos; 4) un mecanismo flexible de autorización; 5) facilidad en la consulta y conexión con otros sistemas para el análisis estadístico de datos; 6) posibilidad de recuperación de la base de datos en caso de falla; y 7) control automático de concurrencia.

Un conocimiento amplio de los ecosistemas, logrado a través de métodos eficientes de descripción y análisis de datos, así como la aplicación de conceptos y teorías, permite la selección correcta de los parámetros en el estudio de los procesos que mantienen o desencadenan la pérdida del equilibrio del sistema, y permite sentar las bases y los límites para el uso de los ecosistemas. Por tanto, el tener los datos en forma organizada permite integrar la información de varios años de trabajo y manejarla de una manera más accesible. Con ayuda de las computadoras y las bases de datos, se pueden desarrollar modelos para mantener la información actualizada, accesible a



b)

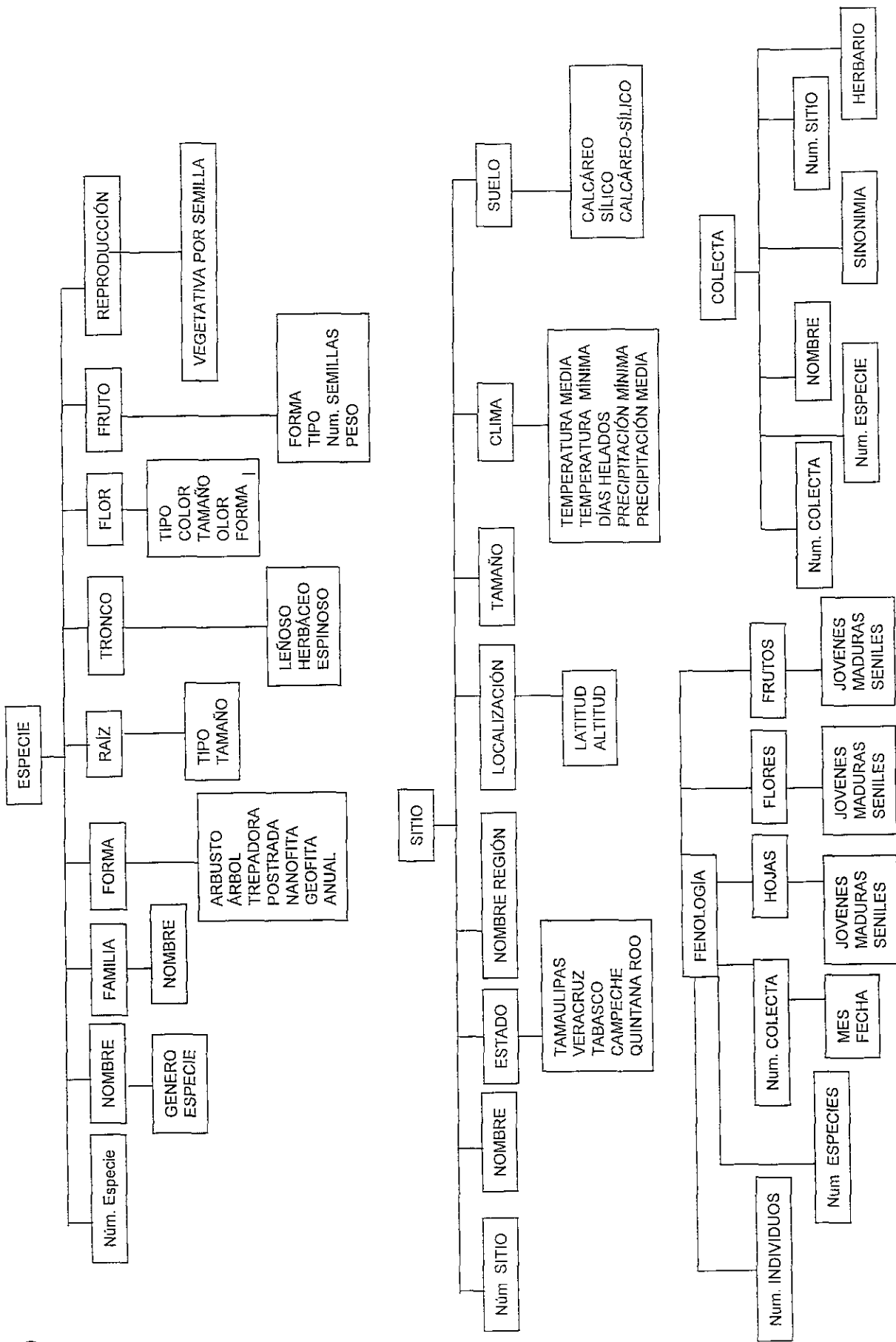


Figura 4. Modelo lógico de la base de datos.

diferentes usuarios y contar con la historia de inventarios, condiciones, usos, etc. de diversas zonas naturales del país.

La incorporación de la información en bases de datos representa una contribución al avance de las ciencias, ya que facilita tanto la organización y la extracción de la información de manera más ordenada y sistemática, y por las posibilidades de síntesis y análisis que ofrece. Las bases de datos permiten trabajar a muchos niveles, desde un enfoque global para permitir el análisis del grueso de la estructura y la dinámica de los datos almacenados de los ecosistemas como el de dunas costeras analizadas en este caso, hasta un enfoque centrado en las características particulares de cada especie, proporcionando información particular o detallada de partes de un ecosistema.

Finalmente hay que enfatizar que un sistema manejador de bases de datos convencional por sí sólo no cubre las necesidades requeridas para el manejo de información científica. En particular, para el manejo y conservación más adecuados de nuestros recursos naturales se hace más necesario no sólo interconectar manejadores de bases de datos con otros paquetes como los estadísticos, de graficación, etc, sino que es necesario también aumentar el trabajo interdisciplinario entre los científicos de diversas áreas y los científicos de la computación, pues como se ha visto, se requiere desarrollar herramientas que se adecuen mejor a las características del manejo de datos que requieren los científicos. Este trabajo pretende cubrir los siguientes objetivos:



## 4. Objetivos

1. Describir y analizar la flora de las playas y dunas costeras móviles y estabilizadas del Golfo de México y el litoral mexicano del Caribe.
2. Construir una base de datos relacional con toda la información recopilada a través de 10 años de investigación en los sistemas de dunas costeras del Golfo de México y del Caribe mexicano.
3. *Presentar cuatro ejemplos de la información incorporada en la base de datos a través de diferentes niveles de análisis: uno global, que da lugar al análisis del grueso de la estructura y la dinámica de los sistemas de dunas, y el otro enfoque centrado en las características particulares de las especies, proporcionando información particular o detallada de partes del sistema.*

## Literatura citada

- Acosta, I., 1993. Lluvia de semillas en matorrales de dunas costeras. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Barbour, M.G. 1992. Life at the leading edge: the beach plant syndrome. In: Seeliger, U. (ed.) Coastal Plant Communities of Latin America. Academic Press Inc. San Diego, California, p. 291-308.
- Berendse, F.; E.J Lammerts y H. Olf 1998 Soil organic matter accumulation and its implications for nitrogen mineralization and plant species composition during succession in coastal dune slacks. *Plant Ecology*, 137: 71-78.
- Carter, R. W. G., Nordstrom, K. F. y Psuty, N. P. 1990. The study of coastal dunes. In: Nordstrom, K., Psuty, N. y Carter, B. (eds.) Coastal Dunes: Form and Process. John Wiley Sons. Chichester, p. 1-14.
- Castillo, S., J. Popma y P. Moreno-Casasola. 1991. Coastal sand dune vegetation of Tabasco and Campeche, México. *Journal of Vegetation Science*, 2: 73-88.
- 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 litoral atlántico de México. *Acta Botánica Mexicana*, 45: 55-80.
- Chapman, A.R.O. 1992. Vegetation ecology of rocky shores. In: Seeliger, U. (ed.) Coastal Plant Communities of Latin America. Academic Press Inc. San Diego, California. p. 3-30.
- Clark, J. S. 1986 Dynamism in the barrier-beach vegetation of Great South Beach, New York. *Ecological Monographs*, 56: 97-126.
- Codd, E.F. 1971. A Data Base Sublanguage Founded on the Relational Calculus. Proc. ACM SIGFIDET Workshop on Data Description. Access and Control. San Francisco.
- Connell, J. H. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199, 1302-1310.
- Date. C.J., 1986 An Introduction to Data Systems, U.S.A., Addison-Wesley Publishing Company, p. 648

- National Science Foundation, 1990. DATABASE SYSTEMS: ACHIEVEMENTS AND OPPORTUNITIES. Workshop on Future Directions in DBMS Reserch. Oakland, California.
- De Jong, T. and P.G. Klinkhamer, 1988. Seedling establishment of the biennials *Cirsium vulgare* and *Cynoglossum officinale* in a sand-dune area: the importance of water for differential survival and growth. *Journal of Ecology*, 76: 393-402.
- Delgadillo, M.C.1992. Los musgos y la fitogeografía de México. *Ciencias*, 6: 35-40.
- Dirzo, R. y M. C. García. 1992. Rates of deforestation in Los Tuxtlas, a Neotropical area in southeast Mexico. *Conservation Biology*, 6: 84-90
- Duffaud, M.H. 1998 Vegetation of Atlantic coast dunes from the Adour to Noirmoutier. *Revue Forestiere Francaise*, 50: 328-348.
- Ehrenfeld, J. G.1990. Dynamics and processes of barrier island vegetation. *Aquatic Sciences* 2,3,4: 437-480.
- Eldred, R.A. and A. M. Maun, 1982. A multivariate approach to the problem of decline in vigor of *Ammophila*. *Canadian Journal of Botany*, 60: 1371-1380.;
- Green. D. G. 1994 Methods and Techniques Databasing diversity- distributed, public-domain approach. *Taxon*, 43: 51-62.
- González-Loera, J. y P. Moreno-Casasola. 1982. Ecología de la vegetación de dunas costeras: efecto de una perturbación artificial. *Biotica*, 7: 533-550.
- Heywood, V.H. 1973. Ecological data in practical taxonomy. En: V.H. Heywood (ed.), *Taxonomy and Ecology*. Academic Press, Londres, p. 329-347.
- Heywood, V.H., 1978. Flowering plants of the world. Oxford. p 336.
- Hill. M.O. 1979. DECORANA a Fortran program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging. Cornell University. Ithaca.
- Hill. M.O., 1979. TWINSPLAN a Fortran Program for. Arranging Multivariate Data in a Ordered Two-way Table by Classification of the Individuals and Attributes. *Ecology and Systematics*. Cornell University, Ithaca.
- Kooijman.A.M; J.C.R. Dopheide; J. Sevink; I. Takken; y J.M. Verstraten. 1998. Nutrient limitations and their implications on the effects of atmospheric deposition in coastal dunes; lime-poor and lime-rich sites in the Netherlands.*Journal of Ecology*, 86: 511-526.
- Lamberck, R. J. y D.A. Saunders, 1993. The role of patchiness in reconstructed wheatbelt land-scapes In *Nature Conservation 3: Reconstruction of Fragmented*

- Ecosystems (D. Saunders, R. Hobbs y P. Ehrlich, eds). Surrey Beatty and Sons. Sydney, p. 153-61.
- Law, B.S. y C.R. Dickman. 1998. The use of habitat mosaics by terrestrial vertebrate fauna implications for conservation and management. *Biodiversity and Conservation*, 7:323-333.
- Lawrence, G.H.M. 1951. *Taxonomy of vascular plants*. MacMillan Nueva York. p 823.
- Johnson, A.F. 1977. A survey of the strand and dune vegetation along the Pacific and southern Gulf coasts of Baja California, Mexico. *Journal of Biogeography*, 7: 83-99.
- Johnson, A.F. 1982. Dune vegetation along the eastern shore of the Gulf of California. *Journal of Biogeography*. 9: 317-330.
- Kim, W., 1979. *Relational Database Systems*. ACM Com. Surv. 11, Núm. 3 Nueva York.
- Martin, J. 1983. *Managing the Data-Base Environment*, Prentice-Hall, p. 171.
- Martínez, M.L., P. Moreno-Casasola y S. Castillo. 1993. Biodiversidad costera: playas y dunas. En: Salazar-Vallejo, S.I. y N.E. González (eds). p.p. 160-180. *Biodiversidad marina y costera de México*. CIQRO- CONABIO. México, D.F.
- Martínez, M.L.; P. Moreno-Casasola y G. Vazquez. 1997. Effect of disturbance by sand movement and inundation by water on tropical dune vegetation dynamics. *Canadian Journal of Botany*. 75: 2005-2014.
- Maun, A.M. 1990. Ecology of seedling establishment on coastal and lacustrine sand dune systems. In: *Proceedings of the Symposium on Coastal sand dunes*. Septiembre 12-14, Guelph. Ontario. p. 251-276
- Maun, M.A. 1994. Adaptations enhancing survival and establishment of seedlings on coastal dune systems. *Vegetatio*, 111: 59-70.
- Mittermeier, R. A. 1988. Primate diversity and the tropical forest: case studies from Brazil and Madagascar and the importance of the megadiversity countries. En: E.O. Wilson (Ed.) *Biodiversity*. Pp. 145-154. National Academy Press. Washington, D.C.;
- Mittermeier, R.S. y Goettsch de M. 1992. La importancia de la diversidad biológica de México. En: J. Sarukhán y R. Dirzo (Eds.), *méxico ante los retos de la biodiversidad*. p. 63-73. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.
- Moreno-Casasola, P. 1986. Sand movement as a factor in the distribution of plant communities in a coastal dune system. *Vegetatio*, 65:67-76.

- Moreno-Casasola, P. 1988. Patterns of plant species distribution on coastal dunes along the Gulf of Mexico. *Journal of Biogeography*, 15: 787-806.
- Moreno-Casasola, P., E. Van der Maarel, S. Castillo, M. L. Huesca e I. Pisanti, 1982. Ecología de la vegetación de dunas costeras: estructura y composición en el Morro de La Mancha, Ver. I. *Biótica*, 7: 491-526.
- Moreno-Casasola, P. y Espejel I. 1986. Classification and ordination of coastal dune vegetation along the Gulf and Caribbean Sea of Mexico. *Vegetatio*, 66: 147-182.
- Moreno-Casasola, P. y S. Castillo, 1992. Dune ecology on the eastern coast of Mexico. Pp. 309-321. In U. Seeliger (ed.) *Coastal Plant Communities of Latin America*. Academic Press, Nueva York 309-321.
- Moreno-Casasola, P., I. Espejel; S. Castillo; G. Castillo; R. Durán; J.J. Pérez; J. L. De León; I. Olmsted y J. Trejo 1999. Flora de los ambientes arenosos y rocosos de las costas de México En: *Diversidad Biológica de Iberoamérica 2° volumen*. G. Halffter (Ed.) CYTED. México, D.F. p. 177-258
- Mueller-Dombois. D. y H. Ellenberg. 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. Wiley. NuevaYork.
- Myers, N. 1990. The biodiversity challenge: expanded "hot spots" in tropical forest. *The Environmentalist*, 10: 243-256.
- Pérez, N. 1993. Banco de semillas en matorrales de dunas costeras. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Pickett, S.T.A. y White, P.S. 1985. Natural disturbance and patch dynamics: an introduction. In: Pickett, S.T.A. y White, P.S. (eds.) *The ecology of natural disturbances and patch dynamics*. Academic Press, 3-13.
- Radford, A. E., W. C. Dickinson, J. R. Massey y C.R. Bell. 1974 *Vascular plant systematics*. 891 pp. Harper and Row, New York.
- Ramamoorthy, T. P. y Lorence D.H. 1987. Species vicariance in the Mexican flora and description of a new species of *Savila* (Lamiaceae). *Bulletin of the Museum of Natural History Nat.* 4: 167-175.
- Ranwell, D. 1972. *Ecology of salt marshes and sand dunes*. Chapman and Hall, Londres. p. 258.
- Reid, W. V. 1992. Capturing economic benefits from biodiversity. En: J. Sarukhán y R. Dirzo (Eds.), *México ante los Retos de la Biodiversidad* .p. 125-131. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.

- Rojas G.,R., S. Castillo y H. Hernández 1990. Redes de computadoras para la comunidad académica. *Ciencia y Desarrollo*, XVI (94): 107-118.
- Rzedowski, J. 1978, *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México, D.F.
- Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botanica Mexicana*, 14: 3-21.
- Rzedowski, J. 1992. Diversidad del universo vegetal de México: perspectivas de un conocimiento sólido. En: J. Sarukhán y R. Dirzo. (Eds.) *México ante los Retos de la Biodiversidad*. p. 251-257. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.
- SCIENTIFIC DATABASE MANAGMENT. Reporte final del Invitational NSF Workshop on Scientific Database Managment, Reporte Técnico 90-21, agosto 1990, University of Virginia.
- Sival, F; H.J. Mucher; S.P.Van-Delft. 1998. Management of basiphilous dune slack communities in relation to carbonate accumulation and hydrological conditions. *Journal of Coastal Conservation*, 4: 1 91-100.
- Toledo, V. M. 1988. La diversidad biológica de México. *Ciencia y Desarrollo* 81(XIV): 17-30.
- Tongeren O. van. 1986. FLEXCLUS. And interactive program for classification and tabulation of ecological data. *Acta Botanica Neerlandica*. 35(3):
- Turner, I.M.; R. T. Corlett. 1996 The conservation value of small, isolated fragments of lowland tropical rain forest. *Trends in Ecology and Evolution*, 11: 330-333.
- van der Meulen, F. y P. D. Jungerius. 1989. Coastal defence alternatives and nature development perspectives. pp 133-140. In: van der Meulen, F., P. D. Jungerius y J. H. Visser (eds.) *Perspectives in coastal dune management*. Proc. European Symp.
- Wanders, E. 1989. Perspectives in coastal dune management towards a dynamic approach. pp 141-148. In van der Meulen, F.; P.D. Jungerius y J. H. Visser (eds.) *Perspectives in coastal dune management*. Proc. European Symp.
- Wanders, E. 1989. Perspectives in coastal dune management towards a dynamic approach. pp 141-148. In van der Meulen, F.; P.D. Jungerius y J. H. Visser (eds.) *Perspectives in coastal dune management*. Proc. European Symp.
- Westhoff, V. y Maarel, E. van der. 1978 The Braun-Blanquet approach. In: Whittaker, R. H. (ed.). *Classification of Plant Communities*, ed. R. H. Whittaker, pp. 287-399. Junk. La Haya.

# Dune Ecology on the Eastern Coast of Mexico

**P. Moreno-Casasola and S. Castillo**  
**Laboratorio de Ecología**  
Facultad de Ciencias  
Universidad Nacional Autónoma de México

- 
- I. Introduction
  - II. Typology and Gradients
  - III. Plant Distribution along Local Gradients
  - IV. Floristic Groups and Species Distribution Ranges
    - A Northern Gulf Group
    - B Central Gulf Group
    - C Caribbean Group
  - V. Species Colonizing Islands
  - VI. Vegetation Regeneration
  - VII. Endemic, Vicariant, and Disjunct Species
  - VIII. Diversity along the coast
  - IX. Human Impact
- References

## I. Introduction

Mexico's 2756 km of eastern and 7146 km of western coastlines present diverse plant communities, but dunes and mangroves predominate. The Gulf and Caribbean coasts have been studied in detail, both floristically (Sauer, 1967; Moreno-Casasola and Espejel, 1986; Castillo et al., 1991) and ecologically. The Pacific coast, including Baja California and the Gulf of California, has been reported on by Johnson (1977, 1982); however, the southwestern coast has been only sporadically collected. This chapter will concentrate mainly on the eastern littoral of Mexico.

Climate changes along the eastern coast from a semiarid steppe climate in the north (BSx') and the eastern tip of Yucatan (BSw) to a tropical humid climate (Af and Am) in the rest of the Gulf and Caribbean (Fig. 19.1). The most important climatic element that varies drastically along the coast and affects the vegetation is precipitation. It changes from 570 mm or less on the northern Yucatan Peninsula to 624 mm in Tamaulipas and 2237 mm in Tabasco.

Beaches of the Gulf are composed of quartz and calcium carbonate sand in the north (3-43 % carbonates) and quartz sand on the central and southern coasts (16-27% carbonates) (García, 1987). Sand is brought to the coastal plain and continental shelf by rivers draining the Sierra Madre Oriental. Caribbean beaches are primarily composed of fine calcium carbonate sand (61-94 % carbonate), produced by weathering of coastal limestone, pieces of shells, and other material from the nearby reefs (Fig. 19.1) Barrier islands are found in the northern Gulf (Tamaulipas) and in the Caribbean (e.g.,



Campeche, Ría Lagartos in Yucatán). Coastal lagoons are also a common feature, mainly along the northern coast of the Yucatán Peninsula.

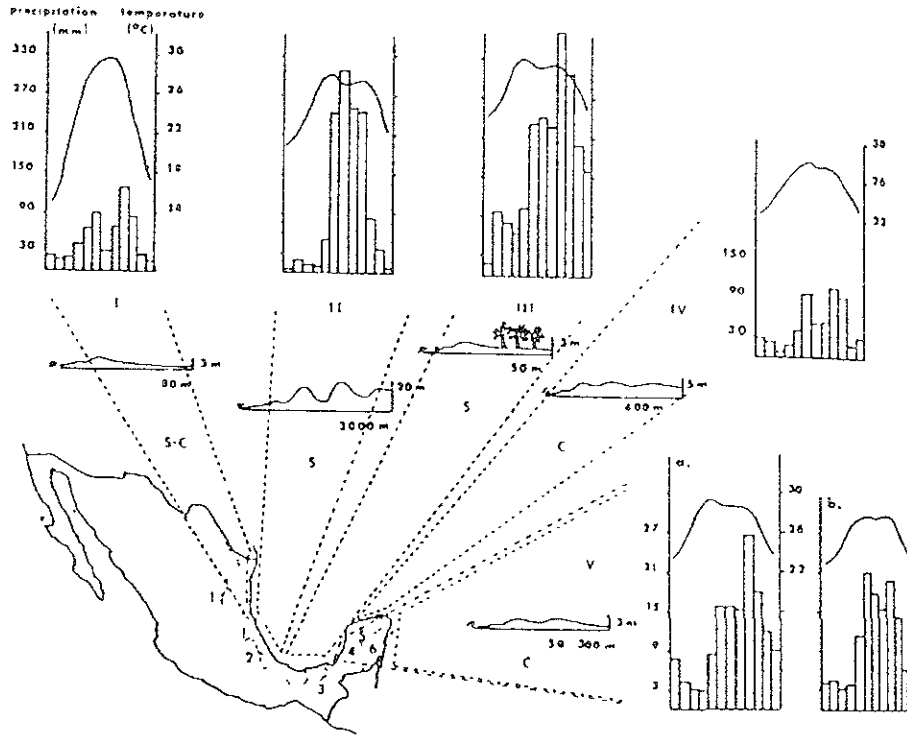


Figure 19.1 Eastern littoral of Mexico showing climate, type of sand, and topographic profiles characteristic of the region. Annual precipitation and mean annual temperature are given for each region with respective sampling stations (Region I. San Fernando, 624.5 mm, 23.5°C; Region II, C. Jose Cardel, 1296 mm, 25.2°C; Region III, Villahermosa, 2237 mm, 27.6°C Region IV, Ciudad del Carmen, 1393 mm, 26.8° C; Region V, Telchac, 570 mm, 25.4° C). S, siliceous sand; C, calcareous sand. Political states are given I. Tamaulipas; 2. Veracruz; 3. Tabasco; 4. Campeche; 5. Yucatan; 6. Quintana Roo.

Sand dune systems are very dynamic. Periodic disturbances caused by sand movement and wave activity create a series of topographic microenvironments with particular species combinations. Winter storms are frequent (20-25 from October to March) and are accompanied by a drop in temperature, and occasionally strong

precipitation. The strong winds produce considerable sand movement (Moreno-Casasola, 1982; Poogie, 1962) and are responsible for the complex, active dune systems in the Gulf area. Mobile systems in the Gulf have a maximal travel rate of approximately 3 m a year (Moreno-Casasola, 1982). Flooding of beaches (washovers) is frequent, and if not too strong, causes an increase in local beach diversity (Poogie, 1962; Sauer, 1975). Hurricanes, such as Gilbert in 1988, also affect dune vegetation and sometimes even modify coastal profiles. There are no studies on vegetation reestablishment after such disturbances.

Topographical complexity varies along the coast. Most of the Gulf has simple systems with narrow beaches and low beach-ridge systems, which vary in width (Fig. 19.1). North of Tamaulipas and in the central part of Veracruz, complex, active, and stabilized systems occur with wide and narrow beaches. They extend inland for a few kilometers, and dunes are higher than 20 m. These systems have more microhabitats and are floristically and structurally more complex (Moreno-Casasola and Espejel, 1986; Castillo et al., 1991).

## **II. Typology and Gradients**

A floristic typology has been elaborated for the eastern region, based on floristic and vegetation study at 44 sites, sampled with relevés (Moreno-Casasola and Espejel, 1986; Castillo et al., 1991). Community types were defined on the basis of dominant and differential species, as well as on frequently accompanying species (Moreno-Casasola and Espejel 1986). Numerous floristic community types are distributed along the entire coast; other local variants are restricted to one or two beaches. In general, the community

types found on the beach (embryo dune, foredune, active dunes) have a wider geographical distribution because pantropical species are the dominant components. These typically tropical coastal species (e.g., *Sporobolus virginicus*, *Canavalia rosea*, *Sesuvium portulacastrum*, *Ipomoea pes-caprae*) are found over great extensions of the littoral. Others (e.g., *Scaevola plumieri*, *Suriana maritima*, *Tournefortia gnaphalodes*, *Coccoloba uvifera*) are common on calcareous sand.

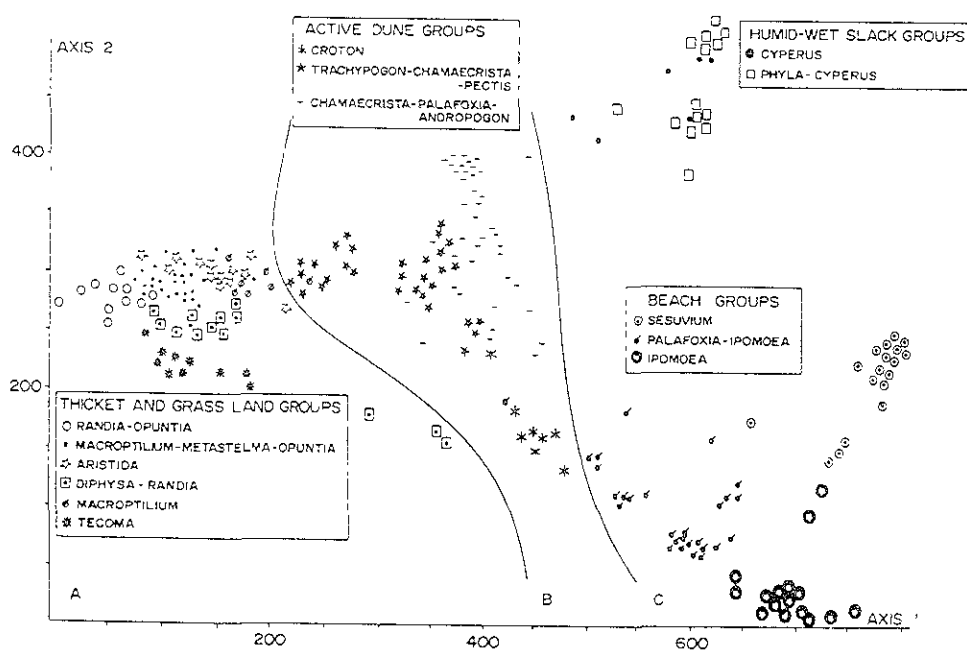


Figure 19.2 Ordination (DCA) of sand dune samples from central Veracruz showing a stabilization gradient along the first axis and a soil-moisture gradient along the second. Floristic groups obtained in the classification are superimposed.

Protected and stabilized areas, or humid and wet slacks, often have restricted community types with few species in common. In these microhabitats, environmental conditions are less stressing and species richness is higher owing to invasion of species

from the dunes and other adjacent communities such as tropical dry forests, grasslands, and aquatic environments. Among the few community types widely distributed are *Randia laetevirens* (Gulf area with siliceous sand) and *Coccoloba uvifera* (Caribbean area with calcareous sand).

Local gradients were found. Releve ordination detrended correspondence analysis (DCA) (Hill, 1979) of data taken from a beach in central Veracruz shows, along the horizontal axis, a transition from thickets on stabilized areas, through grasslands and mobile zones, to beach communities (Fig. 19.2). Many physical parameters change along this gradient, implying a stabilization process in which species richness and structural complexity decrease. Thickets and grassland groups form a compact cluster of samples in stabilized areas. Community types, dominated by grasses and forbs, occupy the upper part of the cluster. Trees and shrubs (*Randia laetevirens*, *Opuntia stricta* var. *dillenii*, *Tecoma stans*, *Diphysa robinoides*) form patches in the grasslands, producing an interacting mosaic with different degrees of structural complexity and continuous vegetation cover. Community types found on active dunes also show a stabilization gradient. Samples closer to the thicket and grassland samples occupy the flanks and dry slacks at the base of the lee slope of advancing mobile dunes in semimobile systems. Dominant species are sand tolerating endemics (*Chamaecrista chamaecristoides*, *Trachypogon gouini*) and the Compositae *Pectis saturejoides*, which is frequent in grasslands further inland. Samples dominated by *Croton punctatus* are mainly forming embryo dunes on the beach, while samples with *C. chamaecristoides*, *Andropogon scoparius*, and *Palafoxia lindenii* appear on the windward and land-ward slopes of mobile dunes.

The second axis shows a transition from water table-distant communities (beach pioneers) toward community types inhabiting humid and wet slacks. In very mobile systems these groups are species poor, with only one or two dominants.

### III. Plant Distribution along Local Gradients

Topography and the correlated vegetation mosaic is a result of the interaction of physical factors that affect plant distribution, mainly sand movement (both wind and wave driven) and depth of the water table. Salt-spray deposition does not seem to be an important factor, at least in the central Gulf area. This environmental variation permits division of coastal vegetation into zones (Doing, 1981). Several zones and their topographic and vegetational profiles have been recognized for the eastern littoral of Mexico (Moreno-Casasola and Espejel, 1986).

A transect through the beach, embryo dune, and foredune, and the protected area behind the first dune ridge in the south of Veracruz, demonstrates reduced sand movement and low nutrient levels. The water table is out of reach for most plants (Fig. 19.3) For complete data, see Espejel (1986), Garcia (1987), Moreno-Casasola (1982) and Poogie (1962). *Sesuvium portulacastrum* is the only species occurring on the beach; tropical species with diverse growth forms are found on the embryo dunes and foredune with some sand movement. Behind the foredune, vegetation cover increases, forming a mosaic of shrubs and herbs. Some of the ruderal species (e.g., *Bidens pilosa* and *Iresine celosia*) are very common.

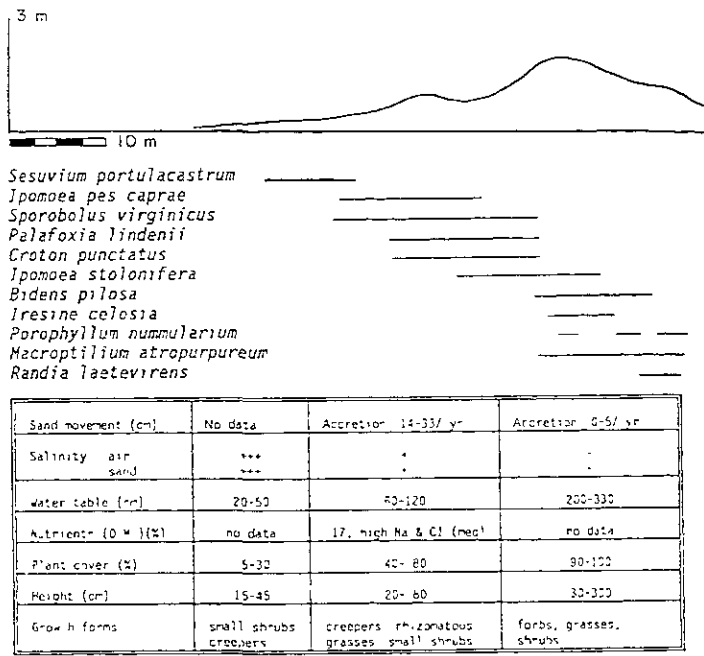


Figure 19.3 Vegetation profile of a simple beach-ridge type system in Tamaulipas and Tabasco showing plant zonation and variation of environmental factors with qualitative differences between zones (+ or -).

The vegetation along a section of a transect in central Veracruz is shown in Figure 19.4. Sand erosion and deposition, water table depth, and periods of inundation were taken from Moreno-Casasola (1982, 1986). Areas with high sand movement are inhabited by few species with low cover values (the shrubs *Chamaecrista chamaecristoides* and *Croton punctatus* and the grasses *Andropogon scoparius* and *Trachypogon gouini*). More-stabilized areas, particularly moist ones, show a higher number of species and a dense cover. Trees and shrubs (*Diphysa robinoides*, *Randia laetevirens*, *Acacia farnesiana*) frequently colonize these areas. Wet slacks show a herbaceous cover in which aquatic species (*Cyperus articulatus* and *Hydrocotyle bonariensis*) predominate.

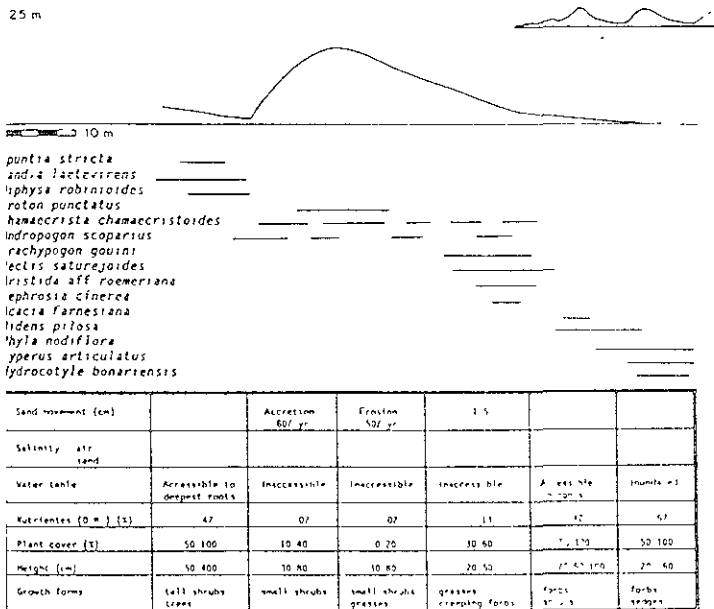


Figure 19.4 Vegetation profile of a complex semimobile sand dune-type system in central Veracruz showing plant zonation and variation of environmental factors with qualitative differences between zones (+ or -)

#### IV. Floristic Groups and Species Distribution Ranges

Floristic data show that the distribution of characteristic species (defined as dominant species or those whose growth form gives the vegetation a particular physiognomy) can be arranged into three distinct groups (Espejel, 1986; Moreno-Casasola, 1988).

##### A. Northern Gulf Group

The first floristic group, the Northern Gulf group, is present on the northern part of the coast and coincides with region I (Fig. 19.1). This group shares many species with the coastal flora of Texas, Louisiana, and Mississippi and part of the eastern coast (Barbour et

al., 1987). Beach and foredune physiognomy is similar, and grasses are the dominant sand-binding plants. Common beach taxa are *Cakile edentula*, *C. geniculata*, *Ipomoea stolonifera*, and *Uniola paniculata*. Species from humid slacks include *Batis maritima*, *Distichlis spicata*, and *Fimbristylis castanea*, and from grasslands and thickets, *Eragrostis secundiflorus*, *Monanochloe littoralis*, *Panicum amarum*, and *Pluchea purpurea*.

### **B. Central Gulf Group**

The Central Gulf group is present in Veracruz and Tabasco (Fig. 19.1), regions II and III). It includes some of the most species-rich and topographically complex sites. Many species from aquatic environments, grasslands, and tropical deciduous forests invade these dunes. Beach and foredune physiognomy change, and low shrubs and creepers with long stolons predominate. Active dunes are almost solely restricted to this area, and support populations of endemic species that are very efficient colonizers, such as the legume *Chamaecrista chamaecristoides*. Taxa common in thickets are *Acacia farnesiana*, *A. cornigera*, *Amphilopium paniculatum*, *Coccoloba barbadensis*, *Randia laetevirens*, and *Tecoma stans*. Species in humid and wet slacks include *Eleocharis cellulosa* and *Cyperus articulatus*. Few taxa (e.g., *Palafoxia lindenbergii*) are restricted to the Central Gulf group.

### **C. Caribbean Group**

The Caribbean group shares many species with the West Indies and Florida (Espejel, 1986; Moreno-Casasola, 1988; Johnson and Barbour, 1990). The beach is dominated by 1- to 3-m high shrubs (*Suriana maritima*, *Tournefortia gnaphalodes*, *Scaevola plumieri*)



giving it a different complexity and appearance. Other beach and foredune species are *Cakile edentula*, *C. lanceolata*, *Phloxereus vermicularis*, *Euphorbia buxifolia*, and *Sporobolus virginicus*. Thicket species include *Ambrosia hispida*, *Coccoloba uvifera*, *Ernodea littoralis*, *Pseudophoenix sargentii*, *Scaevola plumieri*, and *Thrinax radiata*. Palms are typical components of these communities. In the drier north-western part of the peninsula, a variant of the Caribbean floristic group can be found (Espejel, 1986). Palms are absent, but Bromeliaceae and Cactaceae are among the more-conspicuous elements. Other novel species are *Acanthocereus pentagonus*, *Agave angustifolia*, and *Enriquebeltrania crenatifolia*.

## V. Species Colonizing Islands

The vegetation of the islands surrounding the Yucatan peninsula has been studied by Bonet and Rzedowski (1962) and Flores (1984) and in the Gulf area by Lot-Helgueras (1971) and Moreno-Casasola (1988). The sizes and types of islands are very diverse, and most are associated with coral reefs. Among the most important island colonizers in the Caribbean are *Sesuvium portulacastrum*, *Euphorbia buxifolia*, *Portulaca oleracea*, *Suriana maritima*, and *Tournefortia gnaphalodes*. Other frequent species on these islands are *Cenchrus echinatus*, *Sporobolus virginicus*, *Ernodea littoralis*, *Hymenocallis americana*, *Caesalpinia crista*, *Flaveria linearis*, *Opuntia stricta* var. *dillenii*, and *Ambrosia hispida*. The Gulf islands in front of the port of Veracruz show a mixture of Gulf and Caribbean species (*Sporobolus virginicus*, *Ipomoea stolonifera*, *Tournefortia gnaphalodes*, *Suriana maritima*, *Coccoloba uvifera*, *Randia laetevirens*, *Citharexylum berlandieri*) probably owing to the

calcareous substrate. These Caribbean elements are not found in sand-dune systems of Veracruz.

## VI. Vegetation Regeneration

Few studies deal with the regeneration of disturbed sites. Coastal areas are commonly affected by disturbances that vary in type, frequency, and impact on the environment. Hurricanes occur once or twice every decade and severely disrupt the communities. In the Caribbean Keys the first species to appear are *Portulaca oleraceae*, *Sesuvium portulacastrum*, *Euphorbia buxifolia*, *Cenchrus echinatus*, *Sporobolus virginicus*, and *Heliotropium angiospermum*. After the initial colonization by herbs, a thicket formed by *Suriana maritima* and *Tournefortia gnaphalodes*, takes over (Bonet and Rzedowski, 1962).

Artificial cutting of vegetation in the foredune, and dry and humid slack areas in the complex systems of central Veracruz (Morro de la Mancha), showed that species composition, and regeneration time and mechanism varied between the three areas (González and Moreno-Casasola, 1982). In humid slacks, regeneration was rapid (1 y r) and occurred mostly by vegetative reproduction. Dominating species were *Bidens pilosa*, *Phyla nodiflora*, *Cyperus articulatus*, *Hydrocotyle bonariensis*, and *Panicum repens*. A total of 36 species appeared during the process, and more than 60% became permanently established. Dry slack regeneration was much slower and colonization occurred mostly through seeds. Twenty species invade; among them, only 25% of the species were unable to become permanently established. *Pectis saturejoides*, *Waltheria indica*, *Aristida aff. roemeriana*, and *Indigofera hartwegii*. Foredune regeneration occurred mainly by lateral

extension of nearby individuals (*Canavalia rosea* and *Ipomoea pes-caprae*) and through colonization by seeds of *Palafoxia lindenii*, *Croton punctatus*, and *Chamaecrista chamaecristoides*. The recovery of the vegetation cover was rapid, but new individuals only occasionally became established. Many of these mechanisms taking place on the islands (Ehrenfeld, 1990) may also apply to continental coastlines. Knowledge on the biology of species in tropical areas is still too limited to allow a detailed comparison with temperate coastal systems.

## VII. Endemic, Vicariant, and Disjunct Species

Several endemic species (*Chamaecrista chamaecristoides*, *Palafoxia lindenii*, *Trachypogon gouini*, *Mammillaria gaumeri*) occur along the coast. Other species (*Cocothrinax readii*, *Pseudophoenix sargentii*, *Enriquebeltrania crenatifolia*, *Cenchrus insularis*) are endemic but also extend into other habitats (Espejel, 1987). The list is not complete, as many areas still lack detailed surveys and more taxonomical work is needed. Vicariant species, which may be substituted for edaphic reasons between Veracruz and Tabasco (siliceous sand) and the Caribbean (calcareous sand) (sometimes Tamaulipas with mixed sand), are *Ambrosia artemisiifolia* for *A. hispida*, *Coccoloba barbadensis* for *C. uvifera*, and *Lantana camara* for *L. involucrata*. *Palafoxia texana* var. *robusta* and *P. lindenii*, *Vigna luteola* and *V. vexillata*, *Iresine celosia* and *I. paniculata* may replace each other for climatic reasons.

Some of the dune species with disjunct distributions are *Cakile geniculata* (Tamaulipas, north of Veracruz, Campeche, Yucatán), *Cakile lanceolata* (Tamaulipas, Yucatan, Quintana Roo), *Panicum amarum* (all the littoral except central Veracruz), *Salicornia*

*bigelovii* (Tamaulipas, Yucatan), *Atriplex arenaria* (Tamaulipas, Campeche, Yucatan, Quintana Roo), *Spartina patens* (Tamaulipas, Campeche, Yucatán, Quintana Roo), *Phloxereus vermicularis* (Tamaulipas, Campeche, Yucatán), *Scaevola plumieri* (Tamaulipas, Campeche, Yucatán, Quintana Roo, Gulf islands), *Suriana maritima* (Campeche, Yucatan, Quintana Roo, Gulf Islands) and *Sophora tomentosa* (Tamaulipas, Yucatan, Quintana Roo). Species from other community types (*Byrsonima crassifolia*, *Capparis flexuosa*, *Eragrostis secundiflora*, *Metastelma pringlei*, *Enterolobium cyclocarpum*, and *Bursera simaruba*), invading the sand dunes, also show disjunct ranges. In many cases, limited dispersal must be the primary cause for their disjunctions.

### VIII. Diversity along the Coast

More than 700 species have been collected along the coast. Richness of sites varies much as does replication (frequency) or species between sites. Only few species (e.g., pantropical species restricted to coastal areas such as *Sesuvium portulacastrum*, *Sporobolus virginicus* and *Ipomoea pes-caprae*) are present in 10% (5 beaches) of the beaches, while most have been collected in only one, two, or three sites (Fig. 19.5). Frequent species (e.g., *Suriana maritima*, *Scaevola plumieri*, and *Chamaecrista chamaecristoides*), restricted to Gulf or Caribbean sites, occupy the middle range of the histogram. They increase the richness of sand systems locally, and many of them are invaders from adjacent communities (e.g., *Diphysa robinoides*, *Pectis saturejoides*, *Mimosa chaetocarpa*.)

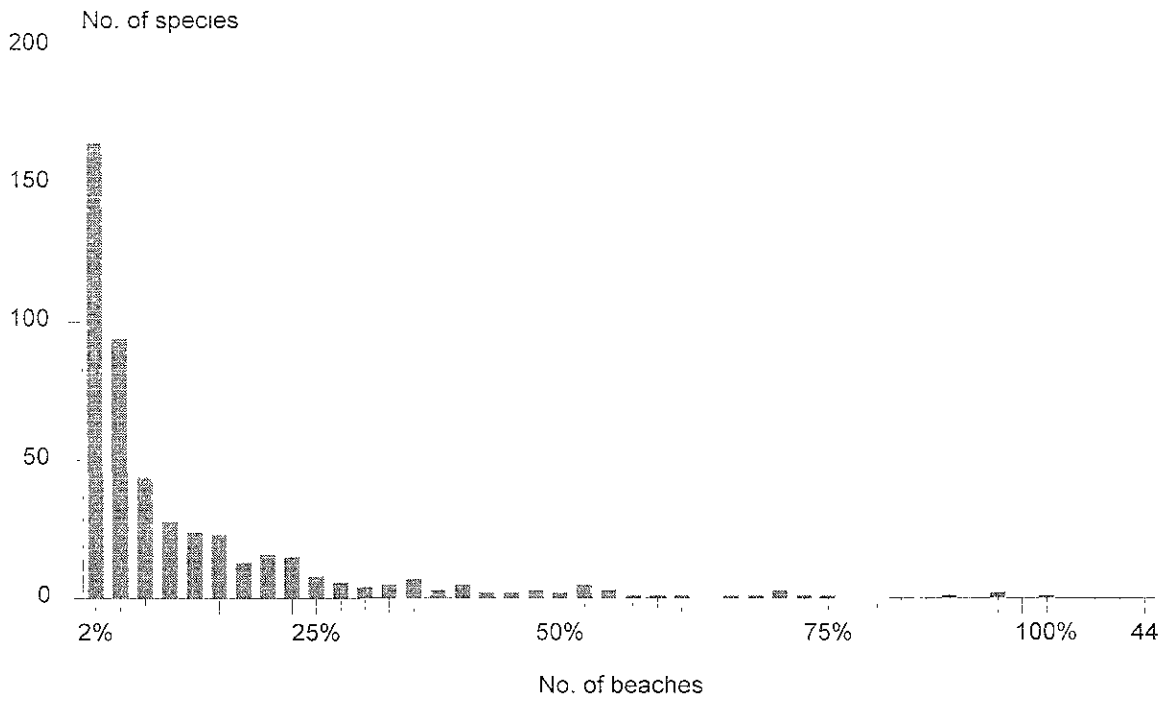


Figure 19.5 Histogram showing the number of times each species occurred at 44 sites along the eastern coast of Mexico. The most frequent species (>35 beaches) are *Sesuvium portuacastrum*, *Ipomoea pes-caprae*, *Sporobolus virginicus*, and *Croton punctatus*.

### IX. Human Impact

Human settlements along the coast have affected sand dune environments, primarily through the establishment of coconut plantations in the Caribbean and the use of fire to manage vegetation. Other areas have been cut for wood or for conversion to grasslands. There is not much original vegetation left, especially in stabilized areas. An example is the remnant of a deciduous rain forest on sandy soils in the reserve of La Mancha, Veracruz, with species of *Ficus spp.*, *Bursera simaruba*, *Cedrela odorata*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Brosimum alicastrum*, and *Byrsonima crassifolia*. Cutting followed by grazing has caused destruction of most of these forests.

The extent of cattle grazing on beach and mobile areas, and the use of groundwater by small fishing settlements has been minor. In contrast, tourist development is an important economic resource. Many new areas, especially in the Caribbean, have been opened for this purpose. Negative impacts have been observed for sand dune and mangrove flora and fauna and the aquatic environment. Industrial exploitation, in form of oil extraction, has a detrimental effect on the coast. An example of intense damage and contamination is the Coatzacoalcos area, Veracruz (Toledo, 1983). Farther north on the coast (Laguna Verde), the first nuclear power plant is starting to operate. Its environmental impact is yet to be assessed.

Stabilization with inappropriate species is another problem. Frequently used species are the cactus *Opuntia stricta* var. *dillenii*, a common dune inhabitant, and several ruderal grasses like *Panicum virgatum*. Cacti are slow growing, they do not contribute litter to the soil, and certainly do not constitute the best option in recreational areas. The tree *Casuarina equisetifolia* has been introduced and used as a wind curtain and to stabilize foredunes, although there are many native species – grasses, forbs, and even trees- that can and should be used for dune stabilization. Future research should select appropriate species for different geographical areas and uses.

There is no clear picture of the abundance and effect of invading species on the dune flora, as vegetation studies are quite recent. Among current invaders is *Rinchelitrum roseum*. Ruderal species (*Macroptilium atropurpureum*, *Bidens pilosa*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Passiflora foetida*) are so common in sand dune vegetation as to constitute community types (Moreno-Casasola and Espejel, 1986; Castillo et al., 1991). A list of endangered species cannot be produced yet, but it is worth mentioning that several of the coastal endemics are important in the process of dune stabilization (i.e., *Palafoxia lindenii*,

*Chamaecrista chamaecristoides*, and *Trachypogon gouini*). Care should be taken to establish reserves not only in stabilized and diverse areas, but also in the mobile systems these species inhabit.

## References

- Barbour, M.G., Rejmanek, M., Johnson, A.F., and Pavlik, B.M. (1987). *Phytocoenologia* **15**, 201-233.
- Bonet, F., and Rzedowski, J. (1962). *An. Esc. Nac. Ciencias Biol.* **2**, 15-59.
- Castillo, S., Popma, J., and Moreno-Casasola, P. (1991). *J. Vegetation Science* **2**, 73-88.
- Doing, H. (1981). *Veroff. Geobot. Inst. Rubel* **77**, 41-72.
- Ehrenfeld, J. G. (1990). *Rev. Aquatic Sci.* **2**, 437-480
- Espejel, I. (1986). "Studies on Coastal San Dune Vegetation of the Yucatan Peninsula". Ph. D. Thesis, Institute of Ecological Botany, Uppsala, Sweden.
- Espejel, I. (1987). *Biotica* **9**, 183-210.
- Flores, G. J. S. (1984). *Bol. Soc. Bot. Mexico* **45**, 28-45.
- García, A.M. T. (1987). "Descripcion de la vegetacion de dunas costeras del sur de Tamaulipas, Mexico." Thesis, Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Mexico.
- Gonzalez, L. J., Moreno-Casasola, P. (1982). *Biotica* **7**, 533-550.
- Hill, M. O. (1979). "DECORANA: a FORTRAN Program for Detrended Correspondence Analysis and Reciprocal Averaging." Ecology and Systematics, Cornell University, Ithaca, New York.
- Johnson, A.F. (1977). *J. Biogeogr.* **7**, 83-99.
- Johnson, A.F. (1982). *J. Biogeogr.* **9**, 317-330.
- Johnson, A.F., and Barbour, M.G. (1990). In "Ecosystems of Florida" (R.L. Myers and J.J. Ewel, eds.), pp. 429-480. University of Central Florida Press, Orlando, Florida.
- Lot-Helgueras, A. (1971) *An. Inst. Biol. Univ. Nac. Auton. Méx., (Bot.)* **42**, 1-48.
- Moreno-Casasola, P. (1982). *Biotica* **7**, 577-602.
- Moreno-Casasola, P. (1986) *Vegetatio* **65**, 67-76.
- Moreno-Casasola, P. (1988) *J. Biogeogr.* **15**, 787-806.
- Moreno-Casasola, P., and Espejel, I. (1986). *Vegetatio* **66**, 147-182.
- Poggie, J.J. (1962). *Coastal Studies Institute, Louisiana State Univ. Techn. Rep.* **17**, 1-62.
- Sauer, J. D. (1967). *Coastal Studies Institute, Louisiana State Univ. Techn. Rep.* **56**, 1-59.
- Sauer, J. D. (1975). *Madroño* **23**, 174-181.
- Toledo, O. A. (1983). "Como destruir el paraiso. El desastre ecológico del sureste" Ediciones Oceano, Mexico City, Mexico.

ANALISIS DE LA FLORA DE DUNAS COSTERAS DEL LITORAL ATLANTICO DE  
MEXICO

Silvia Castillo A.

Laboratorio de Ecología  
Facultad de Ciencias, UNAM  
04510 México, D.F

y

P. Moreno-Casasola

Instituto de Ecología, A.C.  
Apartado postal 63  
91000 Xalapa, Veracruz.

RESUMEN

En este trabajo se presenta un análisis de la flora vascular de las dunas costeras del litoral mexicano del Golfo de México y del mar Caribe, obtenido a través del muestreo de 44 sitios, de la revisión de ejemplares de herbario y de la bibliografía. Con la información se elaboró una base de datos que integra 655 especies pertenecientes a 91 familias. Se determinó el número de especies y géneros por familia, así como la cantidad de especies y de familias presentes en cada sitio de colecta, al igual que las formas de crecimiento. Se enlistan las especies colectadas y su presencia a lo largo de las playas muestreadas del Golfo de México y Caribe. Se indican los taxa endémicos para México.



## ABSTRACT

The object of this paper is to analyze the Mexican coastal flora of the Gulf and Caribbean. Floristic and vegetation analysis of 44 beach sites comprising the Atlantic littoral of Mexico, revision of herbarium specimens (MEXU and XAL) and bibliography was used to obtain information. It was used to build a data base resulting in 655 species and 91 families. Species number per family and per site was obtained. Growth forms, species distribution in microhabitats, presence of species with different distribution or habitat preference (i.e. coastal, belonging to other vegetation types or secondary) are analyzed. Species frequency distribution along the Gulf sites is also discussed. Endemics and new records for Mexico are given. A synthesis of the coastal flora, its composition and problematics are analyzed, within the framework of an ecological point of view.

## INTRODUCCION

A lo largo de las costas podemos encontrar distintos tipos de ambientes: playas arenosas, playas rocosas, acantilados, manglares, marismas, esteros, etc. Cada uno de ellos presenta diferentes condiciones (substrato, nutrientes, salinidad, humedad) que limitan el conjunto de especies que se pueden establecer. En general, son sistemas en los que el medio ambiente físico es determinante para el establecimiento y supervivencia de las plantas colonizadoras.

Las costas arenosas, constituidas por una playa y un sistema de dunas o montículos de arena, conforman sistemas frágiles que sirven de límite entre el mar y la tierra. Como tales, se localizan a lo largo de todos los continentes abarcando climas fríos, templados, subtropicales y tropicales. La característica fundamental que los define es la presencia de un

substrato arenoso, móvil en diverso grado, producto primero de la acción del mar y segundo del viento. El tamaño de los granos varía desde muy fino hasta grueso, y en ocasiones éstos están mezclados con grandes pedazos de conchas. La topografía de los distintos sistemas es heterogénea. Sin embargo, el substrato tiene ciertas características (movilidad, baja capacidad de retención de agua, pobreza de nutrientes) que delimitan conjuntos particulares de especies que pueden establecerse bajo estas condiciones. Tales conjuntos varían en función de patrones macroclimáticos: así la flora de dunas costeras de regiones de clima templado es totalmente distinta de la de zonas tropicales.

En México, desde el punto de vista ambiental, la flora que habita el litoral se localiza bajo gran variedad de condiciones. La costa Atlántica se extiende a lo largo de diversos climas dándose la principal variación en la cantidad de precipitación (600 mm en el noroeste de Yucatán a 2500 mm en Tabasco) y en la presencia de heladas en el norte de Tamaulipas. La temperatura media anual en todos los casos es alta (entre 24 y 28 °C). Un factor que se modifica de manera importante a nivel del Golfo de México y del Mar Caribe es el origen de la arena, que es predominantemente silíceo en el primer caso y calcáreo en el segundo. Finalmente la topografía también cambia a lo largo de la costa, concentrándose una mayor diversidad de ambientes en el centro de Veracruz y norte de Tamaulipas (Moreno-Casasola y Castillo, 1991).

Rzedowski (1991) calcula que el número de fanerógamas en México es aproximadamente de 22,000 especies. Los intentos de cuantificar la riqueza florística de nuestro país se han encontrado no solamente con el hecho de que un número significativo de plantas no han sido descritas, sino que a menudo ni siquiera han sido descubiertas. Existen floras con información razonablemente completa, que abarcan diferentes porciones del territorio nacional y que fueron elaboradas con un enfoque regional. Otras contribuciones importantes al conocimiento de la riqueza vegetal mexicana se han dado a través de listados

florísticos que generalmente se realizan a nivel local o justifican algún estudio particular. Éstos muchas veces aparecen como parte de artículos o libros más extensos. Es poco afortunado que muchos inventarios nunca sean publicados, quedando como informes internos, presentaciones en congresos o guardados en algún cajón.

A pesar de que se ha avanzado en el conocimiento y estudio taxonómico de la flora mexicana, existen pocas aportaciones a nivel de ambientes ecológicos particulares a lo largo de regiones extensas, a través de cuyo análisis se puedan sentar las bases para evaluar los recursos existentes y establecer pautas de manejo y conservación. Un inventario florístico ofrece la oportunidad de ver el conjunto de las especies bajo diferentes enfoques. En el presente caso se ha circunscrito al sistema denominado playa y dunas costeras que se localiza a lo largo de todo el litoral atlántico de México. La elaboración de una flora es por sí misma de gran importancia para el uso de los recursos naturales, pero no es suficiente. Posterior a este primer paso es necesario contar con la información de apoyo acerca de la ecología de las principales especies que nos permita sugerir políticas para su manejo. El conocimiento de la flora en un amplio tramo de su área de distribución, así como de su variabilidad regional, darán elementos importantes para su conservación y utilización.

En la presente contribución se busca plantear una visión integral de la flora vascular que habita las playas y dunas del litoral oriental de México, de su riqueza, las particularidades de su composición y la distribución de especies a lo largo de la costa, todo ello dentro de un marco ecológico dado por el tipo de ecosistema. La irrestricta destrucción que mediante los desarrollos turísticos costeros produce actualmente el hombre en la biota de las dunas y playas del país hace necesario contar con información regional que permita plantear programas de manejo apropiados y conservación de su flora.

## METODOLOGIA

Se elaboró una lista florística que conjunta la información siguiente:

a) colectas realizadas en 36 localidades a lo largo del litoral del Golfo y Caribe que corresponden a México, con respaldo de un importante análisis de vegetación efectuado a base de levantamientos en los que se registraron características ambientales y valores cuantitativos para cada especie utilizando una escala de abundancia-cobertura propuesta por Westhoff y van der Maarel (1978). Esta información ha sido publicada por Castillo et al. (1991), García (1982), García (1987) Moreno-Casasola et al. (1982), Moreno-Casasola y Espejel (1986) y suman un total de 397 especies. En el Apéndice 1 se enumeran y se indica su localización en los 36 sitios.

b) listados derivados de los estudios florísticos y de vegetación llevados a cabo en 8 sitios de la costa del Caribe mexicano muestreados con la misma metodología que los anteriores, tomados de las contribuciones de Espejel (1984) y de Moreno-Casasola y Espejel (1986). Con esta información se tienen datos para un total de 44 sitios y 492 especies.

c) listados derivados de la revisión de trabajos de otros autores que han colectado o muestreado con metodología diversas las playas de la zona de estudio (Bonet y Rzedowski, 1962; Flores, 1983; González-Medrano, 1972; Poggie, 1962; Puig, 1976; Sauer, 1967; West et al., 1969).

d) datos de colectas extraídos mediante la revisión de los herbarios MEXU y XAL, que permitieron enriquecer y corroborar la información obtenida tanto en el campo como en la bibliografía. De esta manera se incrementó el número de especies a 655.

Se diseñó y se integró una base de datos con la siguiente información: 36 localidades del inciso a, más 27 localidades de los incisos c y d. Esto suma 63 localidades para el litoral del Golfo de México. Para el Caribe se incorporaron las 8 localidades del inciso b, y 20 localidades de los incisos c y d, sumando un total de 28 localidades. La base de datos

integrada de esta manera (91 localidades, 655 especies) nos permite un manejo diferencial de la información y de una manera sencilla, ya que los datos recabados, como se mencionó anteriormente, no proceden de la misma fuente y por lo tanto no son homogéneos. Asimismo, esta base de datos permitirá que investigaciones futuras, hipótesis no planteadas de antemano o simplemente el análisis estadístico de datos pueda extraerse fácilmente y convertirse así en una herramienta útil en la selección y manejo de la información.

## RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo con lo asentado en el Cuadro 1 y tomando en cuenta los 91 sitios para los que se tienen datos, se registraron 655 especies, 353 géneros y 91 familias de fanerógamas. Como puede verse en el Cuadro 2, más de la mitad de estas especies (67.3-68.8%) pertenece a un grupo muy pequeño de familias (16). En las gráficas de la Figura 1 se proporciona el número de especies de cada una de las 91. Se indica asimismo la afinidad fitogeográfica de cada familia, y de acuerdo con el recuento correspondiente, se observa que predominan las de distribución tropical (59), con un menor número las cosmopolitas (26), y únicamente 6 mayormente ligadas con zonas de clima templado. A este respecto cabe comentar que por encontrarse la porción norte de nuestro país en la zona subtropical, se comparten varios géneros y especies con los sistemas de dunas costeras de latitudes más elevadas del hemisferio boreal, como es el caso de *Croton punctatus*, *Oenothera drummondii*, *Cakile geniculata*, *Fimbristylis castanea* y *Pluchea odorata* (Moreno-Casasola, 1988).

**Cuadro 1. Número de familias, géneros y especies registradas de la flora de dunas costeras del litoral mexicano del Golfo y del Mar Caribe. La información se presenta para las distintas agrupaciones de sitios de colecta descritos en la Metodología. Las 91 localidades incluyen el total de la flora citada en la base de datos (información recabada en el presente proyecto, en publicaciones y en revisiones de herbario), y su subdivisión en 63 sitios del Golfo de México (Tamaulipas, Veracruz y Tabasco) y 28 del caribe (Campeche, Yucatán y Quintana Roo). Los 44 sitios agrupan la información del presente trabajo y la publicada en Espejel (1984) y en Moreno-Casasola y Espejel (1986), toda ella obtenida con la misma metodología e intensidad de muestreo. En la sección de Metodología viene una descripción más detallada.**

	<b>91 sitios Golfo de México y Caribe</b>	<b>63 sitios</b>	<b>28 sitios</b>	<b>44 sitios</b>
<b>Familias</b>	<b>91</b>	<b>84</b>	<b>64</b>	<b>86</b>
<b>Géneros</b>	<b>353</b>	<b>279</b>	<b>206</b>	<b>305</b>
<b>Especies</b>	<b>566</b>	<b>486</b>	<b>324</b>	<b>492</b>

El número de especies y familias inventariadas en cada uno de los 44 sitios de muestreo es muy variable (Fig.2), pues hay localidades muy pobres (con sólo 16) y otras muy ricas (con 155 y 112 especies). Se puede ver una tendencia general hacia una mayor riqueza en el estado de Veracruz y en la Península de Yucatán. Tamaulipas, Tabasco y Campeche tienen sistemas de dunas con valores menores. Esta variación, registrada en distintas playas del litoral, posiblemente esté correlacionada con factores ambientales e historias de uso propios de cada localidad (intensidad de aprovechamiento, grado de estabilización, riqueza de hábitats, cercanía de vegetación que sirva como fuente de propágulos), así como con factores geográficos -clima, tipo de suelo, intensidad de vientos y de aspersion salina- (Moreno-Casasola, 1988, 1991; Espejel, 1987; Castillo y Moreno-Casasola, 1996).

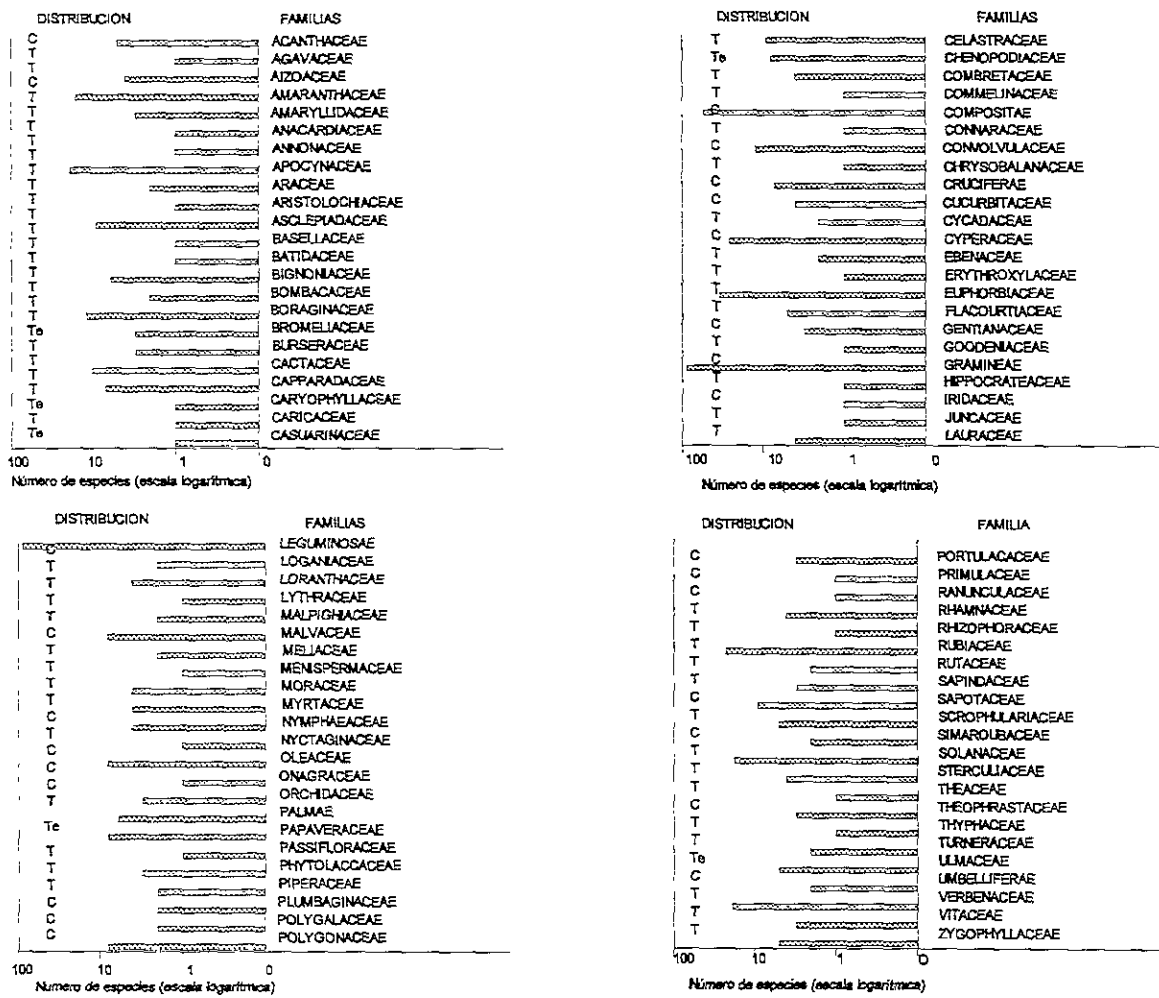


Fig. 1. Número de especies registradas en las 91 familias representadas. Se indica también la distribución predominante de cada una de las familias (T: tropical; Te: templada; C: cosmopolita).

Cuadro 2. Familias representadas por un alto número de géneros y especies y porcentaje que representan del listado florístico. Se presenta el total de la información de los 91 sitios incluidos en la base de datos y la información para los 44 sitios que incluyen únicamente los registros obtenidos en los trabajos de vegetación realizados con la misma metodología (ver la leyenda del Cuadro 1).

Familias	Número de especies		Número de géneros	
	No. (% del total) 44 sitios 492 especies	No. (% del total) 91 sitios 655 especies	No. (% del total) 91 sitios 353 géneros	
Gramineae	74 (15.00)	87 (13.28)	34 (9.63)	
Leguminosae	59 (11.99)	86 (13.12)	37 (10.48)	
Compositae	43 (8.73)	53 (8.09)	37 (10.48)	
Euphorbiaceae	26 (5.28)	34 (5.19)	11 (3.11)	
Cyperaceae	24 (4.87)	26 (3.96)	6 (1.69)	
Rubiaceae	19 (3.86)	23 (3.51)	13 (3.68)	
Amaranthaceae	14 (2.84)	7 (2.44)	8 (2.26)	
Solanaceae	12 (2.43)	18 (2.75)	5 (1.41)	
Verbenaceae	11 (2.23)	19 (2.90)	10 (2.83)	
Apocynaceae	11 (2.23)	19 (2.90)	14 (3.96)	
Convolvulaceae	9 (1.83)	12 (1.83)	6 (1.69)	
Cactaceae	8 (1.62)	10 (1.52)	8 (2.26)	
Boraginaceae	8 (1.62)	12 (1.83)	3 (0.84)	
Asclepiadaceae	7 (1.42)	9 (1.37)	5 (1.41)	
Nyctaginaceae	7 (1.42)	8 (1.22)	5 (1.41)	
Sapotaceae	(1.42)	9 (1.37)	4 (1.13)	
Total	339 (68.79%)	441 (67.28%)	206 (58.27%)	

A partir del listado global (Apéndice 1) se analizó el número de especies que se distribuyen únicamente en el litoral del Golfo de México, indicadas en el Apéndice 1 con una G, en el del Caribe señaladas con la letra C, o que se conocen de ambos sectores, marcadas con G-C. De las 397 especies (ver inciso a en la sección de Metodología) se encontró que 216 (54.4%) están restringidas al litoral del Golfo de México, aunque muchas de ellas sólo se registraron en uno o dos sitios. Únicamente 16.6% (66 especies) se distribuyen en las costas del Caribe y 28.9% (115 especies) se encuentra en las dos partes. Lo anterior indica que la composición de la vegetación de playas y dunas de los dos sectores es muy distinta y



realmente cabe considerar la existencia de dos floras diferentes. El número de especies que se distribuyen en la Península seguramente es mayor, como lo indican los datos de Espejel (1984) que no se incorporaron al Apéndice 1 en este análisis. A pesar de que no se puede hablar de un sitio geográfico específico donde se da el cambio de la flora, sino más bien de una transición paulatina, se tomó como punto de división la localidad de Emiliano Zapata en Tabasco. Esta decisión relativamente arbitraria se basa en el hecho de que este lugar separa áreas de características diferentes de suelo (contenido de carbonato de calcio) y en la distribución de especies características de cada región (Castillo, 1984).

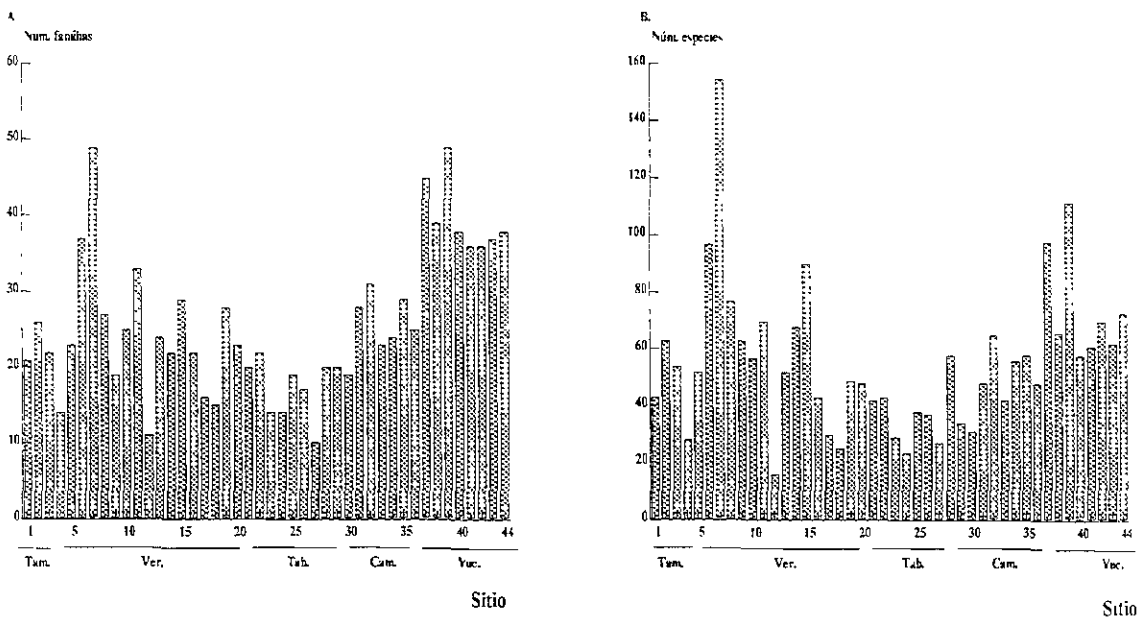


Fig. 2. Número de familias (A) y número de especies (B) registradas en cada uno de los sitios de muestreo a lo largo del litoral del Golfo de México y Caribe de la porción perteneciente a México. Las abreviaturas y la extensión de la línea abarcan las localidades muestreadas en cada estado: Tam. (Tamaulipas), Ver. (Veracruz), Tab. (Tabasco), Cam. (Campeche), Yuc. (Yucatán).

Un elemento más para entender la variación florística es la incidencia de las especies a lo largo del litoral. En la Figura 3 puede verse que la mayoría de ellas tiene una localización restringida a pocos sitios, en tanto que sólo algunas están ampliamente representadas como es el caso de *Ipomoea pes-caprae* y *Sesuvium portulacastrum*. A partir de esta gráfica se puede ver que la riqueza local y por tanto la variación que se da entre los sitios, es producto de una gran cantidad de especies que sólo están presentes en uno o dos lugares. El número registrado en cada inventario es producto de un grupo de plantas relativamente abundantes y ampliamente distribuidas en la costa y de otro gran conjunto de elementos poco frecuentes. Algunas de ellas sólo se encontraron en un sitio de la costa, aunque a menudo son mucho más abundantes tierra adentro. Por ello, el valor total censado para las 44 localidades de muestreo (492 especies) se elevará al incrementarse las zonas de estudio; se seguirá manteniendo el conjunto de plantas de amplia distribución y será mayor el de las localidades en sólo uno o dos sitios.

Abarcando desde la playa hasta las zonas estabilizadas ocupadas por pastizales y selvas, y teniendo como común denominador un suelo arenoso, la flora costera del litoral oriental de México está formada por un alto número de especies (655 inventariadas hasta el momento), cifra que se incrementará conforme se incorpore la información de nuevos sitios de estudio. Un primer paso en el análisis de esta riqueza florística y de las razones de su existencia se da en función de las afinidades ecológicas de especies que colonizan los ambientes estudiados. Dentro del mosaico ambiental de las dunas existe un amplio abanico de condiciones que van desde las zonas con factores extremos que limitan drásticamente el número y tipo de especies (playas y dunas móviles), hasta aquellas con suficiente humedad y nutrientes como para formar comunidades ricas y complejas estructuralmente (pastizales y

matorrales de las zonas estabilizadas). Con base en revisiones de herbario, se subdividió a las especies registradas en tres categorías, según su distribución y frecuencia en diversos tipos de comunidades (Castillo y Moreno-Casasola, 1996):

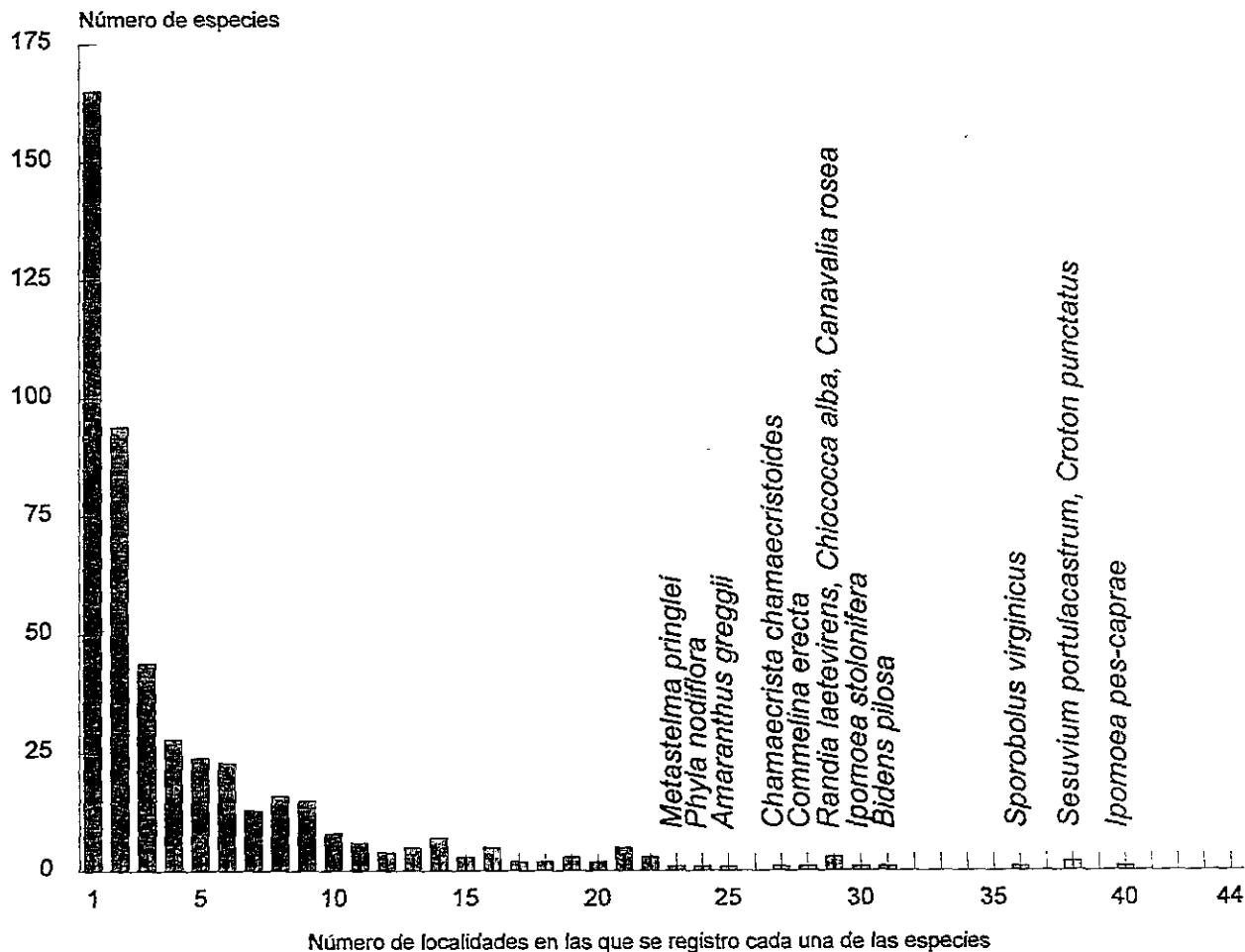


Fig. 3. Frecuencia de la distribución de especies por localidad, donde puede observarse que la mayoría de las especies sólo se presentan en uno o dos sitios, mientras que muy pocas están en más de la mitad de las localidades (25 a 44 playas). Aparecen los nombres de las especies de más amplia distribución.

i. especies costeras, distribuidas de manera esencial en el litoral, preferentemente sobre suelos arenosos, pero también en manglares y marismas y que sólo de manera muy ocasional se encuentran tierra adentro, por ejemplo, sobre lechos arenosos de ríos; están

claramente adaptadas a sobrevivir y reproducirse ventajosamente bajo las condiciones ambientales y biológicas imperantes en las dunas.

ii. especies propias de la vegetación secundaria o ruderales, frecuentemente localizadas en zonas perturbadas o alteradas por la actividad del hombre, como son cultivos, orillas de carreteras, parcelas abandonadas, comunidades en regeneración.

iii. especies que habitan preferentemente otros tipos de vegetación tierra adentro e invaden ambientes adecuados de las dunas para establecerse.

Así podemos ver en el Cuadro 3 que dentro del conjunto de las plantas registradas hay una proporción alta de elementos pertenecientes a las dos últimas categorías (frecuentes en otras comunidades y propias de la vegetación secundaria o ruderal) y una cantidad bastante más reducida de especies costeras. Estas tendencias se mantienen al incrementarse el número de sitios de análisis. La figura 3 muestra que numerosas plantas eminentemente costeras son las que tienen una distribución amplia, encontrándose en muchas localidades, mientras que la gran mayoría de las especies sólo se presentan en uno o dos sitios. Vale la pena aclarar que hubo un porcentaje bajo de elementos (2.2%) a los que no se les pudo asignar una categoría específica.

Cuadro 3. Número de especies pertenecientes a cada una de las tres categorías en función de su afinidad ecológica. Las costeras son aquellas restringidas a ambientes del litoral, las ruderales o propias de comunidades secundarias son aquellas que han sido colectadas frecuentemente en zonas perturbadas o acahuales, y las especies esencialmente propias de comunidades no costeras como bosques, selvas bajas, pastizales.

Afinidad ecológica	44 sitios	% con respecto a 492 especies	91 sitios	% con respecto a 655 especies
Costeras	64	13.0	71	10.8
Propias de comunidades secundarias	172	34.9	237	36.1
Propias de comunidades no costeras	245	49.7	336	51.2
Sin asignación a una categoría específica	11	2.2	11	1.6

La complejidad topográfica de los sistemas de dunas resulta ser un factor ecológico primordial, ya que la variabilidad en la misma trae como consecuencia un extenso desarrollo de hábitats que van desde los terrenos inundables hasta aquellos en los que el manto freático está fuera del alcance de las plantas, de sitios donde el substrato es móvil hasta totalmente fijo, algunos muy pobres hasta otros con bastante materia orgánica y nutrientes. Esta gran variedad de condiciones también favorece la alta riqueza de especies. A grandes rasgos cabe diferenciar tres grandes tipos de ambientes:

i. ambiente de dunas costeras activas en donde predomina un substrato móvil de arena y mayor salinidad; incluye varios hábitats, como la franja de pioneras (playa y dunas embrionarias), el primer cordón de dunas y las zonas móviles.

ii. ambiente de hondonadas en las que se presenta un alto contenido de humedad edáfica y las raíces frecuentemente están en contacto con la arena húmeda (hábitat de hondonadas húmedas) y puede haber inundaciones durante varios meses (hábitat de hondonadas inundables).

iii. ambiente estabilizado, donde los factores físicos ya no son extremos (no hay movimiento del substrato, la fluctuación de temperatura y humedad es más baja, la cantidad de nutrientes es mayor), y las interacciones biológicas incrementan su importancia. En sistemas de topografía sencilla, detrás del primer cordón de dunas aparece una zona protegida, donde la influencia marina disminuye notablemente, Tierra adentro, aun sobre un substrato arenoso, se tienen zonas totalmente estabilizadas con pastizales, matorrales y selvas. De ahí la presencia de especies de selva como *Brosimum alicastrum* y *Cedrela odorata* en el Apéndice 1.

En la Figura 4 se muestra la proporción de especies que habitan en cada uno de los ambientes en los 44 sitios estudiados. Los valores se calcularon a partir del número de

componentes efectivamente registrados en cada ambiente de determinada localidad, de manera que cuando una especie existe en dos ambientes, es contabilizada dos veces. Los resultados resumidos en el Cuadro 4 muestran que la riqueza florística está dada en buena parte por la gran cantidad de componentes que prosperan en las zonas estabilizadas, aunque su número es muy fluctuante ya que varía entre 11 y 122 especies; en los otros dos ambientes el intervalo es de 0 a 50. Es importante hacer notar que las hondonadas no se encuentran en los sitios 35, 36, 41 y 44.

Cuadro 4. Número de especies y familias que se registraron en cada uno de los tres ambientes principales (costeros, de hondonadas y estabilizados) y sus respectivos hábitats en las dunas costeras estudiadas. Ver texto para mayor explicación.

Ambiente	Hábitat	44 sitios		91 sitios	
		Número de especies	Número de familias	Número de especies	Número de familias
Costero	Playa de dunas embrionarias	11	7	17	7
	Primer cordón	61	20	68	21
	Dunas móviles	21	5	25	5
Hondonadas	Hondonadas húmedas	134	34	164	38
	Hondonadas inundables	14	8	14	8
Estabilizado	Zonas protegidas	156	35	209	44
	Zonas estabilizadas	253	66	336	68

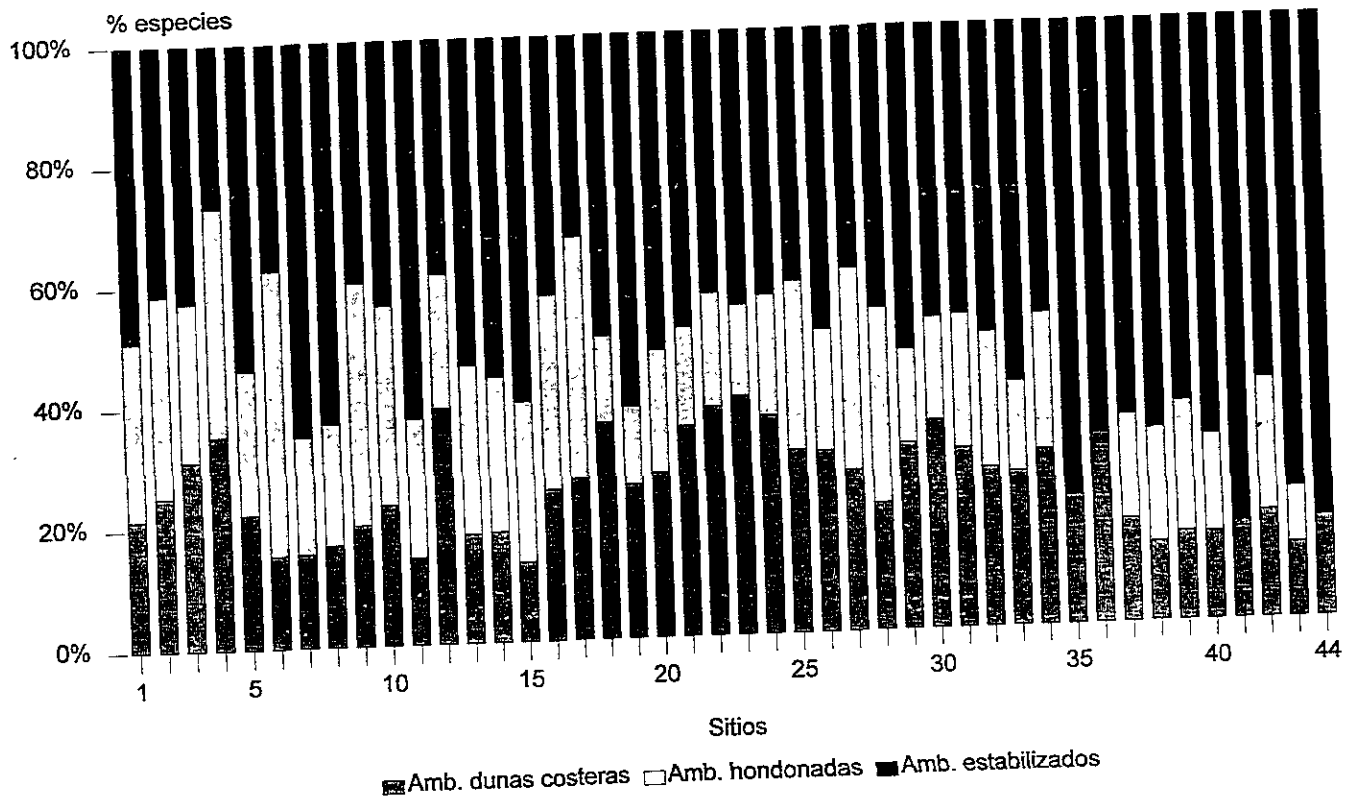


Fig. 4. Porcentaje de especies presentes para cada uno de los 3 ambientes principales (ambiente de dunas sujeto a altas tasas de movimiento de arena y en ocasiones salinidad; ambiente de hondonadas sujeto a las fluctuaciones del manto freático; y ambiente estabilizado, donde hay una alta cubierta de vegetación y factores físicos como el movimiento de arena, la salinidad y la inundación no son determinantes). Solamente se incluyen los datos para las 44 localidades para las cuales teníamos la certeza de esta información.

En el Cuadro 4 se muestra el número de taxa para cada uno de los ambientes de los sitios del Golfo y Caribe. Se puede observar que donde las condiciones son más drásticas (por el movimiento de arena, la salinidad, o la inundación) existe un menor número de especies, comparado con el valor presente en las zonas estabilizadas y protegidas. Algunos de estos hábitats tienen una distribución más restringida, por ejemplo en el Caribe son muy raras las dunas móviles y las hondonadas inundables. Lo mismo sucede en el hábitat de las playas, aunque en este caso obedece a que en este ambiente aparecen las especies de más amplia distribución (Fig.3); asimismo, es menor el número de especies adaptadas a tales

condiciones. En cambio, en los ambientes estabilizados es donde se produce un gran incremento en el número de especies conforme se añaden nuevos sitios.

En el Cuadro 5 se ilustra de manera cuantitativa la representación de cada una de las formas de crecimiento registradas. Predominan las plantas herbáceas en general, que comprenden 49.2 %, o sea casi la mitad de las especies. Dentro de ellas, las herbáceas erectas y amacolladas tiene los valores mayores. Los árboles y arbustos están representados por un porcentaje relativamente alto, 39.9%. La Figura 5 muestra las proporciones de especies de las diferentes formas de crecimiento en cada uno de los tres principales ambientes. Se puede observar que las formas herbáceas son las que caracterizan fisonómicamente el ambiente costero y el de hondonadas, en tanto que en las zonas estabilizadas dominan los elementos arbóreos y arbustivos. Las epífitas y parásitas son las de distribución más restringida; éstas últimas sólo se localizan en zonas estabilizadas.

Cuadro 5. Número de especies y porcentaje de la flora que comprende cada forma de crecimiento. Se presenta para el total de los sitios incorporados en la base de datos (91) así como para el total de sitios trabajados con la misma metodología (44).

Formas de crecimiento	Número y % de especies con respecto a 44 sitios		Número y % de especies con respecto a 91 sitios	
Arboles	75	15.2	95	14.5
Arbustos	72	14.6	97	14.8
Arbusto trepadores	19	3.8	22	3.4
Subarbusto	11	2.2	12	1.8
Suculentas	24	4.8	28	4.3
Epífitas	02	0.4	4	0.6
Parásitas	03	0.6	3	0.5
Herbáceas erectas	85	17.2	104	15.8
Herbáceas amacolladas	59	11.9	65	9.9
Herbáceas arrosetadas	38	7.7	40	6.1
Herbáceas postradas	21	4.2	28	4.3
Herbáceas rastreras	12	2.4	21	3.2
Herbáceas trepadoras	27	5.4	34	5.2
Sin especificar	44	8.9	102	15.6
Totales	492	99.3	655	100



A lo largo de este estudio se detectó la existencia de algunos endemismos como *Chamaecrista chamaecristoides* (con algunas poblaciones en el litoral Pacífico de México, según Martínez (1994). *Trachypogon gouini*, *Palafoxia lindenii* y *Amaranthus greggii*, que llegan a ser elementos importantes en las zonas móviles y playas del Golfo de México (Moreno-Casasola, 1988; Sauer 1967). Las cuatro especies restringen su distribución a dunas costeras, por lo que se les puede considerar endémicas del bioma correspondiente. Este número es sumamente bajo si se compara con los porcentajes calculados para otros tipos de vegetación en México. Sin embargo, si se añaden los encontrados por Espejel (1987) para la vegetación costera del Mar Caribe (aunque varias de éstas habitan también otras comunidades de la Península de Yucatán, como las selvas bajas), se obtiene un total de 19 especies.

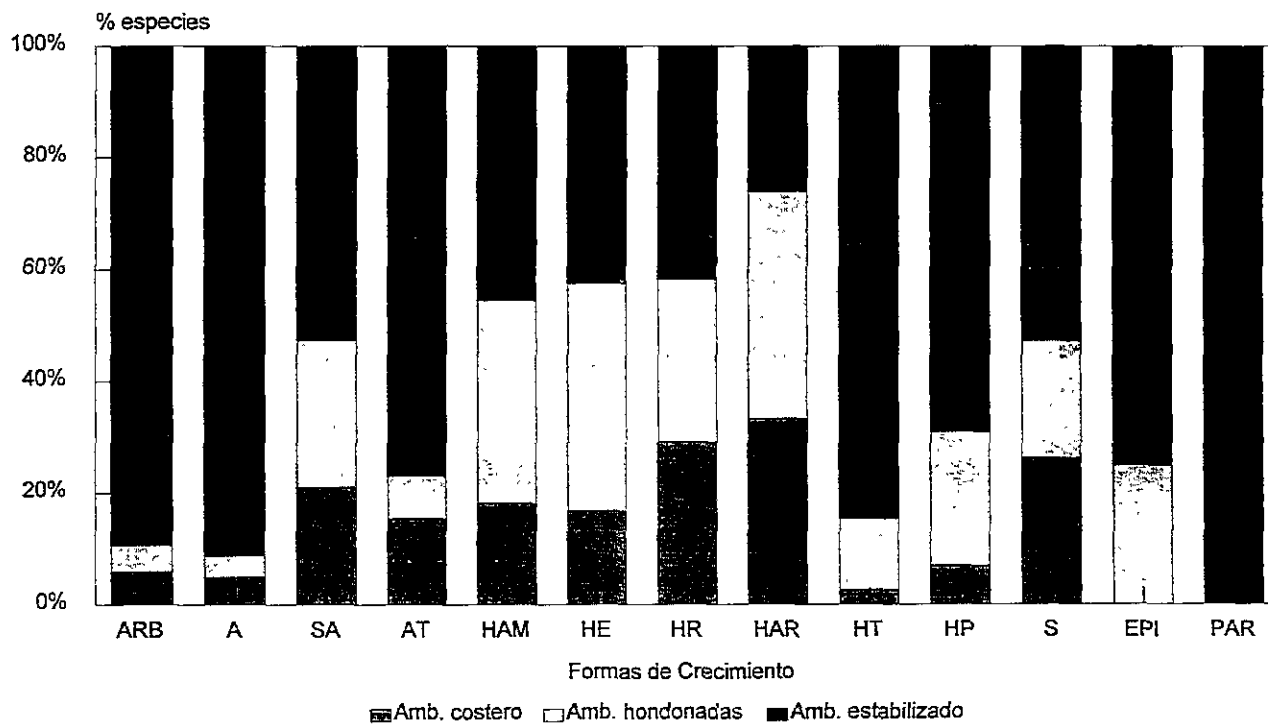


Fig. 5. Proporción de especies correspondientes a cada una de las formas de crecimiento registradas en cada uno de los tres principales ambientes (costero, de hondonadas y estabilizado). ARB: árboles, A: arbustos, SA: subarbustos, AT: arbustos trepadores, HAM: herbáceas amacolladas, HE: herbáceas erectas, HR: herbáceas rastreras, HAR: herbáceas arrosietadas, HT: herbáceas trepadoras, HP: herbáceas postradas, S: suculentas, EPI: epífitas, PAR: parásitas.

La existencia del mosaico ambiental ejerce una importante selección sobre el conjunto de plantas que colonizan las dunas y permanecen en ellas, constituyendo un elemento determinante de la riqueza florística. La presencia y la distribución de las diferentes condiciones físicas y tipos de perturbación dados por el movimiento de arena y por la fluctuación del manto freático (Martínez y col., en prensa) es variable en el tiempo y espacio, y depende no sólo de la geomorfología del sistema particular y de las fuentes de arena, sino también del grado de estabilización del mismo . La dinámica propia de los sistemas de dunas permite la existencia de ambientes muy particulares que favorecen la permanencia de especies costeras (en los ambientes donde predomina el movimiento de arena) y de plantas características de la vegetación secundaria y/o provenientes de otras comunidades, principalmente en los médanos estabilizados.

La distribución de las dunas a lo largo de casi 2000 km de costa y el rápido deterioro de la vegetación en las mismas, debido al uso de que el hombre hace de ellas, apuntan hacia la necesidad de realizar un mayor esfuerzo de colecta con el fin de completar el registro de su flora. Cabe agregar que ya quedan escasos remanentes de las selvas medianas que anteriormente ocupaban las zonas de dunas (como la de la región de La Mancha), por lo que contamos con poca información acerca de estas comunidades.

Como se ha visto a lo largo del presente análisis, es obvio que existen importantes diferencias de composición florística a lo largo de las costas mexicanas del Golfo de México y del Mar Caribe (Moreno-Casasola, 1988; Moreno-Casasola y Castillo., 1992). Las plantas que habitan las dunas, y por lo tanto sus interacciones, su vulnerabilidad y la dinámica que presentan dentro del sistema, son diferentes en función de las condiciones climáticas y del tipo de arena presente. Todo esto hace que las dunas presenten una problemática particular que repercute en la riqueza de especies de las comunidades que las colonizan y en sus perspectivas de conservación.

## AGRADECIMIENTOS

Deseamos hacer patente nuestro agradecimiento a Fuensanta Rodríguez por la participación en la colecta y muestreo de la vegetación, al personal del MEXU que ayudó en la identificación de los ejemplares botánicos, a Olga Alvarez por su participación en la creación de la base de datos. Este trabajo es una contribución a la Red de Biodiversidad de Ecosistemas Costeros de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) y fue parcialmente apoyado por los proyectos CONACYT No. 3465-N y 1830P-N.

## LITERATURA CITADA

- Bonet, F. y J. Rzedowski. 1962. La vegetación de las islas del Arrecife Alacranes, Yucatán. An. Esc. Nac. Cienc. Biol. 11: 15-59
- Castillo, S. 1984. Estudio preliminar de la vegetación de dunas costeras de Tabasco y Campeche Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 123 pp.
- Castillo, S., J. Popma y P. Moreno-Casasola. 1991. Coastal sand dune vegetation of Tabasco and Campeche, México. J. Veg. Science 2: 73-88.
- Castillo, S. y P. Moreno-Casasola. 1996. Sand dune vegetation: an extreme case of species invasion. J. of Coastal Cons. 2: 13-22.
- Espejel, I. 1984. La vegetación de dunas costeras de la Península de Yucatán. I. Análisis florístico del estado de Yucatán. Biotica 9(2): 183-210.
- Espejel, 1987. A phytogeographical analysis of coastal vegetation in the Yucatan Peninsula J. Biogeog. 14: 499-519.
- Flores, J. S. 1983. Vegetación insular de la Península de Yucatán. Bol. Soc. Bot. Méx. 45: 23-37.
- García, A. C. 1982. Análisis de la vegetación de las dunas estabilizadas de la región del Morro de la Mancha, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. pp. 70.
- García, T. 1987. Descripción de la vegetación de dunas costeras del sur de Tamaulipas. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. pp. 55.
- González-Medrano, F. 1972. La vegetación del nordeste de Tamaulipas. Anales Inst. Biol. Universidad Nacional Autónoma de México, Ser. Bot. 43(1): 11-50.
- Martínez, M. L., P. Moreno-Casasola y G. Vázquez. En prensa. Long-term effect of sand movement and inundation by water on tropical coastal sand dune vegetation. Canad. Journal Bot.

- Moreno-Casasola, P. 1988. Patterns of plant species distribution on coastal dunes along the Gulf of Mexico. *J. Biogeogr.* 15: 787-806
- Moreno-Casasola, P., 1991. Sand dune studies on the eastern coastal of Mexico. *Proc. Canad. Symp. On Coastal Dunes*. National Research Council, Guelph, Ontario, Canada. Pp. 215-230.
- 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, *Ver. Biotica* 7: 491-526.
- Moreno-Casasola, P. e I. Espejel. 1986. Classification and ordination of coastal dune vegetation along the Gulf and Caribbean Sea of Mexico. *Vegetatio* 66: 147-182.
- Moreno-Casasola, P. y S. Castillo. 1992. Dune ecology on the eastern coast of Mexico. En: Seeliger U. (ed.). *Coastal plant communities of Latin America*. Academic Press. Nueva York. Pp. 309-321.
- Poggie, j. J. 1962 Coastal pioneer plant and habitat in the Tampico region, Mexico. Coastal Studies Institute, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana. Techn. Rep. 17 A: 1-62.
- Puig, H. 1976. Vegetation de la Huasteca, Mexique. *Mission Archéologique et Ethnologique Francaise du Mexique. Collection d' Études Mésoaméricaines* 5: 214-222.
- Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Bot. Mex.* 14: 3-21.
- Sauer, J. D. 1967. Geographic reconnaissance of the seashore vegetation along the Mexican Gulf coast. Coastal Studies Institute. Louisiana State University. Baton Rouge, Louisiana. Techn. Rep. 56.-59 pp.
- West, R. C., N. P. Psuty y B. G. Thom. 1969. The Tabasco lowlands of southeastern Mexico. Coastal Studies Institute. Louisiana State University. Baton Rouge, Louisiana. Techn. Rep. 70: 193 pp.
- Westhoff, V. y Maarel, E. Van der. 1978. The Braun-Blanquet approach. In: Whittaker, R. H. (ed.). *Classification of Plant Communities*, ed. R. H. Whittaker, pp. 287-399. Junk, La Haya.





















# Coastal sand dune vegetation: an extreme case of species invasion

Castillo, S.A. & Moreno-Casasola, P.

<sup>1</sup>Laboratorio de Ecología, Facultad de Ciencias, UNAM, México 04510 D.F., México;

<sup>2</sup>Instituto de Ecología, A.C. Apdo. Postal 63, Xalapa 91000, Veracruz, México;

**Abstract.** The coastal sand-dune flora of the Gulf and Caribbean region of Mexico was analyzed to understand differences in floristic composition and richness found along the coast. Each of the 655 species reported was classified according to its ecology and distribution range by checking herbaria specimens, literature and specialists. Three groups were formed: (a) species with predominantly coastal distribution; (b) ruderal or secondary species frequently found inland, common of disturbed areas such as roadsides, abandoned fields or forming part of secondary growths; (c) inland species frequently found in other vegetation types such as tropical dry or seasonal forest and grassland. A total of 71 coastal species, 237 ruderal/secondary and 336 species from other community types were found. The distribution of these groups was analyzed along 44 sites of the Gulf and Caribbean, in the different dune habitats and for the dominant growth forms. Coastal species are more widely distributed; they predominate in habitats with sand movement and the herbaceous component prevails. Ruderal/secondary species and especially those belonging to other vegetation types frequently appear in only one or two sites occupying more protected or stabilized habitats. The two latter groups considerably increase species richness of sand dune flora, but also pose interesting problems for dune conservation.

**Keywords:** Coastal dune; Species distribution; Richness.

## Introduction

The floristic composition of a plant community is the result of its disturbance history, its present dynamics, the life history (attributes) of the species colonizing and reproducing successfully in that particular environment and species availability (Guevara 1982). Sand dune vegetation is a clear example of this and we believe that invasion of species with different traits are important contributors to floristic richness and biodiversity. Once their propagules have dispersed into the dune systems, species attributes (such as germination, establishment and growth requirements) will be important in defining in which part of the dune mosaic invading species will survive and reproduce.

Coastal sand dunes in the Gulf of Mexico are characterized by a sandy, nutrient-poor substrate of siliceous particles with variable amounts of calcareous sand. There are systems with narrow beaches and one or more parallel dune ridges 3-8 m high. There are also topographically complex systems with 25-m high dunes with different degrees of stabilization. Caribbean dunes in Mexico are formed by ridges of calcareous sand, derived from coral reefs and shells as well as from the limestone Peninsula of Yucatan. Both regions have many floristic and physiognomic differences (Sauer 1967; Garcia 1987; Moreno-Casasola 1991).

In patch dynamics, natural systems are seen as mosaics of local, suitable patches colonized by various species at different times. Species ranges show that a species' internal geographical abundance is usually dynamic, even when the range limits are stable. Thus, invasions can be conceived as temporary disturbances leading to spatial dynamism and viewed more broadly, species ranges can be regarded as being in a

constant state of flux, both internally and externally (Hengeveld 1989). Plant community boundaries are not static; ecotones show a constant exchange of species. Seed dispersion can take place between communities that are not necessarily close.

Invading species have been identified as those being indigenous to some region other than the area being invaded. In many cases, this is not always clear-cut: it is difficult to define community boundaries, modification of scale in the analysis makes results differ, and population density as well as species presence should be taken into account to define the native range of a species. For the purpose of this paper a difference is made between exotics and invaders. Exotics can be defined as alien species introduced intentionally or non intentionally to the region. Often, ecosystem invasion by exotic plants can have detrimental effects. Exotics displace native species by competing for resources, interfere with successional processes, alter disturbance regimes and disrupt food chains (Van Wilgen & Richardson 1985; Mac Donald & Frame 1988; Elliott & White 1989). We define invaders as species with an occasional presence for that type of community (arbitrary frequency values of 10-20% for the sites) which can have low or high population numbers on a site and are frequently characteristic of other community types. Huston (1994) considers that invasions potentially lead to an increase in species richness, as the invading species are added to the existing species pool, although numerous examples demonstrate that they can also lead to extinctions.

In biological invasions there are two components, modulated by timing and chance: the invasive species and the invaded community. Consequently, community invasibility varies according to the characteristics of the community and the life history traits of the potential invaders (Ewel 1986). Disturbed communities are more often subject to invasions than intact communities and disturbance regime (type, frequency, duration



and magnitude of disturbance) is recognized as the most important overall factor allowing invasion of exotic species (Elton 1958; Myers 1984; Ewel 1986; Fox & Fox 1986; Crawley 1987; Rejmánek 1989; DeFerrari & Naiman 1994; Huston 1994). However, there are several examples in which invasion occurs in the absence of disturbance (Mack 1985; Burdon & Chilvers 1977; Kruger 1977). Huston (1994) considers that there has been little progress in generalization about which ecosystems are most likely to be invaded.

Coastal dunes are very dynamic systems comprising a wide variety of habitats with different physical and biotic conditions, allowing the existence of species with very diverse life history traits. They can be visualized as a permanently changing environment with distinct degrees of stabilization closely correlated with the topography and the disturbance produced by sand movement (Barbour et al. 1985; Moreno-Casasola 1986; Maun & Lapierre 1984) and slack inundation (van der Laan 1979; Sykes & Wilson 1987; Grootjans et al. 1991). It results in a vegetation mosaic which has been described by several authors (see Methods).

The aim of this work is to understand the floristic composition, richness and variability of the regional sand-dune systems along the Gulf and Caribbean through a detailed analysis of species composition, trends in species distribution patterns, species richness under different habitats and disturbance regimes and growth forms that compose the present dune flora. Strategies for conservation and management of the dune flora will be influenced by the resulting species analysis.



n

**Fig. 1.** Location of the 44 beach and dune study sites sampled (\*). Sites include the Gulf (Northern Gulf-sites 1 to 6 and Central Gulf sites 7 to 29) and the Caribbean (sites 30 to 44). Other beaches and dunes studies (reported in the literature) are indicated with a dot. See text for references.

## Methods

We accumulated a list of 655 species for the coastal beach and dune vegetation along the Gulf of Mexico and Caribbean Sea of México. A data base was elaborated to allow for consultations. Data from the vegetation analysis of 44 beach and dune sites (Fig. 1) totaling 492 species were used (Moreno-Casasola et al. 1982; Espejel 1984; Moreno-Casasola & Espejel 1986; García 1987; Castillo et al., 1991). This list was augmented with information from publications (Flores 1984; González-Medrano 1972; Poggie 1962; Puig 1976; Sauer 1967) and herbaria specimens in the National Herbarium at the National Autonomous University of Mexico (MEXU) and in the Herbarium of the Institute of Ecology in Xalapa (XAL). Finally, a partial list of some of the species belonging to each species type is given in Table 4. The complete list is available from the authors.

Each of the 655 species was assigned to one of three categories of distribution patterns. This was done by examining all specimens for each of the listed species in the collections of both herbaria. A category was assigned when 60% or more of the specimens indicated a certain type of distribution. This was further checked against the literature and by specialists (see Acknowledgements). We were not able to classify several species mainly because of absence of herbaria collections and these were left out of the calculation (*Amaranthus arenicola*, *Eragrostis excelsa*, *E. yucatanensis*, *Eriochloa boxiana*, *Mandevilla subsagittata*, *Matelea yucatanensis*, *Panicum rigidulum*, *Paspalum clavuliferum*, *Pithecellobium grisebachii*, *Solanum yucatanum*, *Strumpfia maritima*).

Species distribution patterns were divided into three categories:

(1) species with a predominantly coastal distribution (sand dunes, coastal marshes or mangroves) henceforth referred to as coastal (C);

(2) inland ruderal or secondary species frequently found inland and common inhabitants of disturbed areas such as roadsides, abandoned fields or secondary growths; henceforth ruderals/secondary (R/S);

(3) inland species, frequently found in other vegetation types (OT) which can be considered mature, such as tropical seasonal forest, oak woodland or grassland.

For most of the analyses the complete floristic list was used (655 species). Where geographical or local habitat distributions were analyzed, only data for the 44 sites sampled with the same methodology and intensity were utilized (492 species), so as to avoid errors caused by intensity of sampling during floristic collections.

## Results

Species numbers varied considerably among sites and distribution patterns. A total of 71 (10.83%) coastal species (C) were found. The sand dune flora also comprised 237 ruderal/secondary species (R/S-36.2%), as well as 336 species characteristic of other communities (OT-51.3%). Species richness per site (Fig.2) is very variable (18-157 species). The number of species in the three categories (out of a total of 492) in each of the 44 sites also varies considerably. The mean number of C-species found was 15.5( $\pm$  4.6), of R/S-species was 18.5 ( $\pm$  9.7) and OT-species was 21.4 ( $\pm$  14.7).

Although the coastal flora between the Gulf and the Caribbean is quite distinct in species numbers and composition (Sauer 1967; Moreno-Casasola & Espejel 1986; Espejel 1984; Moreno-Casasola 1988) the same trends in species number per pattern of distribution is maintained (Table 1). To further understand this distribution, a more detailed analysis of the flora of the Gulf coast was made by subdividing this region's flora into two distinct floristic groups based on distribution of predominant growth forms, presence of endemics, biogeographical relations and general floristic composition (Moreno-Casasola 1988,1991). The Northern Gulf group (State of Tamaulipas and northern part of Veracruz, sites 1 to 6 in Fig. 2 – has many similarities with the Texas coastal flora; the Central Gulf group (States of Veracruz and Tabasco – sites 7-29) has many different elements. Comparisons between both Gulf groups show that the Central group has the lowest proportion of C-species, sharing 32 species with the Northern group. Species numbers vary between floristic groups but proportions of the three categories are roughly maintained, especially when comparing both Gulf groups with the Caribbean.

Species presence along sites varied greatly. A high number of species were very infrequent, appearing only in one or two sites. Species frequency distribution was analyzed for the three categories. Fig. 3a, b shows that C-species, both along the Gulf and the Caribbean, have higher frequency values. This means that more species are found along a high number of beach and dune sites. The species most frequently occurring on the beach and embryo dunes along the Gulf coast are: *Ipomoea stolonifera*, *Oenothera drummondii*, *Chamaecrista chamaecristoides*, *Schizachyrium scoparium* var. *littoralis*, *Palafoxia lindenii*, *Amaranthus greggii* and *Fimbristylis spadicea*. They are present in more than half of the sampled sites. Several of them are

important sand stabilizers in active dunes, which are found along this coast. *Hibiscus pernambucensis* is less frequent but also a characteristic tree species along these

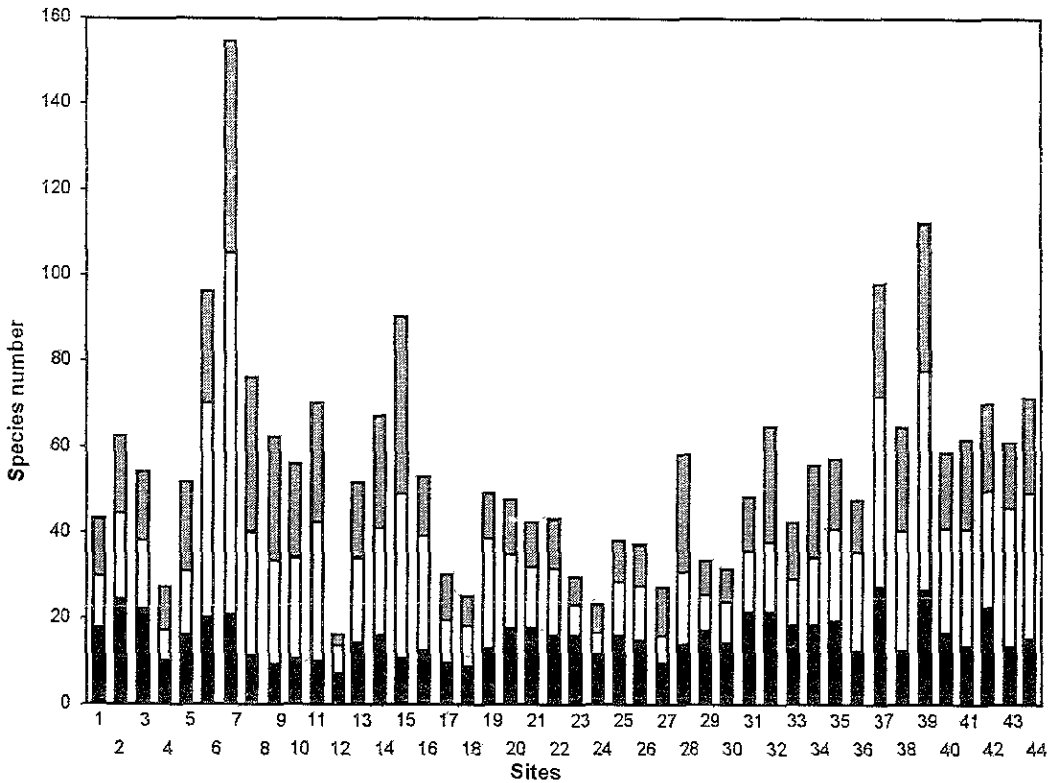


Fig. 2. Species richness along the 44 Gulf and Caribbean sites. Black low parts of columns represent coastal species (C ), open middle parts species from other vegetation types (OT), and shaded parts ruderal/ secondary species (R/S).

coasts. Another group of beach species is mainly found along the Caribbean. (*Scaevola plumierii*, *Coccoloba uvifera*, *Ambrosia hispida*, *Tournefortia gnaphalodes*, *Ernodea littoralis*, *Suriana maritima*, *Tribulus cistoides*) and still other species (*Ipomoea pes-caprae*, *Sesuvium portulacastrum*, *Sporobolus virginicus*, *Canavalia rosea*, *Okenia hypogea*, *Croton punctatus* ) are widely distributed in both areas. Coastal species in stabilized dunes also vary between the Gulf and Caribbean. *Schizachyrium scoparium* var. *littoralis*, *Schrankia quadrivalvis* and *Cenchrus tribuloides* are frequent along the

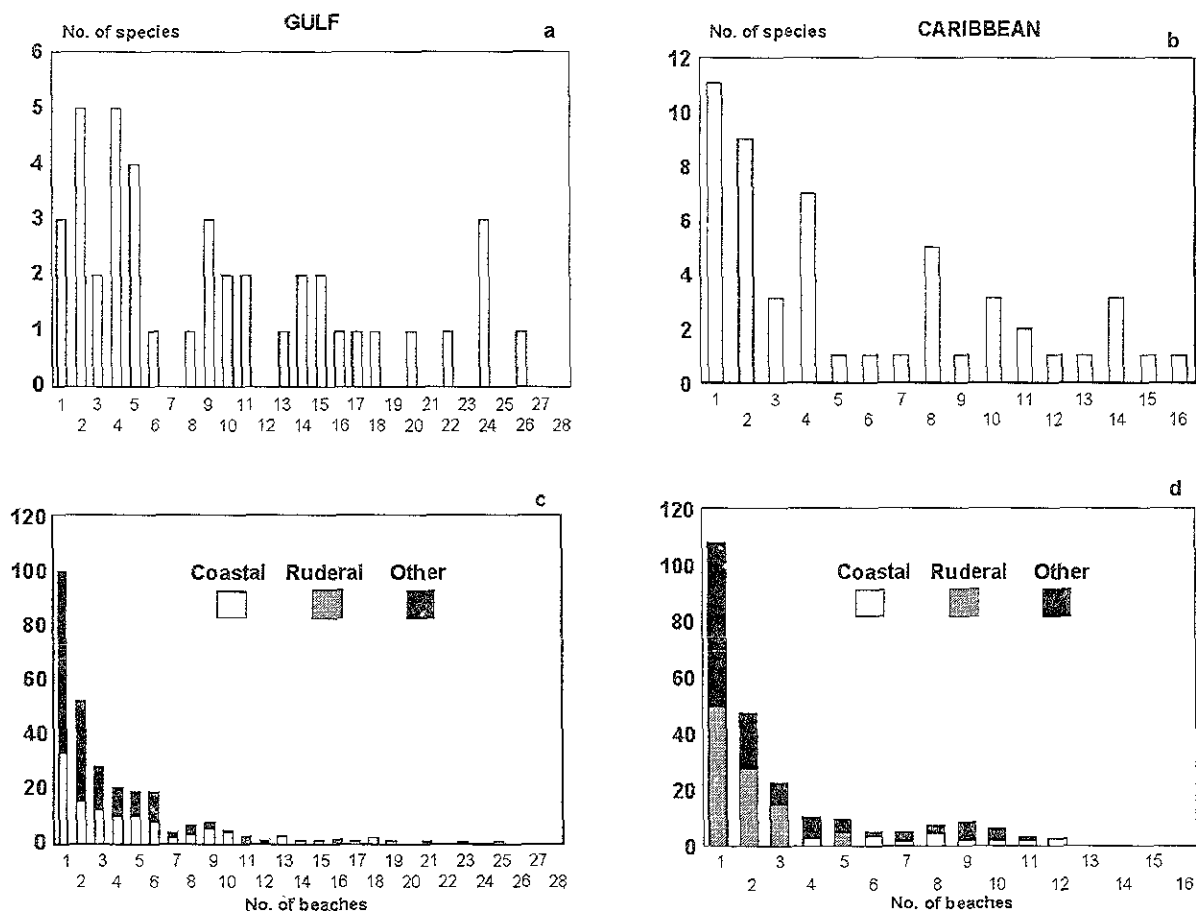
Gulf. In the Caribbean the following species are common: *Tribulus cistoides*, *Ernodea littoralis*, *Scaevola plumierii*, *Coccoloba uvifera* and *Pithecellobium keyense*. The latter form dense thickets.

**Table 1.** Number of species (out of a total of 655) and percentage of coastal, ruderal/secondary and species from other vegetation types found in the Gulf and Caribbean regions. The northern gulf floristic group is found in Tamaulipas and North Veracruz, the Central Gulf group inhabits central and southern Veracruz and Tabasco, and the Caribbean group includes Campeche and the Yucatan Peninsula (Moreno-Casasola 1991).

	Northern Gulf		Central Gulf		Total Gulf		Caribbean	
	No.spp.	%	No.spp.	%	No.spp.	%	No.spp.	%
Coastal	49	19.2	41	10.7	58	14.3	51	16.4
Ruderal/secondary	70	29.0	149	39.0	168	41.4	129	39.3
Others	126	51.8	192	50.3	179	44.3	137	44.3
Total	245	100	382	100	405	100	317	100

The frequency distribution of R/S and OT-species follows a much more pronounced inverse J-curve (Fig. 3c, d). Many of them occur in only one or two sites, and very few appear in more than one third of the sites. Data for Gulf and Caribbean species together, showed that 55% of R/S and 62% of OT-species were recorded in one or two sites (in contrast with 52% of C-species in seven sites). Values on the Y-axis are much higher in Fig. 3b than in Fig. 3a. Along the Gulf, 43.2% of R/S-species appeared in only 1-2 sites and only seven species (*Bidens pilosa*, *Panicum maximum*, *Commelina erecta*, *Iresine diffusa*, *Lippia nodiflora*, *Porophyllum punctatum* and *Crotalaria incana*) occur in more than a third of the sampled sites (which is equivalent to ten sites). For the Caribbean, 68.5% of the species appeared in 1-2 sites and seven species (*Lantana involucrata*, *Jacquinia aurantiaca*, *Gossypium hirsutum*, *Gymnopodium floribundum*,

*Cenchrus echinatus*, *C. incertus* and *Portulaca pilosa*) are also found in more than one third of the sites (seven sites). *Passiflora foetida*, *Portulaca oleracea*, *Commelina erecta*, *Macroptilium atropurpureum*, *Malvaviscus arboreus* and *Rivina laevis* are widely distributed in the Gulf and Caribbean.



**Fig. 3.** Frequency distribution of coastal species (C) along 44 sites on the Gulf (a) and Caribbean (b). Frequency distribution of ruderal/secondary species (R/S)- shaded bars- and for species characteristic of other vegetation types (OT) – darkened columns along the Gulf (c) and Caribbean (d). See text for explanation.



**Table 2.** Number and percentage of coastal species ( C ) ruderal/secondary (R/S) and species from other vegetation types (OT) in habitats of the dune system. Percentages in bold letters indicate values along horizontal lines. Three main habitats bases on the subdivisions elaborated by Doing (1981) and Moreno-Casasola & Espejel (1986) are used. Dune habitats are characterized mainly by sand movement (and low salinity). Water-dependent habitats are the slacks where the elevation of the water table produces inundation during the rainy season and a higher concentration of nutrients. Stabilized areas --- such as grasslands, thickets or tropical forest – have a dense plant cover, no sand movement, roots are out of reach of the phreatic table and physical factors lose importance as agents of disturbance.

	Dry dune habitats			Wet slacks			Stabilized habitats		
	No. Spp	%	%	No. Spp	%	%	No. Spp	%	%
Coastal	39	40.6	<b>41</b>	20	12.3	<b>21</b>	36	7.4	<b>37.8</b>
Ruderal/Secondary	30	31.2	<b>11</b>	56	34.5	<b>20.5</b>	186	38.5	<b>68.3</b>
Others	27	28.1	<b>7.2</b>	86	53	<b>22.9</b>	261	54	<b>69.7</b>
Total	96	99.9		162	99.8		483	99.9	

OT-species show the same trend as R/S-species (Fig.3c, d). Many of the Gulf species (60.9 %) appear exclusively in one or two sites and only a few appear in more than a third of them (*Chamaesyce dioica*, *Cyperus articulatus*, *Hydrocotyle bonariensis*, *Erigeron myrionactis*, *Chamaesyce ammanioides*, *Citharexylum ellipticum*, *Cissus sicyoides* and *Psychotria erythrocarpa*). Shared by the Gulf and Caribbean beaches and dunes are *Chiococca alba*, *Metastelma pringlei*, *Randia laetevirens*, *Waltheria indica* and *Bursera simaruba*. In the Caribbean 64.2 % species occur in 1-2 sites and 11 species appear in more than one third (*Agave angustifolia*, *Coccothrinax readii*, *Cordia sebestena*, *Capparis flexuosa*, *C. Incana*, *Commicarpus scandens*, *Metopium brownei*, *Thrinax readii*, *Bumelia retusa*, *Caesalpinia vesicaria* and *Hymenocallis littoralis*).

Coastal dune vegetation is characterized by a mosaic of habitats in which environmental factors change. C,R/S and OT-species differ in their presence among habitats (Table 2). Dune habitats are formed by the sandy beach, embryo dunes and foredunes in which sand movement is the dominating environmental factor. C-species predominate in the dune habitat (40.6%), R/S and OT-species represent 31.21% and 28.1% respectively. Humid and wt slacks are those habitats which become inundated during the rainy season when the water table rises. OT-species also represent more than half of the species present (53%), R/S represent more than a third (34.5 %) and C-species 12.3 %. In stabilized habitats where there is no sand movement and conditions are less stressful such as grassland, thickets and tropical forest – including the protected area behind the foredune -, OT-species represent more than half (54%), R/S-species 38.5 % and C-species only 7.4%. If we analyze distribution of C-species among habitats (Table 2, percentages in bold letters), we find that 41 % of them occur in dune habitats, 37.8 % in stabilized communities and 21 % in slacks or water-dependent habitats. R/S and OT-species have low values in dune habitats (11 and 7.2 % respectively), intermediate values in slacks (20.5 and 22.9 % respectively) and high percentages in stabilized habitats (68.3 % and 69.7%).

Growth forms also vary among the species groups (Table 3). Herbaceous species can be divided into (1) grasses and sedges --- in which OT-species account for 48.3% and R/S-species for 33.3% --- and (2) forbs (where R/S-species account for 45.1 %). OT-species are the dominant group among shrubs (51.2%), and especially trees, where they represent 77.6 %. In both shrubs and trees coastal species have few representatives. If we analyze the growth forms of C-species (Table 3, percentages in bold letters), we find that 71 % of them are herbaceous (grasses and sedges:

*Schizachyrium scoparium*, *Panicum amarum*, *Sporobolus virginicus*, *Trachypogon gouini*, *Uniola paniculata*, *Fimbristylis spadicea*, and forbs: *Ipomoea pes-caprae*, *Canavalia rosea*. See Table 4). 27.5 % of the C-species are woody (shrubs or trees: *Chrysobalanus icaco*, *Ermodea littoralis*, *Coccoloba uvifera*, *Chamaecrista chamaecristoides*, *Hibiscus pernambucensis*, *Suriana maritima*) and 0.7 % have particular growth forms such as cacti (*Opuntia stricta*).

**Table 3.** Number and percentage of coastal ( C ), ruderal/secondary (R/S) and species from other vegetation types (OT) for the various growth forms. Other growth forms include cacti, Agaves and epiphytes. Percentages in bold letters indicate values along horizontal lines.

	No. spp.	%	No.spp.	%	No.spp.	%	No.spp.	%	No.spp.	%	No.spp.	%	No.spp.	%	
C	11	18.3	28	17.6	49	<b>71</b>	14	11.7	5	5.8	19	<b>27.5</b>	1	7.6	<b>0.69</b>
R/S	20	33.3	97	45.1	117	<b>67</b>	44	36.9	14	16.4	58	<b>33.1</b>	--	--	--
OT	29	48.3	80	37.2	109	<b>43.9</b>	61	51.2	66	77.6	127	<b>51.2</b>	12	92.3	<b>4.8</b>

R/S-species are also mainly herbaceous (67% - *Asclepias curassavica*, *Cenchrus echinatus*, *Commelina erecta*, *Desmodium* spp., *Macroptilium atropurpureum*, *Rhynchelitrum repens*, *Sida rhombifolia*, *Solanum nigrum*), and the woody species represent 33.1% (*Acacia farnesiana*, *Celtis pallida*, *Caesalpinia cacalaco*, *Guazuma ulmifolia*, *Senna occidentalis*, *Thevetia gaumeri*, *Verbesina persicifolia*). OT-species show a different trend. Herbaceous elements represent 43.9 % (*Eleocharis* spp., *Fimbristylis castanea*, *Nymphaea ampla*, *Typha domingensis*, *Rhynchosia americana*) and woody species account for more than half (51.2 % – *Acacia cornigera*, *Bursera simaruba*, *Bumelia* spp., *Cedrela odorata*, *Enterolobium cyclocarpum*). Palms were considered under shrubs and trees, because of their physiognomy (*Acrocomia*

mexicana, *Thrinax radiata*, *Coccothrinax readii*, *Scheelea liebmanii*). No other data are available on various ecological or physiological traits.

**Table 4.** Partial list of coastal ( C ), ruderal/secondary (R/S) and species from other vegetation types (OT).

Coastal	Ruderal / secondary	Other vegetation types
<i>Amaranthus greggi</i>	<i>Acacia farnesiana</i>	<i>Abrus precatorius</i>
<i>Ambrosia hispida</i>	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	<i>Acacia macracantha</i>
<i>Avicennia germinans</i>	<i>Andropogon glomeratus</i>	<i>Acanthocereus pentagonus</i>
<i>Batis maritima</i>	<i>Aristida adscensionis</i>	<i>Aechmea bracteata</i>
<i>Caesalpinia bonduc</i>	<i>Asclepias curassavica</i>	<i>Agave angustifolia</i>
<i>Cakile edentula</i>	<i>Axonopus compressus</i>	<i>Amphilopium paniculatum</i>
<i>Cakile lanceolata</i>	<i>Bidens pilosa</i>	<i>Borreria densiflora</i>
<i>Canavalia rosea</i>	<i>Borreria frutescens</i>	<i>Bumelia retusa</i>
<i>Chamaecrista</i>	<i>Cardiospermum halicacabum</i>	<i>Bursera simaruba</i>
<i>chamaecristoides</i>	<i>Cenchrus echinatus</i>	<i>Casearia nitida</i>
<i>Chrysobalanus icaco</i>	<i>Cnidioscolus urens</i>	<i>Chamaesyce dioica</i>
<i>Coccoloba uvifera</i>	<i>Commelina erecta</i>	<i>Chiococca alba</i>
<i>Conocarpus erecta</i>	<i>Crotalaria incana</i>	<i>Coccoloba barbadensis</i>
<i>Croton punctatus</i>	<i>Cyperus esculentus</i>	<i>Coccothrinax readii</i>
<i>Erithalis fruticosa</i>	<i>Desmodium incanum</i>	<i>Cordia sebestena</i>
<i>Ernodea littoralis</i>	<i>Fimbristylis spathacea</i>	<i>Cyperus articulatus</i>
<i>Fimbristylis spadicea</i>	<i>Florestina tripteris</i>	<i>Diphysa robinoides</i>
<i>Hibiscus pernambucensis</i>	<i>Gossypium hirsutum</i>	<i>Eleocharis caribaea</i>
<i>Ipomoea pes-caprae</i>	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Eugenia capuli</i>
<i>Ipomoea stolonifera</i>	<i>Gymnopodium floribundum</i>	<i>Hydrocotyle bonariensis</i>
<i>Iva asperifolia</i>	<i>Inidigofera suffruticosa</i>	<i>Jacquinia pungens</i>
<i>Laguncularia racemosa</i>	<i>Iresine diffusa</i>	<i>Krugiodendrum ferreum</i>
<i>Oenothera drummondii</i>	<i>Jacquinia aurantiaca</i>	<i>Lycium carolinianum</i>
<i>Okenia hypogaea</i>	<i>Lantana camara</i>	<i>Metastelma pringlei</i>
<i>Opuntia stricta var. dillenii</i>	<i>Lantana involucrata</i>	<i>Nectandra coriacea</i>
<i>Palafoxia lindenii</i>	<i>Macroptilium atropurpureum</i>	<i>Nymphaea ampla</i>
<i>Panicum amarum</i>	<i>Malvaviscus arboreus</i>	<i>Pectis saturejoides</i>
<i>Panicum repens</i>	<i>Panicum maximum</i>	<i>Pithecellobium dulce</i>
<i>Pithecellobium keyense</i>	<i>Passiflora foetida</i>	<i>Prosopis juliflora</i>
<i>Philoxerus vermicularis</i>	<i>Phyla nodiflora</i>	<i>Psychotria erythrocarpa</i>
<i>Rhizophora mangle</i>	<i>Porophyllum punctatum</i>	<i>Randia laetevirens</i>
<i>Salicornia bigelovii</i>	<i>Portulaca oleracea</i>	<i>Scheelea liebmanii</i>
<i>Scaevola plumierii</i>	<i>Rhynchelytrum repens</i>	<i>Sporobolus jacquemonti</i>
<i>Schizachyrium scoparium</i>	<i>Rivina laevis</i>	<i>Stemmadenia decipiens</i>
<i>Sesuvium portulacastrum</i>	<i>Solanum americanum</i>	<i>Stenocereus laevigatus</i>
<i>Sophora tomentosa</i>	<i>Sporobolus pyramidatus</i>	<i>Thrinax radiata</i>
<i>Sporobolus virginicus</i>	<i>Tecoma stans</i>	<i>Turnera diffusa</i>
<i>Suriana maritima</i>	<i>Tephrosia cinerea</i>	<i>Typha latifolia</i>
<i>Tournefortia gnaphalodes</i>	<i>Verbesina persicifolia</i>	<i>Vigna vexillata</i>
<i>Trachypogon gouini</i>	<i>Vigna luteola</i>	<i>Zamia furfuracea</i>
<i>Uniola paniculata</i>		

## Discussion

Frequently, exotics are considered synonymous to invaders. There are few data on dune colonization by exotics from abroad (*Rhynchelytrum repens*, *Cocos nucifera*, *Casuarina equisetifolia*). Exotics are known to compete with native species, even to the point of replacing them. It is difficult to imagine the implications that such invasions have had on dune systems, as studies on dune communities are recent, and human activities both on the coastal plain and on dunes are quite old. Johnson & Barbour (1990) mentioned three exotics that tend to take over habitats they invade in the coasts of Florida: *Agave sisalana*, *Schinus terebinthifolius* and *Casuarina equisetifolia*. In this study invaders (OT and R/S) are those species which have not evolved in coastal environments, but their life history traits allow them to colonize and reproduce successfully. Their presence is highly variable and they are not so frequent as to be considered characteristic elements of the communities. 59% of invaders are found in just one or two sites. The analysis performed on the 655 species that constitute the coastal dune flora of the Gulf and Caribbean of Mexico helps to understand why dune communities behind the foredune are so different both floristically and structurally from one place to another. The dune system seems to tolerate and enrich its flora with invaders.

The results of this study show that species richness for any one site depends on the presence of several groups of species, each of which predominates in particular habitats within the dune system and in different periods of the stabilization process. There is essentially no biological difference between the process of invasion and the process of colonization or recolonization by native plants. Colonization after a disturbance is a

fundamental process of plant succession (Huston 1994). C-species, which include those solely adapted to sand dune environments, mangroves and coastal marshes, have a more uniform distribution throughout the littoral areas (Fig. 2 and Table 1) although, numerically, they often constitute a minor component on each site (Fig. 2).

Populations may disappear from any one area, but they will soon recolonize and reestablish. They occupy environments with stressful physical conditions (sand movement, airborne salinity, sea-water inundation) in which other species are not successful such as beaches, embryo dunes and active dunes. In these habitats disturbance by sand movement is determinant and is constantly opening new spaces for colonization. C-species are the most abundant here and they have probably evolved under these drastic conditions (Table 2). This explains their higher frequency distribution along the sites (Fig 2). Barbour et al. (1987) analyzed growth forms of beach vegetation along the northern Gulf of Mexico: 46% of the taxa were perennial, not-succulent forbs, 29% were perennial grasses and allies and 26% woody perennials, mostly sclerophyllous. Percentages of herbaceous and woody C-species in dune habitats are very similar to those found by Barbour et al. (1987).

Most R/S and OT-species were found in only one or two sites. They invade the dunes and some propagules are able to germinate and establish. Stabilized habitats and slacks have adequate conditions for their successful establishment and reproduction. Their presence probably depends on nearby sources, time, chance species attributes and adequate microhabitats in the dune system. These are found further away from the beach: humid slacks and stabilized areas. OT-species are able to invade as well as S/R-species but with lower numbers. Slacks are also subjected to disturbances produced by inundation. Wetland flora is adapted to these conditions and easily invades new sites in

which humid conditions predominate. This would explain the high number of OT-species found in water dependent habitats. R/S-species are able to colonize newly opened spaces in which vegetation has died after a prolonged inundation period.

Species adapted to stable mature communities (OT) are constantly invading and colonizing. Succession tends towards grasslands and tropical forests – dry and semideciduous (Novelo 1978; Moreno-Casasola & Espejel 1986) where OT-species will dominate. They show the highest percentage of invaders (Table 2), having more OT-species than S/R species. The standard deviation for OT-species than S/R species number along the 44 sites is the highest ( $21 + 14.7$ ), the minimum being 6 and the maximum 184. In these habitats there is usually an almost closed vegetation cover and probably more competition among plants both for nutrients and water. Disturbances are more sporadic and less intense. Thickets and tropical forests on coastal dunes are mainly formed by invaders (mostly OT-species) and with time will resemble these types of communities established inland, although always with some coastal elements (C-species).

The results obtained for the three habitat types do not show any direct relationship between disturbance and invasibility. R/S-species account for approximately one third of the richness in the three of them, regardless of their disturbance regime. OT-species account for 54% of the flora of stabilized sites, where sand movement and inundation are not important.

During the last decades, many tropical sand dune areas have increasingly been bordered by agricultural land. The coastal plain has rich soils with crops and managed grasslands for cattle. They are connected by dirt roads and other types of corridors that favour the spread and persistence of weeds, thus facilitating movement of plants

through the landscape (DeFerrari & Naiman 1994; Romano 1990). Human activities favour the presence of weeds and ruderal species, many of which produce small, easily dispersed seeds. It is probable that the disappearance of forests and the increase in croplands, pastures and secondary vegetation will increase the R/S component and modify the composition of the vegetation covering stabilized dunes. This will increase the presence of herbaceous growth forms (Table 3).

Many other physiological parameters will also be modified. As Barbour et al. (1985) have shown, beach species show trends in life forms, leaf traits and physiological behavior (for example germination, growth and photosynthesis have broad temperature optima). We do not have information on these differences for C, R/S and OT-species.

Currently, the result is a highly variable flora between different dune systems in a geographic region, the coastal element (C) being the common link because of its higher frequency distribution. At the regional level other vegetation types, i.e. mediterranean-type shrublands, also show a high level of floristic variation although structure remains fairly uniform (Griffin et al. 1983).

Biodiversity and its conservation is now becoming one of the main concerns of humankind. Coastal dune systems occupy a very low percentage of the land environments. In subtropical and tropical regions it is rapidly diminishing with the impressive growth of touristic developments. Species richness in dune systems cannot be approached in a simple way. It varies geographically (Gulf and Caribbean) as well as locally (Figs. 1 and 2), depending on the degree of stabilization, mosaic of environmental conditions, floristic composition (percentage of C, OT and R/S-species) and potential sources of propagules of invading species. The dune flora must be considered as a floristically variable and rich entity formed by species with very different



evolutionary histories. The sand dune patchwork of environmental conditions and communities changes in space and also in time. It is a highly dynamic system in which processes of succession and disturbance constantly produce heterogeneity and allow the presence of numerous invading species.

Dunes are complex mosaics of habitats, each with dynamics that are closely linked with particular disturbance regimes (mainly sand movement and inundation). Conservation and management of dune communities should take into account the preservation of this heterogeneity, as each element-type of this patchwork responds differently to human alterations. *Of primary concern are habitats needed by C-species.* These habitats are characterized by the intensity of disturbances and are associated with the first stages of dune stabilization. Dune conservation should reproduce spatially the temporal sequence of dune stabilization. By favouring this mosaic of habitats, species whose existence depend on the physical factors determining each habitat are guaranteed a place where they can reproduce successfully. Later stages favour the presence of invaders (OT and R/S) which drastically increase local biodiversity. Their presence probably depends on nearby sources, mainly of OT-species.

The data presented in this paper seem to imply a contradiction between favouring habitats for C-species and facilitation stabilized conditions more adequate for OT-species (and quite a number of R/S-species) and thus richer communities. We believe *dune conservation strategies should take into account the simultaneous maintenance of several degrees of stabilization in nearby systems as well as preserved patches of communities inland (forests, thickets, grasslands) which can act as seed sources.* Efforts should be encouraged to preserve the dynamics and ecosystem functioning of dunes,

which include both the habitats in which coastal species survive successfully and those in which thickets and trees predominate.

Acknowledgements. We are grateful to Jerzy Rzedowski, Gonzalo Castillo, Patricia Dávila, Fernando Chiang and Javier Valdez for checking the assigned species categories, and to Sergio Guevara, Carlos Vazquez-Yanes and Guadalupe Williams-Linera for their helpful comments on an earlier version of the manuscript.

## References

- Barbour, M., DeJong, T.M. & Pavlik, B.M. 1985. Marine beach and dune plant communities. In: Chabot, B.F. & Mooney, H.A. (eds) *Physiological ecology of North American plant communities*, pp. 296-322. Chapman and Hall, New York, NY.
- Barbour, M., Rejmánek, M., Johnson, A.F. & Pavlik, B.M. 1987. Beach vegetation and plant distribution patterns along the northern Gulf of Mexico. *Phytocoenologia* 15: 201-233.
- Burdon, J.J. & Chilvers, G.A. 1977. Preliminary studies on a native Australian eucalypt forest invaded by exotic pines. *Oecologia (Berl.)* 31: 1-12.
- Castillo, S., Popma, J. & Moreno-Casasola, P. 1991. Coastal sand dune vegetation of Tabasco and Campeche, Mexico. *J. Veg. Sci.* 2:73-88.
- Crawley, M.J. 1987. What makes a community invasible? In: Gray, A.J., Crawley, M.J. & Edwards, P.J. (eds.) *Colonization, succession and stability*, pp. 429-453. Blackwell Scientific Publications, London.
- DeFerrari, C.M. & Naiman, R.J. 1994. A multi-scale assessment of the occurrence of exotic plants on the Olympic Peninsula, Washington. *J. Veg. Sci.* 5:247-258.
- Doing, H. 1981. A comparative scheme of dry coastal dune habitats, with examples from the eastern United States and some other temperate regions. *Veröff. Geobot. Inst. Eidg. Tech. Hochsch. Stift. Rübel Zür.* 7:41-72
- Elliott, K.J. & White, A.S. 1989. Competitive effects of various grasses and forbs on ponderosa pine seedlings. *For. Sci.* 33: 356-366.
- Elton, C.S. 1958. *The ecology of invasions by animals and plants*. Methuen, London.
- Espejel, I. 1984. La vegetación de las dunas costeras de la Península de Yucatán. I. Análisis florístico del estado de Yucatán. *Biotica* 9: 183-210.
- Ewel, J. 1986. Invasibility: lessons from South Florida. In: Mooney, H.A. & Drake, J.A. (eds.) *Ecology of biological invasions of North America and Hawaii*, pp. 214-230. Springer Verlag, New York, NY.
- Flores, S. 1984. Vegetación insular de la Península de Yucatán. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 45: 23-37.

- Fox, M.D. & Fox, B.J. 1986. The susceptibility of natural communities to invasions. In: Groves, R.H. & Burdon, J.J. (eds.) *Ecology of biological invasions*, 57-66. Cambridge University Press, Cambridge.
- García, M.T. 1987. Descripción de la vegetación de dunas costeras del sur de Tamaulipas. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- González-Medrano, F. 1972. La vegetación del nordeste de Tamaulipas. *Anal. Inst. Biol. Mex. Ser. Bot.* 43: 11-50.
- Griffin, E.A., Hopkins, A.J.M. & Hnatiuk, R.J. 1983. Regional variation in mediterranean-type shrublands near Eneabba, south-eastern Australia. *Vegetatio* 52: 103-127.
- Grootjans, A.P., Hartog, P.S., Fresco, L.F.M. & Esselink, H. 1991. Succession and fluctuation in a wet dune slack in relation to hydrological changes. *J. Veg. Sci.* 2:545-554.
- Guevara, S.S. 1982. Ecología de la vegetación de dunas costeras: esquema de investigación. *Biotica* 7: 603-610.
- Hengeveld, R. 1989. *Dynamics of biological invasions*. Chapman and Hall, London.
- Huston, M.A. 1994. *Biological diversity. The coexistence of species on changing landscapes*. Cambridge University Press, New York, NY.
- Johnson, A.F. & Barbour, M.G. 1990. Dunes and maritime forests. In: Myers, R.L. & Ewel, J.J. (ed.) *Ecosystems of Florida*, pp. 429-480. Univ. Of Central Florida Press, Gainesville, FL.
- Kruger, F.J. 1977. Invasive woody plants in the Cape fynbos with special reference to the biology and control of *Pinus pinaster*. Proceedings of the Second National Weeds Conference of South Africa. A.A. Balkema, Cape Town.
- MacDonald, I.A.W. & Frame, G.W. 1988. The invasion of introduced species into nature reserves in tropical savannas and dry woodlands. *Biol. Conserv.* 44:67-93.
- Mack, R.N. 1985. Invading plants: their potential contribution to population biology. In: White, J (ed.) *Studies in Plant Demography: a Festschrift for John Harper*, pp. 127-141. Academic Press, London.
- Maun, M.A. & Lapierre, J. 1984. The effects of burial by sand on *Ammophila arenaria*. *J. Ecol.* 72: 827-829.
- Moreno-Casasola, P. 1986. Sand movement as a factor in the distribution of plant communities in a coastal dune system. *Vegetatio* 65:67-76.
- Moreno-Casasola, P. 1988. Patterns of plant species distribution on coastal dunes along the Gulf of Mexico. *J. Biogr.* 15: 787-806.
- Moreno-Casasola, P. 1991. Sand dune studies on the eastern coast of Mexico. In: Davidson-Arnott, J. (ed.) *Proc. Canadian Symposium on Coastal Sand Dunes*. Pp: 125-230, September 1990, Guelph, Ontario. National Research Council Canada.
- Moreno-Casasola, P. & Espejel, I. 1986. Classification and ordination of coastal sand dune vegetation along the Gulf and Caribbean Sea of Mexico. *Vegetatio* 66: 147-182.
- Moreno-Casasola, P., van der Maarel, E., Castillo, S., Huesca, M.L. & Pisanty, I. 1982. Ecología de la vegetación de dunas costeras: estructura y composición en el Morro de la Mancha I. *Biotica* 7: 491-526.
- Myers, R.L. 1984. Ecological compression of *Taxodium distichum* var. *nutrans* by *Melaleuca quinquenervia* in southern Florida. In: Ewel, K.C. & Odum, H.T. (eds.) *Cypress Swamps*. Univ. Of Florida Press, Gainesville, FL.

- Novelo, R.A. 1978. La vegetación de la Estación Biológica El Morro de La Mancha, Veracruz. *Biotica* 3: 9-23.
- Poggie, J.J. 1962. Coastal pioneer plants and habitat in the Tampico region, México. Coastal Studies Institute, Louisiana State Univ. Techn. Rep. 17A.
- Puig, H. 1976. Vegetation de la Huasteca, Mexique. Mission Archeologique et Ethnologique Francaise du Mexique. Coll. Etud. Mesoam. 5: 214-222
- Rejmanek, M. 1989. Invasibility of plant communities. In: Drake, J.A., H.A. Mooney, H.A., di Castri, F., Groves, R. H., Kruger, F.J., Rejmanek, M. & Williamson, M. (eds.) *Biological Invasions. A global perspective*. Pp. 369-388 J. Wiley & Sons, New York, NY.
- Romano, G.B. 1990. Invasibility of a mixed hardwood forest by *Eupatorium capillifolium* and *E. compositifolium*. M. Sc. Thesis, University of Florida.
- Sauer, J. D. 1967. Geographic reconnaissance of seashore vegetation along the Mexican Gulf Coast. Coastal Studies Institute, Louisiana State Univ. Techn. Rep. 56.
- Sykes, M.T. & Wilson, B.J. 1987. The vegetation of a New Zealand dune slack. *Vegetatio* 71:13-19.
- van der Laan, D. 1979. Spatial and temporal variation in the vegetation of dune slacks in relation to the ground water regime. *Vegetatio* 39: 43-51.
- van Wilgen, B.W. & Richardson, D.M. 1985. The effects of alien shrub invasions on vegetation structure and fire behaviour in South African fynbos shrublands: a simulation study. *J. Appl. Ecol.* 22:955-966.

## Biodiversidad Costera: Playas y Dunas

Ma. Luisa Martínez, 1 Patricia Moreno-Casasola 2 y Silvia Castillo 1

1 Laboratorio de Ecología, Facultad de Ciencias, UNAM. México D.F. 04510, México

2 Instituto de Ecología A.C. Apdo. Postal 63, Xalapa 91000, Veracruz, México

Martínez M. L., P. Moreno-Casasola y S. Castillo 1993. Biodiversidad Costera: Playas y Dunas. pp. 160-181 In Biodiversidad Marina y Costera de México. S.I. Salazar-Vallejo y N.E. González (eds.). Com. Nat. Biodiversidad y CIQRO, México, 865 pp.

Coastal biodiversity can be observed at different levels: geographic, local, and in the microhabitats. We can consider these systems as floristic and environmental mosaics. Coastal vegetation along both Mexican coasts is a good example of such geographic variation. This mosaic is also very variable in time: geomorphological, successional and disturbance processes play an important role in the dynamics of dune systems. The vegetation of coastal dunes includes species that grow only on the coast and inland species, frequently ruderals. Dune vegetation plays an important role for the fauna, since it provides microhabitats and links the coast with higher altitude environments. Coastal sand dunes are affected by different human and natural activities like storms or hurricanes. Preservation of coastal environments is important not only because of their high biodiversity, but also to conserve species endemic to Mexican coasts. Policies for coastal dune management and conservation should consider the species and the dynamic processes that occur constantly in these systems.

*Key words: Coastal dunes, vegetation, conservation, heterogeneity.*

La biodiversidad en las zonas costeras se da a diferentes niveles: geográfico, local y de microambientes o hábitats. Cada una de estas escalas resulta en un mosaico florístico

ambiental. A lo largo del litoral mexicano se pueden encontrar diferencias en las comunidades costeras en los diferentes niveles. Este mosaico espacial cambia en el tiempo por procesos geomorfológicos y sucesionales, o por perturbaciones que reinician la sucesión. La flora de estos sistemas incluye especies exclusivas de dunas y especies invasoras o secundarias. La vegetación de dunas costeras ofrece microambientes para la fauna y enlaza zonas de mayor altitud y la costa. Las dunas costeras se ven afectadas por actividades humanas y naturales como tormentas y huracanes. La conservación de los ambientes costeros no es importante sólo por su biodiversidad, sino que, para mantener especies endémicas de México. En el manejo y conservación de dunas costeras hay que considerar a las especies y a los procesos que ocurren constantemente.

## INTRODUCCION

*Las zonas costeras constituyen ambientes muy diversos en la Tierra. Reid y Miller (1989) estimaron que en ellas habitan entre 10 y 30 millones de especies, de las cuales sólo 1.4 millones han sido reconocidas y descritas. En la parte marina los arrecifes se encuentran entre los ecosistemas de mayor diversidad, mientras que en la parte terrestre algunas de las zonas que se han reconocido como de más alta diversidad se encuentran cerca o a lo largo de la costa (Myers 1988). Un alto porcentaje de los países megadiversos, como Colombia, México, Australia e Indonesia, presentan un litoral extenso (Mittermeir 1988).*

Todo lo anterior, como lo indica Beatley (1991), apunta hacia una visión amplia del concepto de biodiversidad, el cual contempla la conservación de las especies individuales, la preservación de la diversidad del acervo genético de cada especie y el mantenimiento de las características y funciones de las comunidades y de los propios ecosistemas (Ray 1988). Los sistemas de dunas costeras tienen una alta variabilidad topográfica y una serie compleja de

gradientes ambientales inter-relacionados que conforman diferentes microhábitats para una gran cantidad de especies. La comprensión de la biodiversidad y su conservación son un ejemplo claro de esta visión amplia planteada por Beatley (1991).

Las costas constituyen la frontera donde se sobreponen e interactúan los sistemas terrestres y los marinos. Conforman una zona de transición donde los factores paleoecológicos, geológicos y biológicos son únicos (Ray 1988). La propia individualidad y el funcionamiento de estos dos grandes conjuntos de sistemas se ven afectados por lo que sucede en ambos lados. Así, los escurrimientos de agua que vienen de las sierras desembocan en las costas y arrastran sedimentos, nutrimentos y contaminantes. Lo que acarrearán y depositan refleja la situación de las comunidades tierra adentro. La dinámica del mar (huracanes, mareas, corrientes, materiales arrastrados, nutrimentos) también afecta playas, manglares y marismas.

La dinámica de las zonas costeras involucra necesariamente a las comunidades colindantes, creando por tanto un mosaico en donde el conjunto de comunidades mar-tierra interactúan. Estas interacciones resultan en una heterogeneidad propia de cada ambiente, la cual brinda una mayor variedad de condiciones y por lo tanto incrementa la riqueza de especies. Diversos factores varían según el ambiente, entre los cuales destacan interacciones entre los elementos bióticos (flujo de especies, depredación) y los abióticos (sistemas hidrológicos, intercambio de nutrimentos, procesos geomorfológicos). Por tanto, cuando se habla de la biodiversidad de una comunidad o de un ecosistema, se está hablando del conjunto de especies que lo caracterizan, de sus adaptaciones particulares, de la dinámica que lo rige y de las funciones que lo mantienen.

## MOSAICOS Y HETEROGENEIDAD

Existen diversos factores que promueven la biodiversidad de los sistemas costeros y deben verse a diferentes escalas y bajo diferentes enfoques, los cuales son complementarios. La primera de ellas es a nivel geográfico, la segunda a nivel local y la tercera a nivel de microambientes o hábitats. Cada una de estas escalas resulta en un mosaico florístico/ambiental cuya dimensión depende del enfoque usado. En los siguientes incisos los analizaremos con mayor detalle.

La existencia de mosaicos complejos de ambientes y comunidades a lo largo de las costas es un factor importante cuando se quiere evaluar la biodiversidad costera. Esta cantidad y variabilidad de condiciones ambientales produce una gran riqueza y heterogeneidad de hábitats que favorece la presencia de numerosas plantas y animales con formas de crecimiento y adaptaciones muy diferentes.

### **A. Mosaicos espaciales de comunidades costeras**

Desde una perspectiva geográfica, a lo largo de la línea de costa podemos encontrar una gran cantidad de comunidades: playas de arena, dunas, playas rocosas, acantilados, manglares, marismas, estuarios, rocas intramareales, fondos arenosos y arrecifes (Fig.1).

La situación entre los dos grandes sistemas, el terrestre y el marino, hace que las comunidades costeras sean frágiles y que su dinámica y permanencia estén dadas por la interacción de un conjunto de factores provenientes y que responden a las condiciones de ambos sistemas. Así, los manglares requieren un cierto grado de inundación, salinidad, materia orgánica, sedimentos; los estuarios requieren de agua corriente con mayor profundidad, y un intervalo de salinidad mayor, y las playas se establecen sobre un sustrato móvil, están expuestas a una cierta salinidad e inundaciones temporales. La influencia del sistema marino en estas comunidades es grande e impone una gama de condiciones



particulares que limitan el número de especies capaces de sobrevivir y reproducirse con éxito.

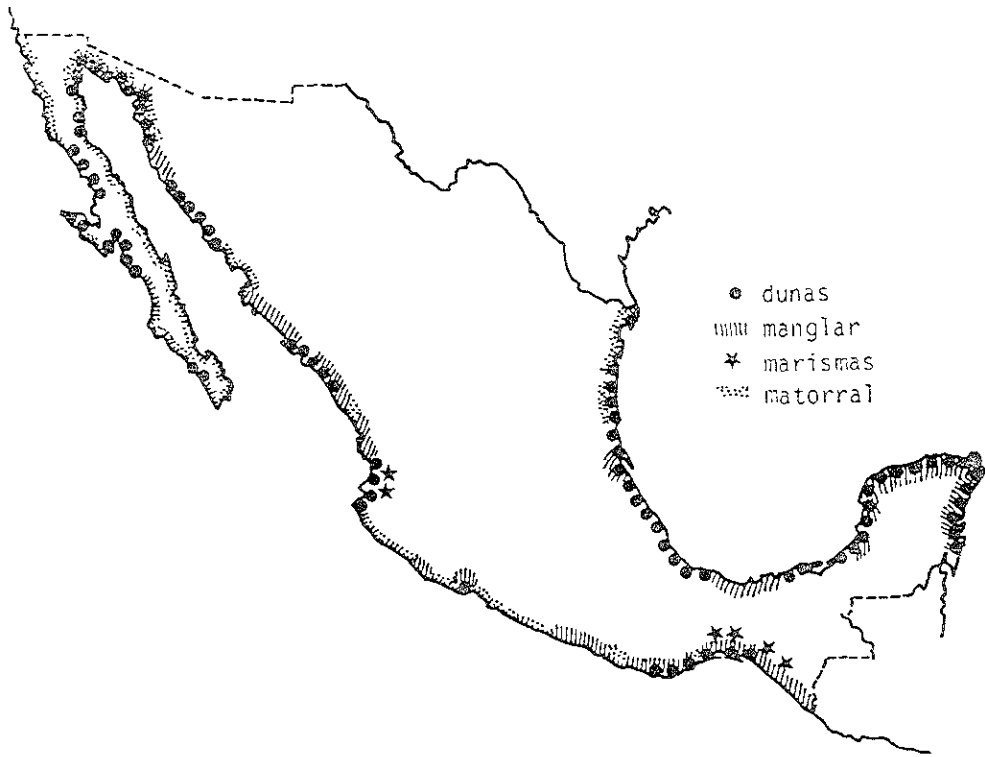


Figura 1. México. Se muestran los diferentes tipos de vegetación que hay en las costas del país: manglares, marismas, dunas y matorrales sobre suelos arenosos (Atlas de México 1981).

Cada una de las comunidades costeras terrestres está caracterizada por el comportamiento y variación de un conjunto particular de parámetros físicos, mismos que pueden ser limitantes para la sobrevivencia y el crecimiento de las especies. Esto implica que tan sólo un conjunto pequeño de éstas se encuentra adaptado a cada ambiente particular (dunas, marismas, manglares). Conforme las condiciones físico-químicas se hacen menos drásticas tierra adentro, se incrementa la riqueza. Los factores ambientales y su variación determinan el conjunto de especies que se establece y el mosaico existente hace que haya

una gran riqueza de hábitats (Fig 2). En ocasiones estas comunidades colindan, produciéndose una gradiente ambiental que les permite compartir especies.

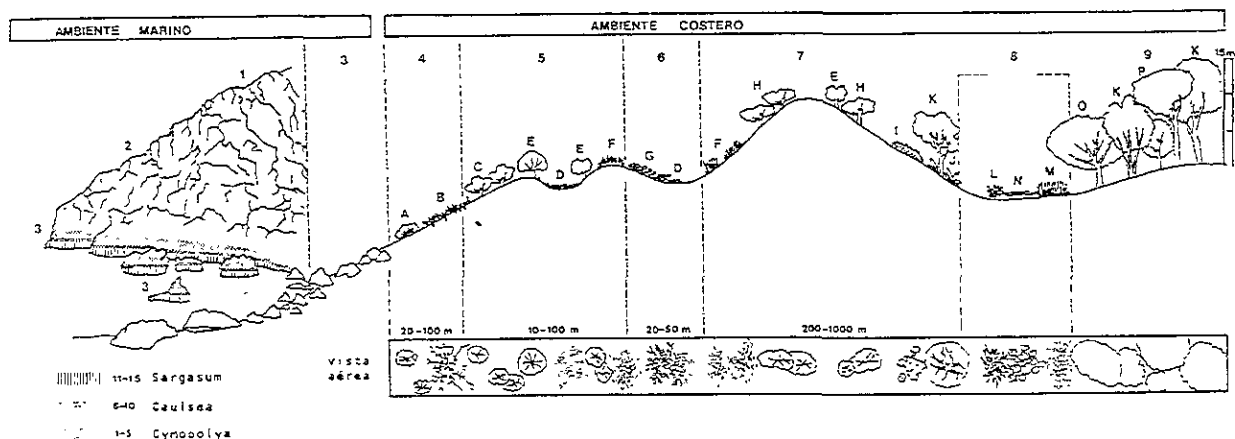


Figura 2. Ejemplo de un perfil en el golfo de México (centro de Veracruz) donde se muestra la heterogeneidad ambiental que se presenta en la costa en un sistema rocoso y en uno arenoso. En este último aparece el mosaico de vegetación típico de un sistema de dunas costeras, así como las especies componentes A. *Sesuvium portulacastrum*; B. *Ipomoea pes-caprae*, C. *Croton punctatus*, D. *Sporobolus virginicus*; E. *Palafoxia lindenii*, F. *Andropogon scoparius*, G. *Canavalia rosea*, H. *Chamaecrista chamaecristoides*; I. *Pectis saturejoides*, J. *Bidens pilosa*, K. *Diphysa robinoides*, L. *Phyla nodiflora*; M. *Cyperus articulatus*, N. *Hydrocotyle bonariensis*; O. *Acacia farnesiana*; P. *Eugenia capuli* y Q. *Coccoloba barbadensis*. 1. 2. 3. Marea alta; 4. Playa; 5. Dunas embrionarias; 6. Zona protegida; 7. Zona móvil; 8. Hondonadas inundables; 9. Zona estabilizada (matorral y selva). (Información de Britton y Morton 1989; Lab. de Ficología, y de Ecología, Facultad de Ciencias, Moreno-Casasola y Castillo 1992).

La escala de análisis de un sistema nos brinda una visión diferente de su biodiversidad. Así, las dunas costeras (formaciones arenosas de origen eólico) forman, en una escala macroambiental, parte de un conjunto de comunidades costeras. Además, analizándolas a una escala geográfica, varían en su composición desde zonas templadas hasta tropicales. A este nivel macro, la heterogeneidad ambiental se incrementa además porque las playas y dunas se establecen desde zonas templadas, donde son cubiertas por una gruesa capa de nieve o hielo durante el invierno, hasta las zonas tropicales. Ello implica el establecimiento de

diferentes grupos de plantas. En la Tabla 1 pueden verse algunos ejemplos de la variación climática, edáfica y geomorfológica que se presenta en los litorales de México, la cual relacionaremos con la composición florística. Estos cambios de clima, aunados al cambio en el tipo de sustrato, dan lugar a la presencia de diferentes conjuntos de especies, aumentando así de manera importante su riqueza.

Tabla 1. Variación del clima, precipitación (mm), temperatura media (°C), sustrato y topografía a lo largo de las costas del golfo y Pacífico de México (datos de campo; Atlas Nacional del Medio Físico 1990).

Factor	Atlántico			Pacífico		
	Norte*	Centro	Caribe	Norte*	Centro	Caribe
Clima	Seco	Cálido	Cálido	Seco	Cálido	Cálido
	Semi-árido	S-húmedo	S-húmedo	S-árido	S-húmedo	S-húmedo
	Cálido	Cálido	Seco			
	S-húmedo	S-húmedo	S-árido			
Lluvia (mm)	1000	2150	720	125	950	1750
Meses	Verano	Verano	Verano	Invierno	Verano	Verano
Temperatura	23	25	26	23	27	28
Arenas <sup>1</sup>	SC	S	C	C	SC	SC
Sistema <sup>2</sup>	S	S	S	S	S	S
Playa	a	a.A	a	a	a	a
Hábitats	4-5	5-7	4-5	2-3	2-3	2-3

\* Presentan heladas en invierno; <sup>1</sup> S: silíceas, C: calcáreas; <sup>2</sup> S: sencillo, C: complejo; <sup>3</sup> a: angosta A: ancha.

En el litoral oriental del país existen dos floras que varían tanto en las especies de pioneras que se establecen en la playa, como en las que los pastizales, matorrales y selvas que ocupan las zonas más estabilizadas. Esta gran diferencia se produce por el cambio en el tipo de sustrato: de arena silícea a calcárea. En la lista de especies de costeras que aparece en el apéndice 1, puede verse que hay un grupo florístico para el Golfo (*Oenothera drumondii*, *Palafoxia lindenii*, *Panicum repens*) y otro para el Caribe (*Sophora tomentosa*, *Suriana maritima*, *Pithecellobium keyense*). A su vez, la flora del Golfo puede subdividirse en dos grupos florísticos: en el del norte predominan las pioneras rastreras (*Ipomoea stolonifera* e *I. pes-caprae*) y gramíneas amacolladas y estoloníferas (*Uniola paniculata* y *Panicum*

*amarulum*, entre otras). En el centro predominan las rastreras (*I. stolonifera*, *I. pes-caprae* y *Canavalia rosea*) y arbustivas bajas (*Palafoxia lindenii*, *Croton punctatus* y *Chamaecrista chamaecristoides*), además de presentar en las zonas estabilizadas gran cantidad de especies frecuentes en otras comunidades tierra adentro, i.e. *Coccoloba barbadensis*, *Diphysa robinoides*, *Cedrela odorata*, *Bursera simaruba*, etc. (Moreno-Casasola 1988,1990). En el grupo florístico del Caribe, la zona más cercana al norte de Yucatán presenta una fisonomía particular, dominada por agaváceas (*Agave angustifolia* y *A. sisalana*) y algunas cactáceas como *Acanthocereus pentagonus* (Espejel 1987; Espejel en rev.).

Aunque el conocimiento que se tiene sobre el litoral occidental es menos detallado, puede decirse que la flora de la península de Baja California constituye un grupo florístico diferente del que aparece en el Pacífico centro y sur (Johnson 1977,1982; Espejel y Moreno-Casasola en rev.). Comparten muy pocas especies. Algunas de ellas son pioneras pantropicales como *Sesuvium portulacastrum*, *Ipomoea pes-caprae*, *Sporobolus virginicus* y *Caesalpinia bonduc*, mientras que otras son características de toda la costa del Pacífico, estando ausentes en el Atlántico (*Prosopis juliflora* y *Pectis multiflosculosa*). Johnson (1977,1982) ha elaborado una descripción detallada de la vegetación de dunas de Baja California, Sonora y Sinaloa. Encontró que se establece una gradiente latitudinal de especies muy claro, lo que produce diferencias florísticas a lo largo de esta gran extensión costera. La lista florística de esta zona puede consultarse en Espejel y Moreno Casasola (en rev.) y Castillo-Campos (en rev.).

A nivel local, la vecindad con otras comunidades es un factor importante que incrementa la biodiversidad. Los microambientes, sobre todo los más estabilizados, constituyen posibilidades definidas para la colonización y establecimiento de especies. Se ha observado que aportan una cantidad importante de semillas y propágulos que llegan a colonizar zonas con baja cobertura vegetal y poca diversidad de especies (Pérez-Vázquez

com. pers.) La comparación de la flora de 44 sitios distribuidos a lo largo del Golfo y del Caribe mostró que existe un alto número de especies (50% de 492) que sólo se registraron en uno o dos sitios, mientras que menos del 10 % aparecieron en más de la mitad de las playas (Moreno-Casasola y Castillo 1992). Este último punto está representado por las especies de distribución costera, es decir, aquellas características de playas y dunas (Apénd. 1). En el primer caso están gran cantidad de especies frecuentes en selvas, matorrales, pastizales, o bien secundarias que invadieron las dunas cercanas y encontraron condiciones favorables para establecerse y reproducirse (Moreno-Casasola y Castillo 1992). Desde el punto de vista del paisaje domina un mosaico ambiental con parches de diferente composición y estructura, como se verá con más detalle en el siguiente inciso.

#### **B. Mosaicos espaciales de ambientes de dunas.**

Las dunas costeras se visualizan como una comunidad sencilla y sin embargo presentan una gran complejidad debido a su alta heterogeneidad tanto espacial como temporal, lo cual se refleja en su dinámica. Esta riqueza y diversidad se deriva de la complejidad que subyace a los patrones y procesos abióticos: a) gradiente latitudinal macroclimático; b) la diferencia entre las costas donde se acumula la arena y aquellas donde se erosiona; c) la composición química del material parental y de la arena; d) el gradiente entre las zonas cercanas al manto freático con respecto a aquéllas lejanas a éste; e) el gradiente perpendicular a la costa. Asimismo, los procesos bióticos presentan una gran variación en intensidad, duración y carácter, e interactúan con los abióticos.

Las dunas costeras están formadas por una playa, dunas embrionarias y por una serie de acumulaciones de arena (cordones, dunas transversales o dunas parabólicas) bajo diferente grado de fijación del sustrato y cuya orientación depende de la dirección del viento, responsable principal de su formación. Se caracterizan sobre todo en las playas y las

primeras etapas de colonización, por un sustrato móvil (dunas activas). Los granos de arena constantemente son acarreados por el viento y depositados donde aparecen obstáculos como los que constituyen las plantas. De esta manera se forman dunas embrionarias que posteriormente se unen para formar cordones de dunas. Las plantas incrementan su cobertura y fijan la arena cada vez más. Cuando el viento ha acarreado suficientes partículas de arena hasta llegar a la arena humedecida por el manto freático, se forman hondonadas húmedas y en ocasiones inundables, ambientes que difieren drásticamente de los anteriores, pues el sustrato ya no es móvil. En estos ambientes, las raíces de las plantas permanecen en agua durante varios meses. Con el tiempo el sistema va teniendo cada vez una cobertura vegetal mayor hasta llegar a una selva. En una imagen fotográfica de la descripción anterior podríamos darnos cuenta del juego de pendientes, orientaciones y alturas que se producen, resultando en una topografía muy particular.

Los procesos responsables de la configuración del paisaje de dunas costeras son tanto bióticos como abióticos. Están en constante interacción unos con otros. Los procesos geomorfológicos son aquellos que abarcan principalmente la acción del agua y del viento, mientras que los procesos biológicos están relacionados con la sucesión de la vegetación y la estabilización del sistema (Barbour et al. 1984; van der Meulen y Jungerius 1989).

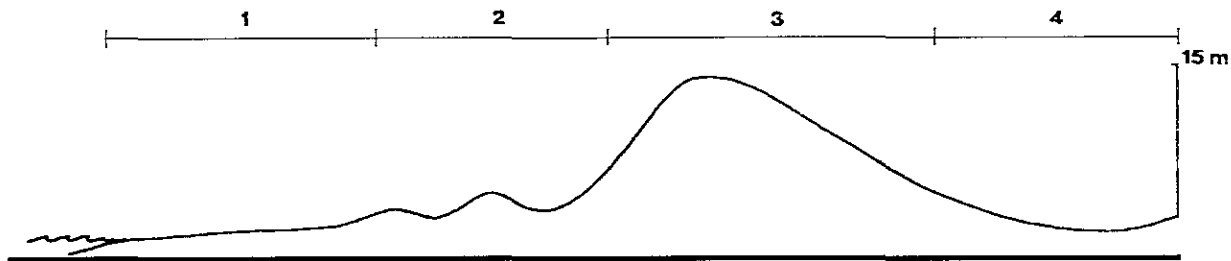
Los sistemas de dunas son paisajes en el amplio sentido de la palabra y se caracterizan por las formaciones particulares de las dunas y por los ecosistemas que crecen en ellos. A menudo se presentan los diferentes tipos de vegetación que reflejan distintas fases en el desarrollo histórico de la zona. Debido a la interacción entre los componentes físicos y biológicos de las dunas costeras, y a la influencia del mar, hay una gran diversidad ecológica en estos paisajes. En un área relativamente pequeña es posible tener zonas móviles, hondonadas y matorrales con elementos de selva tropical, en los cuales los parámetros ambientales difieren (Fig. 3). Como puede verse en la figura, el movimiento de

arena y la cercanía del manto freático varían notablemente con respecto a la topografía. Ello hace que difieran tanto las especies presentes, como la cobertura vegetal general de cada zona, lo que trae diferencias en la cantidad de materia orgánica y su posible degradación, y en el grado de variación diaria de la temperatura del suelo. Además, este paisaje (mosaico espacial) cambia en el tiempo debido a procesos geomorfológicos y sucesionales, o bien a perturbaciones que hacen que la sucesión se inicie nuevamente.

### **C. Mosaicos temporales**

A través de la fijación de las dunas y su consecuente estabilización, se desarrolla un proceso sucesional durante el cual es frecuente que coincidan fases estabilizadas con fases móviles. Autores como Salisbury (1952) y Morrison y Yarranton (1974) consideraron que las secuencias o mosaicos ambientales que se observan en las dunas representan las secuencias o mosaicos temporales de la sucesión. Este juego de mosaicos espaciales y temporales incrementa la cantidad y heterogeneidad de los hábitats disponibles (Moreno-Casasola et al. 1982).

Durante este proceso sucesional se incrementa la cantidad de nutrimentos en el suelo y su capacidad de retención de agua, aumenta la fauna y flora del suelo y se establecen comunidades con fisonomía y composición semejantes a las que se establecen tierra adentro, i.e. pastizales, matorrales, selvas, comunidades acuáticas. En la figura 4 aparece una esquematización del proceso de sucesión y fijación de las dunas.



MOVIMIENTO DE ARENA (cm/año)	---	14-33	Desenterramiento: 50 Acumulación: 60	---
SALINIDAD	Aérea	+++	+	---
	Edáfica	+++	+	---
INUNDACIÓN POR OLEAJE	Durante nortes	Durante huracanes	---	---
MANTO FREÁTICO (Profundidad en cm)	20-50	60-120	Inaccesible para las plántulas	Inundado de 1-6 meses
PERTURBACIONES	Oleaje y movimiento de arena	Movimiento de arena	Movimientos de arena	Inundado por el manto freático
COBERTURA VEGETAL (%)	5-30	40-80	50-100	50-100
ESPECIES	<i>Sesuvium portulacastrum</i> <i>Ipomoea pes-caprae</i> <i>Okenia hypogea</i>	<i>Sporobolus virginicus</i> <i>Croton punctatus</i> <i>Palafoxia lindonii</i>	<i>Chamaecrista chamaecristoides</i> <i>Andropogon scoparius</i> <i>Pectis saturejoides</i> <i>Acacia farnesiana</i> <i>Diphysa robinoides</i> <i>Randia laetevirens</i>	<i>Hydrocoyte bonariensis</i> <i>Cyperus articulatus</i> <i>Phyla nordiflora</i>

Figura 3. Algunos hábitats presentes en una duna costera; se indica la variación en los parámetros ambientales y en la composición de las especies (1. Playa; 2, dunas embrionarias; 3. Duna móvil; 4. Hondonada inundable).

## ADAPTACIONES

La salinidad en el sustrato y el escurrimiento con arena, producto del movimiento de arena que se da en las dunas móviles, son características comunes a todas las dunas costeras del mundo. Así, no es sorprendente que las especies que crecen predominantemente en zonas costeras presenten cierta tolerancia a estos factores. Numerosos estudios han demostrado



que semillas de especies de dunas costeras son capaces de germinar ante condiciones de alta salinidad, o bien, mantenerse latentes hasta que una lluvia disminuye dicha salinidad. En este último caso se ha llegado a observar que, incluso, las semillas expuestas al agua de mar a diferentes concentraciones alcanzaron porcentajes finales de germinación mayores que las no expuestas a dichas condiciones (Ungar 1978; Woodell 1985; Martínez *et al.* 1992). Este tipo de respuestas se ha considerado como una adaptación a ambientes salinos (Ungar 1978), ya que la germinación es inhibida durante inundaciones marinas, pero las semillas pueden germinar en cuanto disminuye el potencial osmótico, haciendo posible el establecimiento de las plántulas. Ejemplos de especies que crecen en las costas de México y que han presentado este tipo de respuestas son *Panicum repens*, *Sesuvium portulacastrum*, *Sporobolus virginicus* y *Trachipogon gouini*. La germinación de las semillas de la primera especie resultó inhibida por altas salinidades, pero esta inhibición desapareció después de la transferencia de agua destilada. Las últimas de dos especies germinaron aún en altas concentraciones de agua de mar (Martínez *et al.* 1992). Por otro lado, se ha sugerido que la tolerancia a la salinidad permite que las semillas sean dispersadas por mar, viajando así de una playa a otra (Woodell 1985).

El mismo tipo de respuesta se ha detectado en relación con el enterramiento de semillas y de plántulas. Las semillas de la mayoría de las especies predominantemente de dunas costeras son capaces de germinar y emerger, aun cuando son cubiertas con arena (Seneca 1969; Maun y Riach 1981; Zhang y Maun 1990; Martínez *et al.* 1992). Esta capacidad de emergencia depende, claro está, del tamaño de las semillas (cantidad de reservas de las semillas que mantiene a la plántula viva hasta que logra emerger a la superficie) y de la profundidad a que son enterradas. A mayor profundidad, menor capacidad de emergencia, aunque los límites de tolerancia varían de una especie a otra. En estudios realizados con especies que crecen en las costas del Golfo de México se observó que las

semillas de *Ipomoea stolonifera*, *Palafoxia lindenii*, *Trachypogon gouini* y *Panicum repens* (de mayor tamaño) lograron emerger cuando fueron cubiertas con arena a diferentes profundidades, mientras que *Panicum maximum*, *Panicum repens*, *Sporobolus virginicus* y *Sesuvium portulacastrum* (con semillas más chicas) alcanzaron porcentajes de germinación menores.

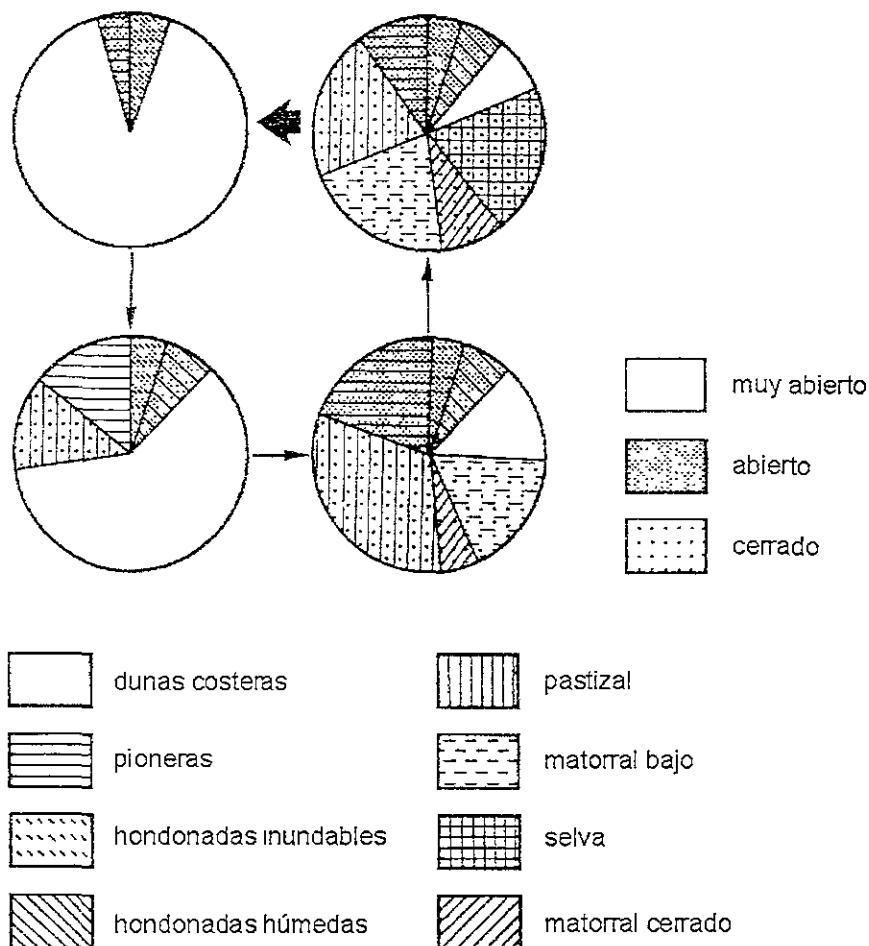


Figura 4. Procesos sucesionales en un sistema de dunas costeras y cambios en las asociaciones vegetales con el tiempo. Las flechas delgadas indican procesos de estabilización, lo que lleva a una mayor complejidad en el mosaico vegetal. La flecha gruesa indica un proceso de perturbación, que inicia la sucesión nuevamente.

En el caso de las plántulas de especies que crecen en lugares expuestos a movimiento de arena, se ha detectado una respuesta interesante al enterramiento, puesto

que no sólo son tolerantes a ser totalmente cubiertas con arena, sino que, incluso, su crecimiento se ve estimulado cuando son enterradas (Maun y Raich 1981; Zhang y Maun 1990; Martínez y Moreno-Casasola en rev.) Estas características permiten a diversas especies de dunas costeras (como *Chamaecrista chamaecristoides*, *Palafoxia lindonii* y *Trachypogon gouini*, Martínez y Moreno-Casasola en rev.) crecer en las dunas activas e iniciar el proceso de estabilización, deteniendo el movimiento de arena, mismo que sólo algunas especies toleran.

El tipo de respuestas descritas en los párrafos anteriores se da en especies que han sido sometidas a presiones de selección en ambientes costeros. Estas especies han desarrollado mecanismos que les permiten sobrevivir con éxito bajo estas condiciones ambientales. Estas adaptaciones también forman parte de la biodiversidad de dunas costeras.

## FLORA Y VEGETACIÓN

La flora de dunas costeras está conformada por un conjunto de especies que solamente se distribuyen en las costas (Apend. 1, al final) y otro conjunto de especies frecuentes en otras comunidades tierra adentro, tanto primarias como secundarias (Castillo y Moreno-Casasola, 1996) Frecuentemente, existen especies invasoras y secundarias que se establecen en los sistemas de dunas, encontrando condiciones adecuadas para reproducirse (Castillo y Moreno-Casasola, 1996). Como ejemplo de las especies invasoras están *Acacia macracantha*, *Bouteloua repens*, *Cedrela odorata* y *Casearia nitida*; y de la especies de carácter secundario o ruderal están, como ejemplo, *Bidens pilosa*, *Passiflora foetida*, *Aristida adscensionis*, *Cardiospermum halicacabum* y *Commelina erecta*. Su distribución a lo largo de los sistemas de dunas es más azarosa en función de las vecindades y de las diferentes capacidades de dispersión y de colonización. En cambio, las especies costeras tienen una

distribución más uniforme, como puede verse en el Apéndice 1, las cuales se registraron en más de la mitad de las playas muestreadas. Sin embargo, la dinámica y la inestabilidad propia del sistema, sobre todo en las playas y dunas móviles y semimóviles (inundaciones durante tormentas y huracanes, movimiento de la arena, alta temperatura y escasez de agua, depredación) hace que haya un recambio importante entre este conjunto de especies tolerantes en mayor o menor grado a estas condiciones ambientales tan variables en el tiempo y en el espacio.

Existen grandes variaciones en la composición florística y estructura de la comunidades de dunas costeras de ambos litorales. A pesar de que la topografía en los distintos sistemas (Golfo de México y Pacífico) varía notablemente, el sustrato arenoso confiere ciertas características que delimitan conjuntos particulares de especies que pueden establecerse bajo estas condiciones. Sin embargo, dichas especies varían en función de condiciones macro y microclimáticas; así, la flora de dunas costeras del Golfo y el Caribe resulta ser más rica en especies por localidad debido probablemente a la presencia de microambientes más variados. Un ejemplo de esto es el caso de la región centro del Golfo con 276 especies, donde los sistemas de dunas son complejos en comparación con el litoral del Pacífico, que son sitios con una topografía simple con una playa angosta. En general, estos últimos son sistemas fijos y como ejemplo de ello sólo se registraron aproximadamente 102 especies en la región sur del Pacífico (Chiapas).

Al igual que existen grandes diferencias a lo largo de cada una de las costas del Atlántico y del Pacífico, también se dan entre ambas. Comparten menos de 20 especies, principalmente pioneras (*Ipomoea pes-caprae*, *I. stolonifera*, *Sesuvium portulacastrum*, *Sporobolus virginicus*, *Scaevola plumieri*, *Canavalia rosea* y *Caesalpinia crista*). *Acacia farnesiana* y *Chamaecrista chamaecristoides* son de los pocos arbustos presentes en las dos costas (Moreno-Casasola en rev., Castillo-Campos en rev.). Las diferencias también se dan a

nivel de género (16 géneros compartidos) y familias. Es de llamar la atención la presencia de familias particulares al Pacífico norte (península de baja California, Sonora y Sinaloa), y que no aparecen más al sur, como son Fouquieriaceae, Frankeniaceae, Carophyllaceae, Crassulaceae e Hydrophyllaceae. En otros casos se comparten familias pero el número de géneros que presentan es muy distinto. La familia de las Onagráceas tiene 11 especies, y las Cactáceas, Boragináceas, Solanáceas y Quenopodiáceas también tienen un alto número de especies representadas en esta región. Por otro lado, el Caribe presenta especies tanto de Cactáceas como de Amarantáceas, mientras que en el golfo las Cyperáceas, Rubiáceas y Verbenáceas tienen 20, 16 y 13 especies, respectivamente. Otra diferencia importante se da a nivel de las tres familias más abundantes: gramíneas, compuestas y leguminosas. Las primeras presentan un mayor número de especies en el Golfo (58), seguidas por leguminosas y compuestas. En el Pacífico norte las leguminosas son las más abundantes (40), seguidas por las gramíneas (26). Finalmente, en el Caribe se han registrado 33 especies de gramíneas, 18 de leguminosas y 16 de compuestas (Moreno-Casasola en rev.) Esto da una fisonomía diferente en ambas costas.

En los perfiles topográficos y de vegetación (Figs. 5 y 6) se aprecian las diferencias en composición y estructura entre ambos litorales, al igual que entre la zona norte, centro y sur de cada uno de ellos. La topografía de los sistemas de dunas es diferente en cada una de las zonas, al igual que las especies que las habitan. Las especies compartidas son, sobre todo, pioneras de playa. En estos perfiles la porción correspondiente a la selva se presenta muy simplificada, tanto en su estructura como en su composición.

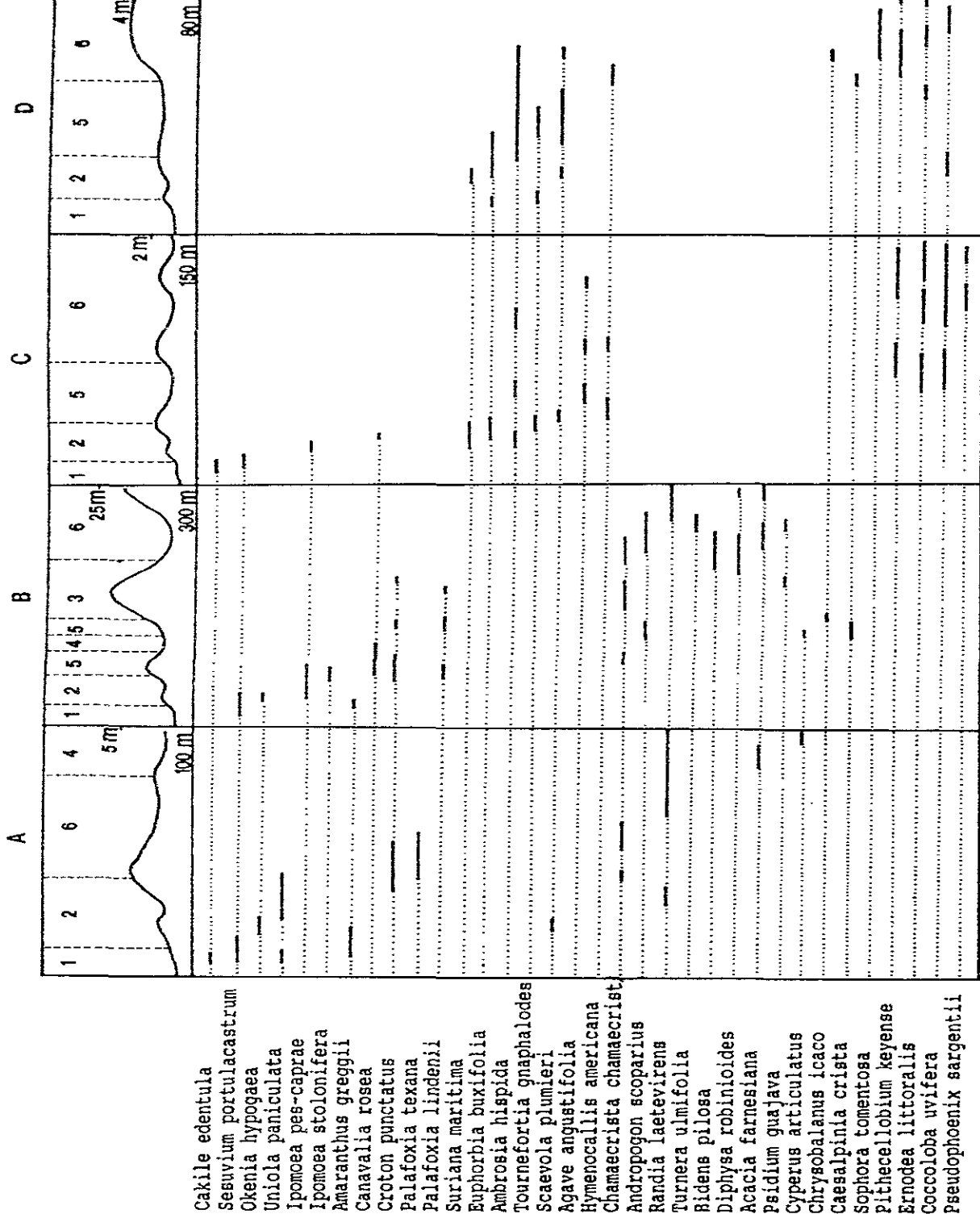


Figura 5. Perfiles topográficos de vegetación para las costas del golfo y el Pacífico en México. Pueden verse las diferencias topográficas y de composición florística entre las distintas zonas: A. Tamaulipas y norte de Veracruz; B. centro de Veracruz; C. sur de Veracruz y Tabasco; D. Yucatán. 1. Playa; 2. Dunas embrionarias; 3. Dunas móviles; 4. hondonadas inundables; 5. Hondonadas; 6. Zona estabilizada.

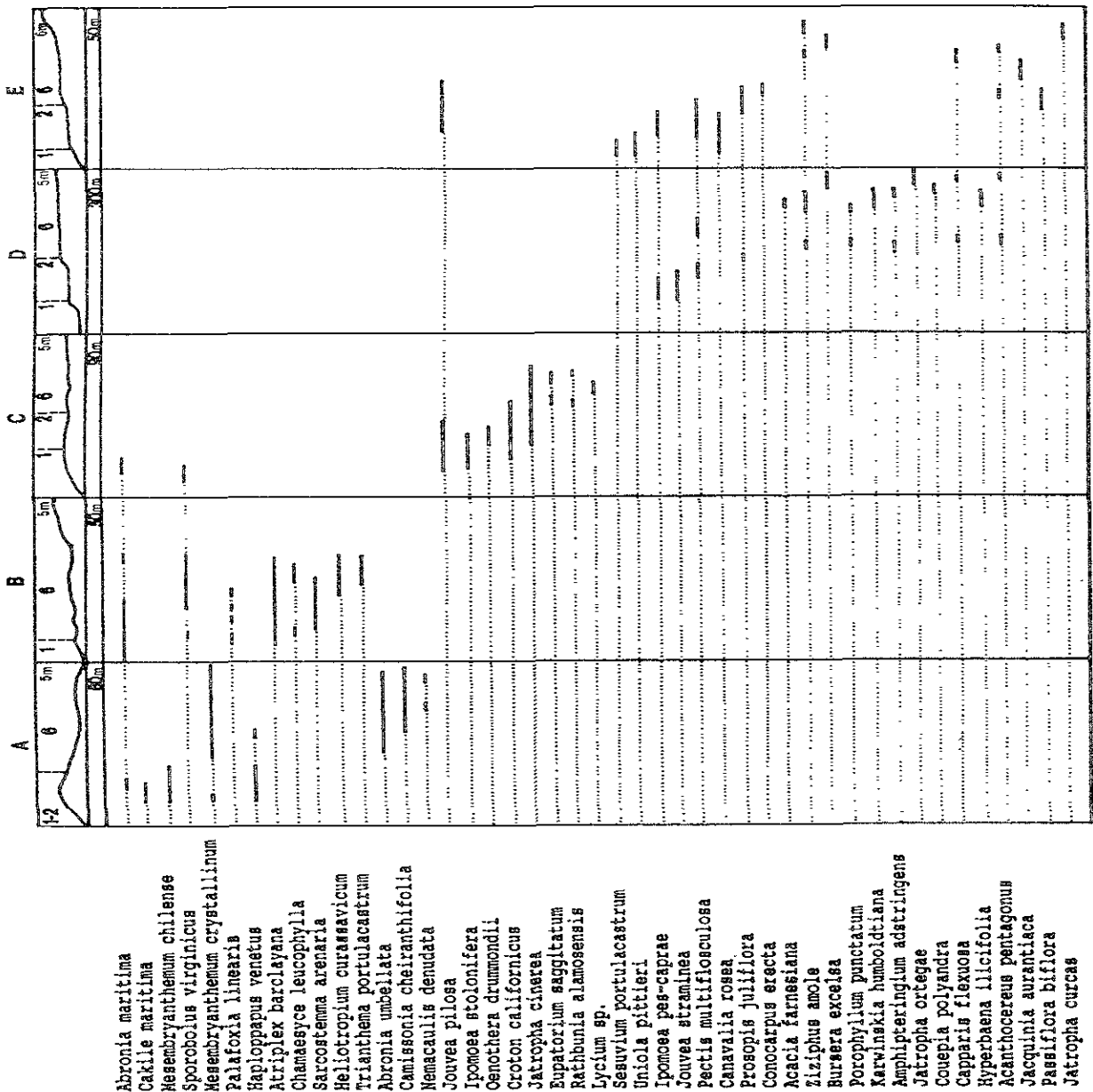


Figura 6. Perfiles topográficos y de vegetación para las costas del Pacífico. Puede observarse la gran diferencia entre la región de Baja California y el Pacífico centro y sur: A. Baja California; B. Sonora, Sinaloa y Nayarit; C. Jalisco y Michoacán; D. Oaxaca; E. Chiapas. 1. Playa; 2. Dunas embrionarias; 6. Zona estabilizada. (Información de Johnson 1977, 1982; Moreno-Casasola et al. 1992; Castillo 1992).

En ambos litorales se establecen matorrales y selvas sobre suelos arenosos, que ya han sufrido un cierto desarrollo, y de las cuales quedan pocos ejemplos ya que han sido

taladas para la siembra de cocotales, caña de azúcar o la introducción de pastizales para ganado. En el Pacífico norte predominan matorrales desérticos pobres en especies (Felger y Lowe 1976). En el Pacífico centro y sur predominan las selvas bajas caducifolias con muchos elementos que forman parte de estas comunidades tierra adentro. En el Golfo se establecen selvas medianas subcaducifolias y/o subperennifolias con *Brosimum alicastrum*, *Cedrela odorata*, *Diphysa robinoides*, *Enterolobium cyclocarpum* y *Ficus* sp. Uno de los restos de

Tabla 2. Especies de árboles que crecen en selvas sobre suelos arenosos en ambas costas del país (Información de 1 Felger y Lowe 1976; Castillo 1992; Espejel 1987; Moreno-Casasola y Castillo (en rev.) y 2 Moreno-Casasola et al. 1992).

<u>Tamaulipas</u>	<u>Veracruz-Tabasco</u>	<u>Yucatdn - Q. Roo</u>
<i>Bursera simaruba</i>	<i>Bursera simaruba</i>	<i>Bucida buceras</i>
<i>Pithecellobium dulce</i>	<i>Pithecellobium dulce</i>	<i>Pithecellobium lanceolatum</i>
<i>Coccoloba uvifera</i>	<i>Acrocomia mexicana</i>	<i>Coccoloba readii</i>
<i>Coccoloba barbadensis</i>	<i>Coccoloba barbadensis</i>	<i>Metopium brownei</i>
<i>Capparis flexuosa</i>	<i>Brosimum alicastrum</i>	<i>Capparis flexuosa</i>
<i>Capparis incana</i>	<i>Chlorophora tinctoria</i>	<i>Capparis incana</i>
<i>Psidium guajava</i>	<i>Acacia sphaerocephala</i>	<i>Acacia globulifera</i>
<i>Piscidia piscipula</i>	<i>Nectandra loeseneri</i>	<i>Cordia sebestena</i>
<i>Nectandra coriacea</i>	<i>Nectandra coriacea</i>	<i>Pseudophoenix sargentii</i>
<i>Gliricidia sepium</i>	<i>Gliricidia sepium</i>	<i>Pouteria campechiana</i>
<i>Hibiscus pernabuscensis</i>	<i>Diospyros verae-crucis</i>	<i>Diospyros cuneata</i>
<i>Acacia farnesiana</i>	<i>Acacia farnesiana</i>	<i>Pouteria chiricana</i>
<b><u>Pacífico Norte</u><sup>2</sup></b>	<b><u>Pacífico Centro</u><sup>2</sup></b>	<b><u>Pacífico Sur</u></b>
<i>Machaerocereus gummosus</i>	<i>Prosopis juliflora</i>	<i>Prosopis juliflora</i>
<i>Opuntia fulgida</i>	<i>Guaiacum coulteri</i>	<i>Capparis cyanophalophora</i>
var. <i>mammillaria</i>	<i>Couepia polyandra</i>	<i>Sabal mexicana</i>
<i>Croton californicus</i>	<i>Bursera excelsa</i>	<i>Bursera excelsa</i>
<i>Fouquieria splendens</i>	<i>Ziziphus amole</i>	<i>Ziziphus amole</i>
spp <i>splendens</i>	<i>Karwinskia humboldtiana</i>	<i>Pithecellobium dulce</i>
<i>Frankenia palmeri</i>	<i>Stenocereus standleyi</i>	<i>Stenocereus standleyi</i>
	<i>Hyperbaena ilicifolia</i>	<i>Coccoloba barbadensis</i>
	<i>Capparis flexuosa</i>	<i>Capparis flexuosa</i>
	<i>Amphipteringium adstringens</i>	<i>Gliricidia sepium</i>
	<i>Jatropha ortegae</i>	<i>Jatropha curcas</i>



este tipo de selva sobre suelos arenosos mejor conservados es el de la reserva de El Morro de La Mancha, en Veracruz. En el Caribe también se establecen selvas bajas a medianas, dependiendo de la precipitación. En la tabla 2 se presentan ejemplos de estas especies en ambas costas del país.

Según Rabinowitz (1981), existen muchos tipos de especies raras. Esto es debido, posiblemente, a que las especies se “hacen raras” por diferentes vías. Así, si la “rareza” tiene una gran diversidad de causas, las consecuencias evolutivas y ecológicas también son muy diversas. Las especies raras se pueden clasificar en función de su distribución geográfica, la especificidad de los hábitats donde crecen y por el tamaño de las poblaciones en diferentes localidades. Adoptando esta clasificación, se presenta una clasificación de las especies vegetales características de las dunas costeras de México en la tabla 3.

Tabla 3. Número de especies de distribución costera del Golfo según la clasificación de especies raras de Rabinowitz (1981) (específico). Los números entre paréntesis señalan el tipo de rareza y corresponden a los indicados en la columna de rareza del apéndice 1.

<b>Distribución Geográfica</b>	<b>Extensa</b>		<b>Limitada</b>	
	<u>No. especies</u>	<u>Específico</u>	<u>No. especies</u>	<u>Específico</u>
Hábitat Dominante	5(1)	9(2)	8(3)	9(4)
No dominante	1(5)	4(6)	-(7)	28(8)

Es interesante notar que en la vegetación característica de dunas costeras las especies más raras son las más frecuentes. Es decir, hay un gran número de especies de distribución geográfica limitada, que crecen en un hábitat específico dentro de las dunas y que no son dominantes en dicho hábitat. En el apéndice 1 se clasifica a las especies de acuerdo con este criterio (columna de rareza).

Además del factor de densidad y distribución, existen otros elementos que también juegan un papel importante en la caracterización de las especies raras: a) tiempo transcurrido después de la última perturbación; b) disponibilidad de hábitats adecuados para las especies; si hay pocos, las especies empiezan a ser raras; c) tiempo durante el cual el hábitat permanece adecuado para la especie; d) capacidad de dispersión hacia los hábitats adecuados; e) efectos locales de patógenos y depredadores (Harper 1981).

## FAUNA DE LAS DUNAS

No existe mucha información acerca de la fauna de las dunas costeras. Probablemente a nivel de invertebrados exista una riqueza, tanto en especies como en adaptaciones, que hoy en día no ha sido estudiada. Existen algunos organismos particulares a estas comunidades como son los cangrejos *Gecarcinus lateralis* y *Ocypode quadrata*. La especie *Emerita portoricensis* habita en la playa cercana al oleaje, mientras que en la zona de playa también se presentan moluscos como *Donax variabilis roemeri* y *Donax texasiana*; hacia el Caribe aparece *Donax denticulatus* (Britton y Morton 1989).

Hay una gran diversidad de especies litorales de importancia económica que aunque su hábitat no incluye exclusivamente estos sistemas, son zonas importantes ya sea para su anidación y reproducción o como fuente de alimento.

La vegetación que crece en las dunas costeras juega un papel importante para la fauna debido a: i) La variedad de hábitats que incluye desde charcas temporales, pastizales abiertos, matorrales y selvas cerradas con abundantes frutos carnosos. ii) La comunicación que establecen entre las zonas de mayor altitud y la costa, que les permite actuar como corredores de protección y alimentación para la fauna.

Un ejemplo interesante entre los organismos registrados en zonas costeras es el de *Geomys personatus personatus*, especie endémica de nuestro país que se encuentra habitando únicamente las dunas costeras frente a las costas de Tamaulipas, en la Barra de Tamaulipas. Esta tuza es el único representante de esta especie en el país (Marquez Huitzil com. pers.). Otra especie de interés perteneciente al mismo género es *Geomys tropicalis* la cual se encuentra distribuida en la costa del sureste del Estado de Tamaulipas. Ocupa principalmente suelos arenosos, ya sean pastizales o matorrales. Se piensa que esta especie se derivó de la subespecie *Geomys personatus personatus* y que llegó a una fracción muy pequeña de la costa a través de las franjas de arena frente a Tamaulipas. Posteriormente, debido al hundimiento de una parte de esta franja en el mar, quedó aislada y dio origen a la especie *G. tropicalis* (Selander et al. 1963; Alvarez 1963).

Desde el punto de vista de la fauna, se puede concluir que la vegetación costera funciona principalmente como una continuación de la vegetación de selvas. Gran parte de las especies que aparecen en la costa son habitantes comunes de selvas, pero también encuentran refugio y alimento en el matorral costero; algunas, como el mapache, bajan hasta la playa para cazar cangrejos o consumir huevos de tortugas. Probablemente estudios posteriores, sobre todo de invertebrados, muestren la presencia de fauna más específica. La fauna característica de las dunas y otros ambientes costeros de México (datos de A. González, com. pers). y Atlas Nal. México 1990) incluyen varios grupos importantes de vertebrados. Entre ellos destacan: 1) Anfibios: *Bufo marinus* (sapo marino), *Hyla smithi* (rana arborícola); 2) Reptiles: *Kinosemon bucastonum* (pochitoque, tortuga de agua dulce), *Iguana iguana* (iguana de peine), *Dermochelys coriacea* (cahuama siete filos), *Chelonia mydas* (tortuga blanca de mar), *Chelonia agassizi* (cahuama negra o prieta), *Eretmochelys imbricata* (cahuama de carey), *Lepidochelys olivacea* (cahuama golfina), *Caiman crocodilus* (caimán huesudo), *Crocodylus acutus* (largato real), *Hemidactylus frenatus* (cuija), *Urosaurus*

*bicarinathus* (roñito), *Drymarchon corais* (culebra arroyera), *Salvadora lemniscata* (culebra lagartijera), *Manolepis putnami* (culebra ranera), *Nicrurus distans* (coralillo); 3) Aves: *Campylorhynchus zonatus*, *C. Bruncicapillus*, *C. Rufinucha*, *Amazilia yucatanensis*, *A. Candida*, *A. Violeceps*; 4) mamíferos: *Didelphis virginiana* (tlacuache), *Marmosa canescens* (tlacuache), *Cryptotis parva* (musaraña), *Artibeus jamaicensis* (murcielago), *A. aztecus*, (murcielago), *Glossophaga soricina* (murciélago), *Sturnira liliium* (murciélago), *Myotis californicus* (murciélago), *Liomys pictus* (rata de bolsas), *Urocyon cinereoargenteus* (zorra gris), *Bassariscus sumichrasti* (cacomixtle), *Nasua nasua* (pizote), *Felis pardalis* (ocelote), *F. yagouaroundi* (leoncillo), *Odocoileus virginianus* (venado cola blanca), *Tayassu tajacu* (jabalí de collar).

## PROTECCION

### A. Alteraciones y destrucción de los sistemas de dunas

Las dunas costeras conforman una combinación entre la belleza escénica y la riqueza de la vida vegetal y animal. Además, debido a que colindan con el mar, resultan muy atractivas para las actividades humanas. Se puede decir que las dunas costeras son sistemas multifuncionales con una gran importancia para nuestra sociedad. La recreación, la protección de las costas contra mareas altas y huracanes, la conservación de la naturaleza, la obtención de agua potable, el uso para zonas turísticas y en la industria, son algunos de los usos que se les han dado.

El turismo, sobre todo en grandes números, tiene un gran impacto en la vegetación de dunas costeras (Pictroska 1989). Los turistas suelen caminar por las dunas embrionarias con baja cobertura vegetal, lo que destruye la vegetación y aumenta el movimiento de arena. Asimismo, afectan las zonas más estabilizadas; al caminar por éstas y formar una gran cantidad de veredas, donde también se inicia el movimiento de arena. El uso de motos y

buggies agudiza esta desestabilización. En la temporada de vacaciones la cantidad de basura en las playas y zonas aledañas aumenta considerablemente.

Sin embargo, la principal pérdida de dunas costeras se ha dado y se está dando por el aumento de nuevos asentamientos turísticos que incluyen zonas de recreo, como campamentos, campos de golf, cotos de caza y abundantes instalaciones urbanas. En ellos hay una sustitución total del ambiente por la infraestructura propia de estos desarrollos (edificaciones, marinas, prados con especies introducidas y campos de golf).

La deforestación y el sobrepastoreo también han contribuido a la destrucción de estos sistemas (Salman 1989; Westhoff 1989; Beatley 1991). Los animales se dejan pastar libremente y con el tiempo, el sotobosque es eliminado y las ramas de árboles y arbustos se cortan para alimentar a los animales. Esto trae como consecuencia que las especies no palatables se incrementen. Así mismo, el aumento de las poblaciones humanas en las costas está haciendo que el deterioro sea aún mayor.

Otro tipo de perturbaciones naturales fuertes en zonas costeras es causado por la abrasión costera, el oleaje y el viento que alcanza grandes velocidades durante tormentas y huracanes (Williams y Randerson 1989); Piotroska 1989; Zedler 1991). Sin embargo, las especies (principalmente de las playas y de dunas activas) están adaptadas a estas perturbaciones recurrentes y rápidamente restablecen sus poblaciones, como puede verse en las playas de Quintana Roo después del paso del huracán Gilberto.

Existen muy pocas reservas que abarquen zonas de playas y dunas costeras: la reserva de la biosfera SianKa'an (Quintana Roo), y la reserva del morro de la Mancha, (Veracruz). Algunas otras, como las islas de Baja California, tienen un litoral, pero fueron escogidas para salvaguardar poblaciones de otros organismos, como el pájaro bobo, por lo que son representantes idóneos de la vegetación de dunas.

## B. Conservación de especies

### Flora

Existen evidencias que sugieren que la destrucción del hábitat costero por las numerosas actividades humanas ha sido la causa de la pérdida de diversas especies (Ranwell 1981). Es decir, las perturbaciones a gran escala de este ambiente, realizadas para cubrir necesidades humanas, han tenido un gran impacto en las comunidades costeras. Frecuentemente, las especies raras (poco comunes) son las que se ven más afectadas por dichas perturbaciones.

Considerando todo lo anterior, podemos afirmar que la conservación de los ambientes costeros no sólo es importante por la gran biodiversidad que contienen, sino que, además, la conservación de estos hábitats ayudará a mantener la presencia de especies raras, que son exclusivas de los ambientes costeros de México. En los litorales de México se han detectado varias especies endémicas. En la costa del Atlántico están *Palafoxia lindenii* y *Trachypogon gouini* (centro del Golfo) y *Enriquebeltrania crenatifolia* (Península de Yucatán). Así mismo, *Chamaecrista chamaecristoides* es otra especie endémica de dunas costeras distribuida a lo largo de todo el Golfo y en las costas de Jalisco y Michoacán. Estas especies son de interés biológico puesto que han evolucionado en estos ambientes, por lo que muestran características que les permiten sobrevivir en las dunas. Además, *C. chamaecristoides* es una especie colonizadora de dunas activas que inicia el proceso de estabilización y fijación de la arena móvil, lo cual puede ser de utilidad para el manejo de zonas costeras y programas de detención del avance de estas dunas móviles.

### Fauna

A pesar de que se tiene poca información sobre la fauna de dunas costeras, podemos decir que seguramente conforman ambientes importantes para diversas especies de vertebrados e

invertebrados. Un ejemplo es el ya mencionado de *Geomys tropicalis* y de *Geomys personatus personatus*, así como de diversas tortugas y aves marinas.

### **C. Conservación de la comunidad de dunas**

Es urgente lograr un manejo adecuado de las playas y dunas costeras, ya que abarcan una gran parte del litoral de México. Esto implica un gran reto para los ecólogos, planeadores, ingenieros y políticos, para tratar de detener el deterioro y pérdida de estos ecosistemas tan frágiles, así como desarrollar estrategias de manejo que permitan un uso racional de los mismos. Es necesario desarrollar mecanismos económicos, políticos y científicos que permitan hacer compatible la conservación del litoral y los desarrollos turísticos.

Evidentemente el manejo de las dunas costeras es cuestión de prioridades de cada país. Este manejo incluye el conocimiento de estos ambientes y políticas de manejo que los protejan adecuadamente. La clave para resolver estos problemas yace en conocer los sistemas y proteger las zonas más sensibles a los diferentes tipos de perturbación. Además, es necesario planificar a corto y mediano plazo. A corto plazo implica entender los mecanismos naturales de perturbación y la dinámica del sistema. A largo plazo implica mantener esta dinámica y un gran número de hábitats, que en su conjunto, conforman al sistema. Para lograr una conservación de los sistemas costeros considerando la dinámica de éstos, es importante considerar lo siguiente: 1. Como un elemento más del paisaje, la vegetación de dunas costeras siempre ha estado sujeta, y se da gracias a la dinámica de diferentes parámetros del sistema; 2. Probablemente, el mejor elemento regulador de estos sistemas costeros es la propia dinámica de los parámetros que los caracterizan (movimiento de arena, fluctuación del manto freático, competencia en las zonas más estabilizada (De Raevs 1989).

Se puede decir que el problema de la dinámica es un problema de escala en el tiempo y en el espacio. Es decir, patrones que se presentan en escalas pequeñas no pueden ser separados del paisaje como un todo ni en el espacio ni en el tiempo. Por lo tanto, es importante señalar que la mejor manera de conservar dunas costeras es tomando en cuenta a todo el paisaje como una gran unidad donde esté presente la heterogeneidad y dinámica espacio-temporal (De Raeve 1989).

*En el manejo y conservación de dunas costeras no sólo hay que tener en cuenta a las especies, sino también a los procesos que están ocurriendo. Las políticas de conservación de dunas costeras llevadas a cabo en otros países tienden a mantener todo tal y como está, dejando a un lado la dinámica propia del sistema y sin tomar en cuenta el hecho de que los patrones espaciales cambian en el tiempo. Es importante considerar que un paisaje dinámico quiere decir que los procesos siempre están ocurriendo y que la conservación puede alterar estos procesos. Es decir, en un ambiente tan dinámico como el que estamos tratando, una situación en particular (por ejemplo las partes estabilizadas) no debe ser el objetivo único de conservación. Más bien lo que se debe considerar es al paisaje de dunas como una entidad que cambia en el tiempo y en el espacio. Así, una política de conservación más adecuada implica conservar de tal manera que se permitan todos los procesos naturales que suelen ocurrir en el paisaje de dunas costeras (Wanders 1989; Westhoff 1989). Esto abarca la conservación de todos los estadios sucesionales, incluyendo aquéllos donde hay un gran movimiento de arena. Si se tiende a una fijación general de las dunas, entonces no hay un rejuvenecimiento eólico, lo que trae como consecuencia la desaparición de etapas sucesionales tempranas. De esta manera se llega a perder el mosaico de diversos estadios sucesionales, incrementándose notoriamente los más estables, y disminuye de manera importante la variación natural de las dunas (van der Meulen y Jungerius 1989).*



Resumiendo, la conservación de la biodiversidad de playas y dunas costeras forma parte de la conservación de la biodiversidad de toda la franja terrestre y marina del litoral, y a su vez debe enmarcarse dentro de un contexto más amplio que incluya al paisaje como un mosaico ambiental con parches de diferente composición y estructura.

Finalmente, es importante señalar que la investigación en estos sistemas es indispensable para lograr un buen manejo de los mismos. La comprensión del funcionamiento de las dunas costeras necesariamente desembocará en una mayor capacidad para la toma de decisiones y en mejores políticas de conservación de estos sistemas tan diversos y frágiles.

### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a M.Hernández y a R. Márquez-Huitzil su colaboración en la obtención de información utilizada en el presente manuscrito.

### REFERENCIAS

- Alvarez, T. 1963. The recent mammal of Tamaulipas, Mexico. Univ. Kansas Publ.Mus. Nat. Histo. 14(15):363-473.
- Atlas Nacional del Medio Físico, 1981. Sria. Prog. Presup., México, 224 pp.
- Atlas Nacional de México, 1990. Univ. Nac. Autón. Méx., México (Tomos I, II y III).
- Barbour, M.G., T. De jong y B.M. Pavlik, 1984. Marine beach and dune plant communities pp 296-322. In Chabot, B. y H. Mooney (eds.), Physiological plant ecology of north American plant communities. Chapman and Hall, New York.
- Beatley, T. 1991. Protecting biodiversity in coastal environments:introduction and overview. Coastal Manag. 19:1-19.
- Britton, J.C. y B. Morton, 1989. Shore Ecology of the Gulf of Mexico. Univ.Texas Press, Austin. 387 pp.
- Castillo-Campos, G. (en rev.) Lista florística de dunas costeras de Nayarit, Jalisco y Guerrero. México. Acta Bot. Mex.

- Castillo, S. P. Moreno-Casasola. (en rev. a) Flora de dunas costeras del Golfo y Caribe de México. *Acta Bot. Mex.*
- Castillo, S. Y P. Moreno-Casasola. (en rev. b) Sand dune vegetation: an extreme case of species invasion. *J. Biogeogr.*
- De Rave, F. 1989. Sand dune vegetation an management dynamics. Pp 99-109 In F. van der Meulen, P. D. Jungerius y J.H. Visser (eds.). *Perspectives in coastal dune management. Proc. European Symp.*
- Espejel, I. 1987. A phytogeographical analysis of coastal vegetation in the Yucatan Peninsula. *J. Biogeogr.* 14: 499-519.
- Espejel, I. (en rev.). Lista florística de las dunas costeras de la Península de Yucatán, México. *Acta Bot. Mex.*
- Espejel, I. y P. Moreno-Casasola, (en rev.) Lista florística de las playas, dunas y matorrales costeros del noroeste de México. *Acta Bot. Mex.*
- Felger, R.S. y C.H. Lowe, 1976. The island and coastal vegetation an flora of the northern part of the Gulf of California. *Nat. Histo. Mus. Los Angeles Cty. Contr. Sci.* 285:59 pp.
- Harper, J.L. 1981. The meanings of rarity. Pp 189-204 In Synge, H. (ed.) *The Biological Aspects of Rare Plant Conservation.* Wiley and Sons. London.
- Johnson, A.F. 1977. A suvery of the strand and dune vegetation along the Pacific and southern Gulf coasts of Baja California, Mexico. *J. Biogeogr.* 7:83-99.
- Johnson, A.F. 1982. Dune vegetation along the eastern shore of the Gulf of California. *J. Biogeogr.* 9:317-330.
- Martínez, M.L., T. Valverde y P. Moreno-Casasola. 1992. Germination response to temperature, salinity, light and depth of sowing of ten tropical dune species. *Oecologia* 92:343-353.
- Martínez, M.L. y P. Moreno-Casasola, Effects of burial by sand on seedling growth and survival in six tropical sand dune species. *Funct. Ecol.* (en rev.).
- Maun. A.M. y S. Riach, 1981. Morphology of caryopses, seedlings and seedling emergence of the grass *Calamovilfa longifolia* from various depths in the sand. *Oecologia* 49:137-142.
- Mittermeier, R. 1988. Primate diversity and the tropical forest: case studies from Brasil and Madagascar and the importance of the megadiversity countries. Pp 145-154 In Wilson, E.O. (ed). *Biodiversity.* Natl. Acad. Press, Washington, D.C.
- Moreno-Casasola, P. 1988. Patterns of plant species distribution on coastal dunes along the Gulf of Mexico. *J. Biogeogr.* 15:787-806.

- Moreno-Casasola, P. 1990. Sand dune studies on the eastern coast of Mexico. Proc. Canad. Symp. Coastal Dunes Guelph, Ontario. Natl. Res. Council, Canada: 215-230.
- Moreno-Casasola, P. (en rev.) Florística y Ecología de la vegetación de dunascosteras del Golfo, Caribe y Pacífico de México. Acta Bot. Mex.
- Moreno-Casasola, P. y S. Castillo, 1992. Dune ecology on the eastern coast of Mexico. Pp. 309-321. In U. Seeliger (ed.) Coastal Plant Communities of Latin America. Academic Press, New York 309-321.
- Moreno-Casasola, P., E. Van der Maarel, S. Castillo, M. L. Huesca e I. Pisanti, 1982. Ecología de la vegetación de dunascosteras: estructura y composición en el Morro de La Mancha, Ver. I. *Biótica* 7(4): 491-526.
- Morrison, R.G. y G.A. Yarranton. 1974. Vegetational heterogeneity during a primary dune succession. *Can. J. Bot.* 52:397-410.
- Myers, N. 1988. Threatened biotas: "hotspots" in tropical forest. *Environment*, 8(3): 1-20.
- Piotroska, H. 1989. Natural and anthropogenic changes in sand dunes and their vegetation on the southern Baltic coast. Pp 33-40 In van der Meulen, F.; Jungerius, P.D. y Visser, J. H. (eds) *Perspectives in coastal dune management. Proc. European Symp.*
- Rabinowitz, D. 1981. Seven forms of rarity. Pp 205-218. In Syngé, H. (ed.) *The Biological Aspects of Rare plant Conservation*. Wiley and Sons, London.
- Ranwell, D.S. 1981. Introduced coastal plants and rare species in Britain. Pp 413-420. In Syngé, H. (ed.) *The Biological Aspects of Rare plant Conservation*. Wiley and Sons, London.
- Ray, G.C. 1988. Ecological diversity in coastal zones and oceans. Pp 36-50. In Wilson, E.O. (ed.) *Biodiversity*. Natl. Acad. Press, Washington.
- Reid, W.V. y K.R. Miller, 1989. Keeping options alive: the scientific basis for conserving biodiversity. *World Resour. Inst.* Washington D.C. 110 pp.
- Salisbury, E.J. 1952. *Downs and dunes. Their plant life and environment*. G. Bell and Sons Ltd., London.
- Salman, A.H.P.M. 1989. The role of the foundation for dune conservation (Stichting Duinbehoud). Pp 239-247. In van der Meulen, F., Jungerius, P.D. y Visser, J.H. (eds.) *Perspectives in coastal dune management. Proc. European Symp.* 239-247.
- Selander, R.F., B. Johnson, J. Wilks y G.G. Raun, 1963. Vertebrate from the Barrier Island of Tamaulipas, Mexico. *Univ. Kansas. Publ. Mus. Nat. Hist.* 12(7): 309-345.
- Seneca, E.D. 1969. Germination response to temperature, and salinity of four dune grasses from the outer banks of North Carolina. *Ecology* 50: 45-53.

- Ungar, I.A. 1978. Halophyte seed germination. *Bot. Rev.* 44: 233-264.
- van der Meulen, F. y P. D. Jungerius. 1989. Coastal defence alternatives and nature development perspectives. Pp 133-140. In van der Meulen, F., P. D. Jungerius y J. H. Visser (eds.) *Perspectives in coastal dune management. Proc. European Symp.*
- Wanders, E. 1989. Perspectives in coastal dune management towards a dynamic approach. Pp 141-148 In van der Meulen, F.; P.D. Jungerius y J. H. Visser (eds.) *Perspectives in coastal dune management. Proc. European Symp.*
- Westhoff, V. 1989. Dunes and dune management along the North Sea coasts. Pp 41-51 In van der Meulen, F., P.D. Jungerius y J. H. Visser (eds.) *Perspectives in coastal dune management. Proc. European Symp.*
- Williams, A.T. y P. Randerson, 1989. Nexus: Ecology, recreation and management of a dune system in South Wales pp 217-227. In van der Meulen, F., P.D. Jungerius y J.H. Visser, (eds.) *Perspectives in coastal dune management. Proc. European Symp.*
- Woodell, S.R.J. 1985. Salinity and seed germination in coastal plants. *Vegetatio* 61:223-230.
- Zedler, J.B. 1991. The challenge of protecting endangered species habitats along the southern California coast. *Coastal Manag.* 19:35-53.
- Zhang, J. y M.A. Maun, 1990. Effects of sand burial on seed germination, seedling emergence, survival and growth of *Agropyron psammophilum*. *Can. J. Bot.* 68: 304-310.

## DISCUSION GENERAL

### Base de datos

Las comunidades vegetales costeras están formadas por una gran cantidad de especies, algunas de las cuales se encuentran a lo largo de toda la costa, mientras que otras presentan distribuciones más restringidas y discontinuas. Esta variación se manifiesta en las diferentes asociaciones vegetales y fisonomías presentes en el mosaico ambiental compuesto por comunidades vegetales de dunas, marismas, manglares, matorrales xerófilos, selvas bajas caducifolias, selvas medianas subperennifolias, etc. (Moreno-Casasola et al., 1999).

En la presente investigación se buscó presentar una visión integral de la riqueza de especies de plantas, así como particularidades de la composición y distribución de las especies a lo largo de las costas mexicanas del Golfo de México y del Mar Caribe. Tales metas requerían de la utilización de un método de muestreo rápido y eficiente que facilitara el trabajar de manera uniforme toda la costa, así como de la sistematización de la información.

La extensión de las dunas costeras a lo largo del litoral del Golfo de México y Mar Caribe generó una gran cantidad de información de varios tipos (bibliográfica, taxonómica, ecológica, etc.), lo cual hacía muy difícil la obtención de resultados sin un procedimiento adecuado del manejo de la información. Al hacerse accesible el manejo computarizado de la información, se abrieron grandes expectativas en la investigación, y esto ha hecho que la utilización de bases de datos en proyectos de investigación e inventarios de recursos naturales se haya difundido cada vez más. Sin embargo, son excepcionales los casos en los que han sido totalmente cubiertas las expectativas creadas por la automatización (Shetler, 1974; Kim et al. 1986; Le Duc et al. 1992).

En el caso específico de esta investigación, por el gran volumen de información en que se basó, fue importante auxiliarse de la informática y aprovechar la facilidad que proporcionan las bases de datos. El sistema de bases de datos utilizado tuvo que ser adaptado a las características propias de un conjunto de información biológica, lo cual implicó adaptar a un contexto académico de investigación los conceptos y manejadores de datos diseñados originalmente para aplicaciones empresariales. Dicha adaptación pudo soportar una gran variedad de aplicaciones que generalmente son mucho más complejas que las aplicaciones comerciales tradicionales. Date (1986) y Zicari (1990) mencionan algunas de las facilidades que proporcionan las bases de datos generadas para un objetivo de investigación específico como son: 1) este tipo de bases de datos requiere la administración de datos diferentes a las aplicaciones comerciales, como mapas, gráficas, imágenes y documentos estructurados; 2) las bases de datos deben explotar el conocimiento de la información almacenada y deben ser capaces de proporcionar diferentes representaciones de la información; 3) existen mecanismos de recuperación que amplían los métodos tradicionales a métodos que permiten manejar conjuntos complejos con la posibilidad de diferentes versiones; 4) métodos de acceso y estructuras de almacenamiento que faciliten la recuperación en un espacio multidimensional y superpuesto de objetos; 5) en las bases de datos se debe poder almacenar la información en forma no redundante, manejar asociaciones múltiples entre ellos, integrarlos y proporcionar acceso tanto directo como secuencial.

Este tipo de facilidades proporciona nuevos conceptos en la generación de bases de datos, como una mayor flexibilidad para manejar otro tipo de datos, y en la recuperación y consulta para su análisis. En el caso de los resultados obtenidos en este trabajo, es importante destacar que la base de datos no proporciona una información

definitiva de la flora de los sistemas costeros, ya que una tarea de esta envergadura requiere de la participación de más colaboradores y una labor interinstitucional más intensa. Hace falta evaluar la eficiencia de la base de datos propuesta, para su depuración y actualización constante sobre la información florística y ecológica incorporada, de modo que sea posible aprovecharla adecuadamente y así tener los elementos suficientes para planificar y asegurar la conservación de la riqueza florística de los sistemas de dunas.

En este trabajo se planteó una metodología para crear una base de datos relacional para la administración de la información biológica de las dunas costeras. Evidentemente, la complejidad de la información requirió del diseño de estructuras de datos y del diseño de un modelo conceptual relacionado con los objetivos de la investigación. Así mismo, requirió en algunos casos generar varios mecanismos de recuperación y análisis de datos previos a la incorporación de la información en algunas de la tablas, como fue en el caso de la tabla denominada "agrupaciones ecológicas". En el caso de esta tabla, antes de su incorporación se hizo uso de técnicas estadísticas multivariadas de clasificación y ordenación por medio de paquetes generados específicamente para ese objetivo.

Es claro que la elaboración de una bases de datos no resuelve el problema general del manejo de datos, pero sí es una herramienta útil para la recuperación y análisis de la información, proporcionando una visión integral del sistema de estudio. El tener la información incorporada en bases de datos es una contribución al avance de las ciencias, ya que facilita tanto la organización y la extracción de la información de manera más ordenada y sistemática, como por las posibilidades de síntesis y análisis que proporciona (Martin, 1977; Wiederhold, 1986; Zicari, 1990).

## **Flora y estructura.**

El análisis descriptivo de una flora ha sido tradicionalmente poco apreciado y generalmente su importancia ha sido reconocida solamente por los botánicos. Sin embargo, la información básica de la flora es importante para cualquier trabajo que tenga que ver con el manejo de áreas y recursos naturales, y para su conservación. La información sobre una flora es un acervo del cual pueden obtener datos otras disciplinas, no necesariamente sólo las relacionadas con la botánica; por ejemplo, algunas tan distintas como la economía y la sociología pueden utilizar la información para el análisis y planeación de los procesos productivos de una nación.

Rich y Woodruff (1992) analizaron los registros de inventarios florísticos y encontraron que éstos dependen fuertemente de los hábitos de trabajo y la habilidad del colector. Otros factores importantes son las facilidades de acceso a los sitios de trabajo, la conspicuidad, estacionalidad y abundancia poblacional de las plantas, así como el esfuerzo que debe ser dedicado a su colecta. En este contexto, el presente trabajo representa una primera aproximación para tratar de entender la ecología de los sistemas costeros a través del conocimiento de diversos aspectos de la flora, con base en el diseño y conformación de una base de datos como herramienta fundamental para la selección y manejo de la información. En realidad, la contribución del estudio va más allá, al sintetizar y ordenar el conocimiento de la riqueza local de cada sitio de muestreo, lo cual determina en última instancia las diferencias en dominancia entre las regiones y las diferencias resultantes en función de las escalas de análisis (Moreno-Casasola y Castillo, 1992).

La visión integral obtenida en este trabajo tiene como base el análisis desarrollado de la flora de dunas costeras, la cual se define como el conjunto de



especies que habitan y se reproducen sobre un substrato arenoso. La existencia de distintos microhábitats que ejercen una selección sobre el conjunto de especies que los colonizan y permanecen en el sistema de dunas es un elemento importante en la determinación de la riqueza florística, la cual está aumentada por la presencia de especies de distintos orígenes.

Para esta flora fue posible distinguir básicamente tres grupos: en primer lugar está un grupo de especies costeras que han evolucionado en estos ambientes y que están ampliamente distribuidas a lo largo de grandes extensiones del Golfo de México y del Caribe; los otros dos grupos comprenden especies tanto frecuentes como ocasionales que logran dispersarse y reproducirse en las dunas costeras, y cuya presencia es muy variable desde el punto de vista geográfico. Uno de estos grupos está formado por especies ruderales, propias de vegetación secundaria, frecuentes en zonas perturbadas o alteradas por la actividad del hombre, como son cultivos, orillas de carreteras, parcelas abandonadas y comunidades en regeneración. Por último, el otro grupo abarca especies que habitan preferentemente en otros tipos de vegetación tierra adentro y que invaden ciertos ambientes de las dunas que son adecuados para su establecimiento (Castillo y Moreno-Casasola, 1996, 1998). Por lo tanto, la riqueza florística de un sistema costero es la resultante de la existencia de diversos ambientes que reflejan diferentes condiciones de establecimiento y sobrevivencia, lo que en su conjunto hace posible la presencia de distintos tipos de vegetación y de especies características. Como se mostró en el análisis de Castillo y Moreno-Casasola (1998), existen importantes diferencias de composición florística a lo largo de las costas mexicanas del Golfo de México y del mar Caribe.

El conocimiento que se tiene hoy en día sobre la flora costera en los litorales mexicanos indica claras tendencias en los patrones de distribución, lo cual hace que el análisis de las diferencias y semejanzas de la abundancia entre las especies sea muy interesante. Las costas son franjas estrechas pero muy largas, y a lo largo de su extensión comparten condiciones muy particulares que restringen el número de especies en algunos de sus hábitats, dando lugar a un mosaico vegetacional y ambiental de condiciones asociado a gradientes de movimiento de arena, salinidad e inundación por agua marina y agua dulce, todo lo cual es cambiante en el tiempo (Castillo et al., 1991; Moreno-Casasola et al., 1986, 1999). De esta manera, en las dunas costeras se presenta una sucesión de comunidades que va desde una cubierta abierta de especies pioneras, pasando por un pastizal y un matorral, hasta conformar una selva (Castillo et al., 1991; Doing, 1981; Martínez et al., 1993; Moreno-Casasola y Espejel 1986).

Desde el punto de vista florístico y con base en el análisis de los patrones de distribución, en la presencia de especies endémicas y en las especies dominantes o aquéllas cuya forma de crecimiento imprime una fisonomía particular a la zona, se detectaron importantes diferencias a lo largo de la costa. De hecho, a pesar de tener como común denominador al substrato arenoso, al viento como un agente modelador, a las interacciones existentes en el sistema, así como a la dinámica propia del sistema, las comunidades de dunas costeras presentes en distintos sitios son diferentes de acuerdo a la región climática y al tipo del substrato presente. Moreno-Casasola (1988, 1991), Moreno-Casasola et al. (1999) y Martínez et al. (1993) establecieron tres grupos florísticos para las cinco regiones ecológicas descritas a lo largo del Golfo de México y en mar Caribe. En primer lugar está el grupo del norte del Golfo de México, que se

localiza en Tamaulipas y norte de Veracruz, el cual comparte muchas especies de la flora con el sur de los Estados Unidos, principalmente de Texas. A continuación se distingue el grupo centro del Golfo de México, que se distribuye en el resto de Veracruz y Tabasco, y finalmente se distingue el grupo florístico del Caribe, que abarca los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo.

El análisis de la flora costera de las dunas realizado en este trabajo se basó en el registro de 655 especies, 353 géneros y 91 familias de fanerógamas. Como puede verse en Castillo y Moreno (1998), más de la mitad de estas especies (entre 67.3 y 68.8%) pertenece a un grupo muy pequeño de familias (16); de acuerdo con el recuento correspondiente, se observa que predominan las de distribución tropical (59), con un menor número las cosmopolitas (26), y únicamente seis están mayormente ligadas con zonas de clima templado. A este respecto cabe comentar que por encontrarse la porción norte de nuestro país en la zona subtropical, se comparten varios géneros y especies con los sistemas de dunas costeras de latitudes más elevadas del hemisferio boreal (Moreno-Casasola, 1988; Castillo y Moreno 1998).

El número de especies y familias inventariadas en cada uno de los 44 sitios de muestreo fue muy variable, pues hubo localidades muy pobres (con sólo 16 especies) y otras muy ricas (con 155 y 112 especies). Esta variación posiblemente esté correlacionada con factores ambientales y con las historias de uso propias de cada localidad (intensidad de aprovechamiento, grado de estabilización, riqueza de hábitats, cercanía a vegetación que sirva como fuente de propágulos), así como con factores geográficos, clima, tipo de suelo, intensidad de vientos y aspersion salina (Moreno-Casasola, 1988, 1991; Espejel, 1987; Castillo y Moreno-Casasola, 1996).

Moreno-Casasola y Castillo (1992) y Martínez et al. (1993) esquematizan los principales factores ambientales que afectan los microambientes de las dunas, y comparten con autores como Doing (1981), Moreno-Casasola y Espejel; (1986), Castillo et al. (1991) y Martínez et al. (1997) la idea de que la vegetación de dunas costeras conforma un mosaico de diferentes estructuras y composiciones que debe su existencia a diferentes condiciones ambientales a lo largo de la costa. Aunque el hábitat particular de las playas y dunas restringe grandemente el número de especies presentes, la heterogeneidad a nivel geográfico permite que existan distintos conjuntos de especies, favoreciendo la presencia de diferentes especies e incrementando en última instancia la riqueza de las dunas (Chapman 1996).

La información que proporciona un inventario florístico brinda la oportunidad de ver el conjunto de las especies bajo diferentes enfoques. El presente estudio se ha circunscrito al sistema denominado playa y dunas costeras que se localiza a lo largo de todo el litoral atlántico de México. La elaboración del inventario de una flora es por sí misma de gran importancia para el uso de los recursos naturales. El conocimiento de la flora en un amplio tramo de su área de distribución, así como de su variabilidad regional, darán elementos importantes para su conservación y utilización, pero esto no es suficiente. Posteriormente a este primer paso es necesario contar con la información de apoyo acerca de las relaciones ecológicas de las principales especies que nos permita sugerir políticas para su manejo.

### **Conservación de los sistemas costeros.**

La zona costera del Golfo de México y del mar Caribe se puede considerar como uno de los mayores bienes patrimoniales de México. Algunos de sus ecosistemas

poseen características únicas que deben protegerse y conservarse. Actualmente la conservación y el mantenimiento de la productividad biológica de este patrimonio ecológico y social enfrenta un gran número de dificultades derivado de los estilos actuales de aprovechamiento (Toledo et al., 1994). El privilegio de las metas del crecimiento económico y, a menudo, las presiones impuestas por la necesidad de la sobrevivencia, son las fuentes de las tensiones que hoy se ciernen como serias amenazas para la capacidad de carga de la zona costera y como un peligro inminente para las posibilidades del mejoramiento de las condiciones de vida de los seres humanos que las pueblan (Toledo et al., 1994).

Los sistemas costeros constituyen actualmente áreas prioritarias de desarrollo en nuestro país y de manera acelerada se están incorporando cada vez más costas al desarrollo turístico y agropecuario. Estos desarrollos se hacen sobre todo en las áreas de playas, dunas costeras, acantilados, manglares y selvas. Para que estos ambientes no se degraden irreparablemente, es necesario desarrollar programas tanto de conservación como de uso de estas zonas, de modo que ambas actividades sean compatibles.

En el manejo y conservación de dunas costeras no sólo hay que tener en cuenta a las especies, sino también a los procesos que están ocurriendo en el sistema. Las políticas de conservación de dunas costeras llevadas a cabo en otros países tienden a mantener todo tal y como está, dejando a un lado la dinámica propia del sistema y sin tomar en cuenta el hecho de que los patrones espaciales cambian en el tiempo. Es importante considerar el concepto de paisaje dinámico, el cual implica que los procesos siempre están ocurriendo y que la conservación puede alterar estos procesos. Es decir, en un ambiente tan dinámico como el que se abordó en este estudio, una situación en

particular (por ejemplo, las partes estabilizadas) no debe ser el objetivo único de conservación. Por el contrario, se debe considerar al paisaje de dunas como una entidad que cambia de manera natural en el tiempo y en el espacio. Así, una política de conservación más adecuada implica conservar de tal manera que se permita la continuidad de todos los procesos naturales que ocurren en el paisaje de dunas costeras (Wanders 1989; Westhoff 1989; Dasmann, 1991; Lamberk y Saunders 1993; Law y Dickman 1998). En otras palabras, es necesaria la conservación de todos los estadios sucesionales, incluyendo aquéllos donde hay un gran movimiento de arena. Si se tiende a una fijación general de las dunas, entonces no habrá un rejuvenecimiento eólico, lo que podría traer como consecuencia la desaparición de etapas sucesionales tempranas. De esta manera se puede llegar a perder el mosaico de diversos estadios sucesionales, incrementándose notoriamente los más estables, y disminuyendo de manera importante la variación natural de las dunas (van der Muelen y Jungerius 1989; Turner y Corlett 1996). La conservación de la biodiversidad de playas y dunas costeras forma parte de la conservación de la biodiversidad de toda la franja terrestre del litoral, y a su vez debe enmarcarse dentro de un contexto más amplio que incluya al paisaje como un mosaico ambiental con parches de diferente composición y estructura.

Por todas estas razones, es obvio que la investigación en estos sistemas es indispensable para lograr un buen manejo de los mismos. La comprensión del funcionamiento de las dunas costeras necesariamente desembocará en una mayor capacidad para la toma de decisiones y en mejores políticas de conservación de estos sistemas tan diversos y frágiles. Se debe tomar en cuenta que estas comunidades forman parte de un paisaje costero, de la misma manera que otras comunidades inundables como los humedales dulceacuícolas, los manglares y los salitrales rocosos,

y que el conjunto de este paisaje protege los ambientes tierra adentro durante tormentas u oleajes muy fuertes.

Finalmente, la estrecha dependencia de las plantas hacia el medio físico y su gran riqueza de los sistemas costeros ofrece una ventaja enorme con fines educativos y de investigación, ya que las condiciones limitantes establecidas permiten diseños experimentales simples que arrojarían gran información acerca de las características de la historia de vida de las plantas adaptadas para permanecer en los distintos hábitats de las dunas.

Literatura citada:

- Castillo, S., J. Popma y P. Moreno-Casasola. 1991. Coastal sand dune vegetation of Tabasco and Campeche, Mexico. *Journal of Vegetation Science*, 2: 73-88.
- 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 litoral atlántico de México. *Acta Botánica Mexicana*: 45: 55-80.
- Chapman, D.M. 1996. DUNEBASE: Information management for dune management. *Landscape and Urban Planning* 34: 351-359.
- Dasmann, R.F. 1991. The importance of cultural and biological diversity. En: M. L. Oldfield y J.B. Alcorn (eds.) *Biodiversity. Culture, Conservation, and Ecodevelopment*. Pp. 7-15. Westview Press. San Francisco,
- Date, C.J. 1986. *Introducción a los sistemas de Bases de Datos*. Addison-Wesley Iberoamericana. 648 pp.
- Doing, H.1981. A comparative scheme of dry coastal dune habitats, with examples from the eastern United States and some other temperate regions. *Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Eubel*. 77: 41-72.
- Kim, K.C. y L. Knutson (Eds.) 1986. *Foundations for a national biological survey*. Association of Systematics Collections, Lawrence, Kansas. 215 pp.
- Lamberck, R.J. y D.A. Saunders, 1993. The role of patchiness in reconstructed wheatbelt landscapes. In *Nature Conservation 3: Reconstruction of Fragmented Ecosystems* (D. Saunders, R. Hobbs y P. Ehrlich, eds). Surrey Beatty and Sons. Sydney, Pp. 153-61.
- Law, B.S. y C.R. Dickman. 1998. The use of habitat mosaics by terrestrial vertebrate fauna implications for conservation and management. *Biodiversity and Conservation* 7: 323-333.
- Le Duc, M.G., M.O. Hill y T.H. Sparks. 1992. A method for predicting the probability of species occurrence using data from systematic surveys. *Watsonia* 19: 97-105.
- Martin, J. 1977. *Computer Data-Base Organization*. Prentice-Hall New Jersey. pp. 713
- Martínez, M.L., P. Moreno-Casasola y S. Castillo. 1993. Biodiversidad costera: playas y dunas. En: Salazar-Vallejo, S.I. y N.E. González (eds). *Biodiversidad marina y costera de México*. CIQRO-CONABIO. México. D.F. Pp. 160-180.
- Martínez, M. L., P. Moreno-Casasola, G. Vázquez 1997. Effect of disturbance by sand movement and inundation by waqter on tropical dune vegetation dynamics. *Canadian Journal of Botany*, 75: 2005-2014.
- Moreno-Casasola , P. e I. Espejel. 1986. Classification and ordination of coastal sand dune vegetation along the Gulf and Caribbean Sea of Mexico. *Vegetatio* 66: 147-182.



- Moreno-Casasola, P. 1988. Patterns of plant species distribution on coastal dunes along the Gulf of Mexico. *Journal of Biogeography*, 15: 787-806.;
- Moreno-Casasola P. 1991. San dune studies on the eastern coast of Mexico. *Proceedings Canadian Symposium on Coastal Dunes 1990*. Guelph, Ontario. Pp. 215-230.
- Moreno-Casasola P. y S. Castillo. 1992. Dune ecology on the eastern coast of Mexico. En: U. Seelinger (Ed.) *Coastal Plant Communities of Latin America*. Academic Press. Nueva York. Pp. 309-321.
- Moreno-Casasola, P., I. Espejel., S. Castillo., G. Castillo-Campos., R. Durán., J.J. Pérez., J. L. De León., I. Olmsted., J. Trejo. 1999. Flora de los ambientes arenosos y Rocosos de las costas de México.
- Rich. T. C. G. y E. R. Woodruff. 1992. Recording bias in botanical surveys. *Watsonia* 19: 73-95.
- Shetler, S. G. 1974. Demythologizing Biological Data Banking. *Taxon* 23:71-100.
- Turner, I.M.; R. T. Corlett. 1996 The conservation value of small, isolated fragments of lowland tropical rain forest. *Trends in Ecology and Evolution*, 11: 330-333.
- van der Muelen, F. y P. D. Jungerius. 1989. Coastal degence alternatives and nature development perspectives. Pp 133-140. In: van der Meulen, F., P. D. Jungerius y J. H. Visser (eds.) *Perspectives in coastal dune management*. Proc. European Symp.
- Wanders, E. 1989. Perspectives in coastal dune management towards a dinamic approach. Pp. 141-148 In: van der Meulen, F.; P.D. Jungerius y J. H. Visser (eds) *Perspectives in coastal dune management*. Proc. European Symp.
- Westhoff, V. 1989. Dunes and dune managemente along the North Sea costs. Pp 41-51 In: van der Meulen, F.; P.D. Jungerius y J. H. Visser (eds) *Perspectives in coastal dune management*. Proc. European Symp.
- Wiederhoid, G.1986. *Diseño de Bases de Datos*. 2ª. Ed. McGraw-Hill. México, D.F., Pp. 921.
- Zicari, R. 1990. *Object-Oriented Database System: Theory and Practice*. Universidad Nacional Autónoma de México y Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. pp. 150.