



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL

**ESTRUCTURA ESPACIAL DE LA VEGETACIÓN DE DUNA
COSTERA DE LA ZONA NORTE Y SUR DE LA RESERVA
DE LA BIOSFERA DE SIAN KA'AN, QUINTANA ROO,
MÉXICO.**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRÍA EN MANEJO DE ZONA COSTERA

PRESENTA:

BIOL. ELOY GAYOSSO SOTO

DIRECTOR:

M.C. JOSÉ MANUEL CASTRO PÉREZ

CO-DIRECTOR:

DRA. CARMEN AMELIA VILLEGAS SÁNCHEZ

CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, DICIEMBRE DEL 2015

Este trabajo está dedicado:

A mi esposa Verónica Zarate Valencia quien me ha regalado la mejor combinación de ambos; nuestra hija Meredith Gayosso Zarate; gracias por tu apoyo, cariño, perseverancia y ser partícipe de ese tesoro y de lo que nos espera en el futuro. A mis padres por su apoyo y comprensión y por nunca dejar de creer en mí y apoyarme en todo momento en especial mi madre Adela Soto Soto. A mis hermanitos, Noribeth, Andy, Salomón, Agustina, Sonia y Oswaldo. A Rosa Santana quien me ha brindado su apoyo, cariño, consejos y comprensión. A Enrique Alegría por estar a lado de la mujer que me dio la vida, por cuidarla y atenderla como se merece, gracias. A mis amigos y compañeros de la maestría en manejo de zona costera 1^{era} Generación, gracias por brindarme su amistad. A todos aquellos que creyeron en mí y aún continúan haciéndolo.

AGRADECIMIENTOS.

A mi director y asesor de tesis del ITCH el M. C. José M. Castro Pérez por haberme dirigido y aconsejado durante la elaboración de este trabajo, y por la paciencia que me tuvo muchas gracias.

A mi Co-directora y asesora de tesis la Dra. Carmen Amelia Villegas Sánchez por haberme dirigido y aconsejado durante la elaboración de este trabajo y por la paciencia que me tuvo, muchas gracias.

A la DGEST por haberme seleccionado dentro del Programa de Capacitación Estudiantil de los Programas de Posgrado Habilitado por la Dirección general de Educación Superior Tecnológica, a partir de la convocatoria septiembre 2012 hasta la conclusión del Posgrado de Manejo de Zona Costera.

A mis compañeros de la carrera de Biología generación 2002-2006, a mi amigo Vicente Güemes Pérez, a su esposa y a la familia Güemes en general por brindarme su amistad y consejos, gracias.

A la familia de mi esposa, en especial a sus padres Don Gilberto Zarate y Simeona Valencia por brindarnos su ayuda, comprensión y paciencia gracias.

A mis compañeros y amigos que me ayudaron en el muestreo de este trabajo, al Ing. Christiam Aarón Gómez Medina, Biol. Jorge López y al Biol. Vicente Enrique Güemes Pérez, gracias. Al Dr. Leopoldo Cutz Pool, por sus consejos y amistad brindada.

A mis revisores en el Instituto Tecnológico de Chetumal, al M. C. Héctor Ortiz León, y al M. C. Alejandro Medina Quej, por sus consejos y asesoría brindada en este trabajo, Gracias.

Al Biól. Ángel Omar Ortiz Moreno, director de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an por haberme permitido llevar a cabo el muestreo dentro de la Reserva.

Al Lic. Javier Castro Jiménez, Subdelegado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naurales (SEMARNAT) en el estado de Quintana Roo, a la Ing. Yolanda Medina Games, Jefa de la Unidad de Aprovechamiento y Restauración de Recursos Naturales y al Ing. Salvador Palomino Ac, Jefe de Departamento de Servicios Forestales y de Suelo, por su comprensión y apoyo brindado para la realización del presente trabajo.

A la Asociación Civil Amigos de Sian Ka'an y al Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) por su apoyo en proporcionarme referencias bibliográficas.

CONTENIDO

Resumen.....	1
1. Introducción.....	3
2. Justificación.....	9
3. Hipótesis.....	10
4. Antecedentes.....	11
5. Objetivos.....	14
5.1. Objetivo general.....	14
5.2. Objetivos particulares.....	14
6. Metodología.	15
6.1. Área de estudio.....	15
6.2. Zona Norte.....	18
6.3 Zona Sur.....	18
6.4 Diseño de muestreo.....	18
6.5 Análisis de la vegetación.....	25
7. Resultados.....	29
7.1. Composición y abundancia de la vegetación de duna costera de la Zona Norte y Zona Sur de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.....	29

7.2. Composición y abundancia del estrato arbóreo para la Zona Norte y Zona Sur.....	38
7.3. Composición y abundancia del estrato arbustivo para la Zona Norte y Zona Sur.....	39
7.4. Composición y cobertura del estrato herbáceo para la Zona Norte y Zona Sur.....	40
7.5. Distribución espacial de las especies más representativas de la vegetación de duna costera en la Zona Norte y Zona Sur.....	42
7.6. Curva de acumulación de especies.....	43
7.7. Arreglo espacial de los sitios de muestreo en ambas zonas (Zona Norte y Zona Sur).....	46
7.7.1. Dendograma de similitud incluyendo los tres estratos muestreados (arbóreo, arbustivo y herbáceo).....	46
7.7.2. Dendograma de similitud del estrato arbóreo- arbustivo.....	47
7.7.3. Dendograma de similitud del estrato herbáceo.....	47

7.8. Porcentaje de contribución de las especies entre los grupos formados en el arreglo espacial por estrato de la vegetación del sistema de duna costera.....	49
7.8.1. Estrato arbóreo, arbustivo y herbáceo.....	49
7.8.2. Estratos arbóreo y arbustivo.....	51
7.9. Diversidad de Shannon-Wiener y equidad de Pielou de los sitios de muestro de duna costera en el área de estudio.....	52
7.9.1. Diversidad, equidad y comparaciones con la prueba de T de Hutchenson para el componente florístico arbóreo, arbustivo y herbáceo.....	52
7.9.2. Diversidad, equidad y comparaciones con la prueba de T de Hutchenson para el componente arbóreo-arbustivo.....	55
7.10. Relación de la abundancia de las especies con el perfil topográfico (variables físicas) de los sitios de muestro de la Zona Norte y Zona Sur, a través del método de componentes principales.....	58

7.10.1. Variables físicas del perfil topográfico de los sitios de muestreo de la Zona Norte y Zona Sur.....	58
7.10.2. Ordenación especies-variables físicas de los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo.....	59
7.10.3. Ordenación para las especies-variables físicas del estrato arbóreo-arbustivo.....	62
8. Discusiones.....	64
8.1. Distribución y abundancia de la vegetación de duna costera.....	64
8.2. Arreglo espacial de los sitios de muestreo del sistema de duna costera de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.....	67
8.3. Diversidad de Shannon-Wiener y equidad de Pielou de los sitios de muestro de la duna costera en el área de estudio.....	70
8.4. Relación de la abundancia de las especies con el perfil topográfico de los sitios de muestro de la Zona Norte y	

Zona Sur, a través del método de componentes principales.....	75
9. Conclusiones.....	79
10. Bibliografía.....	82
11. Anexos.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio, en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an (En coordenadas UTM WGS-84 16N). Los números indican los diez sitios de muestreo considerados.....	17
Figura 2. Zonación de la vegetación de duna costera (modificado de SEMARNAT, 2006).....	21
Figura 3. Representación esquemática de los cuadrantes anidados y sus dimensiones.....	22
Figura 4. Número de especies por familia registrada en los sitios de muestreo del área de estudio de la Zona Norte y Sur de la Reserva de la Biosfera de Sian ka'an, Quintana Roo, México.....	35
Figura 5. Distribución y presencia de familias por Zonas en el área de estudio de la reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México.....	36
Figura 6. Abundancia por especie registrada en la vegetación de duna costera en ambas zonas de estudio de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.....	37

Figura 7. Abundancia por especie para cada zona (Norte y Sur) en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.....	38
Figura 8. Abundancia por especie registrada del estrato arbóreo en el sistema de dunas de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.....	39
Figura 9. Abundancia por especie registrada del estrato arbustivo en el sistema de dunas de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.....	40
Figura 10. Porcentaje de cobertura total, de los individuos por especie registrada del estrato herbáceo, en el sistema de dunas de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.....	41
Figura 11. Distribución espacial de las especies más representativas, propias de cada estrato de la comunidad florística registrada en el sistema de duna frontal de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, para la Zona Norte, así como, las divisiones pre-establecidas según SEMARNAP/INE, (2000; Modificado para este estudio). Los símbolos (+); (x) y (-) denotan las especies de cada uno de los estratos registrados.....	42
Figura 12. Distribución espacial de las especies más representativas propias de cada estrato de la comunidad florística registrada en el sistema de duna frontal de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, para la Zona Sur, así	

como, las divisiones pre-establecidas según SEMARNAP/INE, (2000; Modificado para este estudio). Los símbolos (+); (x) y (-) denotan las especies de cada uno de los estratos registrados.....43

Figura 13. Curvas de acumulación de especies de la riqueza específica observada comparada con los estimadores de riqueza no paramétricos de Jack 1, Bootstrap, y Chao's (1 y 2 orden), (a). Estrato arbóreo y arbustivo de los sitios de muestreo de la Zona Norte; b). Estrato arbóreo y arbustivo de los sitios de muestreo de la Zona Sur.....44

Figura 14. Curvas de acumulación de especies de la riqueza específica observada comparado con los estimadores de riqueza no paramétricos de Jack 1, Bootstrap, y Chao 1, (a). Estrato herbáceo de los sitios de muestreo de la Zona Norte; b). Estrato herbáceo de los sitios de muestreo de la Zona Sur.....45

Figura 15. Dendograma de similitud de Bray-Curtis, clasificación de los sitios de muestreo de acuerdo a la composición de especies compartidas de los diversos estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo. Línea punteada: corte al 35 % de similitud.....46

Figura 16. Dendograma de similitud de Bray-Curtis, clasificación de los sitios de muestreo de acuerdo a la composición de especies compartidas de los

estratos arbóreo-arbustivo. Línea punteada: corte al 42 % de similitud.....47

Figura 17. Dendograma de similitud de Bray-Curtis, clasificación de los sitios de muestreo de acuerdo a la composición de especies compartidas del estrato herbáceo muestreado. Línea punteada: corte al 21 % de similitud.....48

Figura 18. Ordenación a través del análisis de componentes principales con base a la abundancia de las especies registradas de los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo y su correlación con las variables (cuantitativas) físicas de los sitios de muestreo para la Zona Norte y Zona Sur, del sistema de duna costera de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an. Flechas delgadas de cabeza de triangular angosta, representan a las especies; flechas más sólidas con cabeza triangular robusto representa las variables; círculos representan los sitios de muestreo.....61

Figura 19. Ordenación a través del análisis de componentes principales con base a la abundancia de las especies registradas del estrato arbóreo-arbustivo y su correlación con las variables (cuantitativas) físicas de los sitios de muestreo para la Zona Norte y Zona Sur, del sistema de duna costera de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an. Flechas delgadas de cabeza de triangular angosta, representan a las especies; flechas más

sólidas con cabeza triangular robusto representa las variables; círculos representan los sitios de muestreo.....63

Figura 20. Distribución del sistema arrecifal y de los sitios de muestreo a lo largo del litoral costero de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an (coordenadas geográficas: wvs – Datum wgs84).....99

Figura 21. Sistema arrecifal dentro del área de estudio, en donde se muestran los sitios de estudio distribuidos a lo largo de la Zona Norte de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an (coordenadas geográficas: wvs –Datum wgs84).....100

Figura 22. Sistema arrecifal dentro del área de estudio, en donde se muestran los sitios de estudio distribuidos a lo largo de la Zona Sur de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an (coordenadas geográficas: wvs –Datum wgs84).....101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Listado florístico de la vegetación de duna costera de la Zona Norte y Zona Sur de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an.....29

Tabla 2. Porcentajes de Similitud (SIMPER) por grupos de las especies de las comunidades florísticas arbóreo, arbustivo y herbáceo, de los sitios de muestreo agrupados. Av. Abundr = Abundancia relativa promedio, AV. Sim = Similitud promedio, Contrib % = Porcentaje de contribución, Acum. % = Porcentaje de contribución acumulada.....50

Tabla 3. Porcentajes de Similitud (SIMPER) por grupos de las especies de las comunidades florísticas arbóreo y arbustivo de los sitios de muestreo agrupados. Av. Abundr = Abundancia relativa promedio, AV. Sim = Similitud promedio, Contrib % = Porcentaje de contribución, Acum. % = Porcentaje de contribución acumulada.....51

Tabla 4. Valores obtenidos del índice de diversidad de Shannon-Wiener para los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo, registrados en los sitios de muestreo de la ZN y ZS del sistema de duna costera de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.....53

Tabla 5. Valores obtenidos del índice de equidad de Pielou (J') para los estratos arbóreo, arbustivo, herbáceo, regeneración, abundante o rara,

registrados en los sitios de muestreo de la ZN y ZS del sistema de duna costera de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.....53

Tabla 6. Valores obtenidos a partir de la prueba T-Hutchenson para la diversidad de las especies registradas en los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo, en el sistema de duna costera de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an. (Arriba de la diagonal se presentan los valores de t y por debajo los valores estadísticos de p). * Denotan diferencias significativas entre las combinaciones.....54

Tabla 7. Valores obtenidos del índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'), para el estrato arbóreo-arbustivo registrado en los sitios de muestreo de la ZN y ZS del sistema de duna costera de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.....55

Tabla 8. Valores obtenidos del índice de equidad de Pielou (J'), para el estrato arbóreo-arbustivo registrado en los sitios de muestreo de la ZN y ZS del sistema de duna costera de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.....56

Tabla 9. Valores obtenidos a partir de la prueba T-Hutchenson para la diversidad de las especies para los estratos arbóreo-arbustivo, en el sistema

de duna costera de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an. (Arriba de la diagonal se presentan los valores de t y por debajo los valores estadísticos de p). * Denotan diferencias significativas entre las combinaciones.....58

Tabla 10. Valores de amplitud obtenidos de las variables físicas del perfil topográfico de los sitios de muestreo de la Zona Norte y Zona Sur. Pendiente a Pleamar: Pe-PI; Duna Frontal: DunaFro; Cresta de Duna: CrestaDu; Duna Posterior: DunaPos y Pendiente: Pend.....59

Tabla 11. Composición y ubicación de las especies y familias en cada uno de los sitios de muestreo de la Zona Norte y Zona Sur.....102

Resumen.

En las dunas costeras el establecimiento de las especies pioneras de flora desde pleamar hacia tierra dentro favorece la aparición posterior de otras especies, determinando una sucesión ecológica hasta conformar bosques y selvas. El tipo de comunidad vegetal a establecerse desde la zona de pleamar hacia tierra dentro variará dependiendo su ubicación geográfica: tropical, sub-tropical o templada, así como de otras características de las zonas. El objetivo principal del presente proyecto fue determinar la estructura espacial de la vegetación de duna en dos zonas (norte y sur) de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo. Se reportó un total de 35 especies de flora de duna costera, distribuidas en 23 familias. Las especies más dominantes fueron: palma chit (*Thrinax radiata*), sikmay (*Tournefortia gnaphalodes*), patzil (*Suriana marítima*), margarita de mar (*Ambrosia hispida*), pasto herbáceo (*Panicum amarum*), ernodea de playa (*Ernodea littoralis*). A través del índice de similitud de Bray Curtis y dendograma de clasificación se detectaron las especies que contribuyen a la formación de grupos, denotando similitud entre los sitios muestreados de ambas zonas (zona norte y zona sur), siendo las especies más importantes en la formación espacial de los grupos: sikmay (*Tournefortia gnaphalodes*), margarita de mar (*Ambrosia hispida*) y palma chit (*Thrinax radiata*). De acuerdo al promedio de diversidad por zona, se encontró que la Zona Norte (promedio: 0.6877decits/ind), es más diversa que la Zona Sur (promedio: 0.6199decits/ind). De forma general la prueba T-Hutchenson indicó que existen diferencias significativas entre los valores de diversidad de los sitios, indicando que el sitio que contrastó con todos los demás

fue el ZS-9 ($p < 0.05$), esto para los datos de abundancia registrados en los estratos propuestos (arbóreo, arbustivo y herbáceas). De acuerdo al análisis de componentes principales, se observó que el perfil topográfico de la duna presenta influencia poco significativa en la distribución y ordenación de la comunidad florística del sistema de duna de la Zona Norte y Zona Sur, debido a que los principales factores que determinan la distribución de la vegetación de dunas costeras son, tipo de suelo (composición físico-química), aspersion salina, ph, cantidad de materia orgánica y disposición de agua dulce, situaciones evidentes en ambas zonas de estudio. La información ecológica generada en este trabajo servirá para mejorar los planes de manejo y conservación de la reserva y como estudio base para la comparación de los indicadores ecológicos con estudios posteriores para detectar el grado de estrés ambiental y antropogénico sobre la vegetación de la duna costera de la zona norte y sur.

Palabras clave: Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Zona Norte, Zona Sur, perfil topográfico, vegetación de duna.

1. Introducción.

El rápido crecimiento de las actividades humanas está provocando cambios sin precedentes en la estructura, dinámica y diversidad de los ecosistemas terrestres (Tilman, 1993); uno de los ecosistemas de vital importancia en donde se observan dichos cambios, es la zona de costa, en donde la sociedad interactúa desde el punto de vista económico, social y ecológico. Los ecosistemas costeros son muy vulnerables frente a la acción inconsciente del hombre y el mal manejo; si a estas acciones se les añade sinérgicamente los eventos naturales, tenemos como resultado una degradación considerable de dichos sistemas (Miranda-Vera, 2003; Dayton *et al.*, 2005; Martínez, 2008; Seinger *et al.*, 2009).

La línea de costa es tan larga que si pudiéramos estirla equivaldría a rodear 402 veces el mundo sobre el ecuador. La extensa distribución de las costas da como resultado una amplia variedad de características geomorfológicas, regímenes climáticos distintos y biomas diversos, dentro del cual se encuentra el sistema de dunas. Las dunas son montículos de arena con inclinaciones hacia playas suaves, rocosas y acantilados; algunas presentan pendientes planas con playas angostas y extensas. De igual forma en la zona costera se pueden encontrar hábitats estuarinos, marismas, deltas, bosques de manglares, humedales, matorrales, pétenes, etc. (Burke *et al.*, 2001; Schwartz, 2005; Martínez *et al.*, 2007).

El sistema de dunas en la zona costera, son formaciones de arena paralelas a la costa que pueden medir desde unos cuantos centímetros hasta 50 metros de

altura, que llegan a formar un sistema de colinas o cordones de dunas continuos o interrumpidos de arena ondulante, que pueden extenderse por varios kilómetros tierra adentro y a lo largo de la costa (Moreno-Casasola, 2004; 2006; Martínez *et al.*, 2014). Los sedimentos que forman dichas colinas provienen de arena arrojada por el oleaje a las playas, donde quedan expuestos al aire, que por influencia del sol y la brisa se seca; los granos de arena quedan expuestos y son movidos por el viento, que levanta, acarrea y deposita formando dicho sistema. Las dunas también llamadas médanos, se consideran activas o móviles cuando hay posibilidad de que arena expuesta, seca y por lo general sin vegetación, sea susceptible de ser movida por la acción del viento; por su parte las dunas fijas, estabilizadas o relictos, están cubiertas por vegetación y pueden formar estructuras relativamente estables mientras no se elimine la cubierta de vegetación (García-Mora, 2000; Tsoar, 2001; Hesp, 2002; Moreno-Casasola, 2004; 2006; Gallegos-Fernández, 2008; Martínez, 2008; 2009; SEMARNAT, 2013).

De forma general, la estructura de las dunas inicia con la formación de dunas embrionarias o primarias (móviles o activas), cerca de la orilla del mar con escasa o nula vegetación, sin embargo, tierra adentro las condiciones se van haciendo menos extremas por la acumulación constante de arena, nutrientes y con el establecimiento de vegetación más abundante, formando las zonas de dunas secundarias (estabilizadas o fijas) (Doing, 1985; Holmes, 2001; Hesp, 2002;

Rogers y Nash, 2003; Moreno-Casasola, 2004, 2006; Gallegos Fernández *et al.*, 2008; Gracia-Prieto *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2014).

En las dunas costeras el establecimiento de las especies pioneras desde pleamar hacia tierra dentro favorece la aparición posterior de otras especies, determinando una sucesión ecológica conforme la duna se vuelve más estable. Las etapas de sucesión (inicial, intermedia, madurez y clímax), finalmente conducen hacia tierra dentro a la formación de dunas totalmente fijadas por la vegetación, incluso pobladas por bosques y selvas. De esta forma se observa que los cordones de duna presentan especies adaptadas a las perturbaciones y a las características de las zonas más estables, en las cuales aumenta la diversidad y el recubrimiento de la vegetación. (Doing, 1985; Martínez-Romero, 1996; Castillo y Moreno-Casasola, 1998; Holmes, 2001; Hesp, 2002; Rogers y Nash, 2003; Moreno-Casasola, 2004, 2006; Romero-López *et al.*, 2006; Gallegos Fernández *et al.*, 2008; Lane *et al.*, 2008; Gracia-Prieto *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2014).

Las dunas destacan por la peculiaridad de su flora, la cual está adaptada a las condiciones edáficas extremas como pueden ser: la escasez de agua, de nutrientes, elevadas temperaturas superficiales, movilidad del sustrato, aspersion salina, alta concentración de sales, etc. No obstante, el tipo de comunidad vegetal a establecerse desde la zona de pleamar hacia tierra dentro, variará dependiendo su ubicación geográfica: tropical, sub-tropical o templada (Moreno-Casasola y Espejel, 1986; Castillo y Moreno-Casasola, 1998; Rogers y Nash, 2003; Hesp,

2004; Moreno-Casasola, 2004, 2006; Gallegos-Fernández *et al.*, 2008; Lane *et al.*, 2008; Gracia-Prieto *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2014).

En México la duna costera cubre alrededor de 808,711 ha, sin embargo, dicha superficie no se encuentra totalmente cubierta de vegetación (Martínez *et al.*, 2014), algunos trabajos han mencionado la importancia del ecosistema de duna costera, desde una perspectiva ecológica a una económica; prediciendo el estado sucesional de las especies vegetales y determinando el gradiente vegetativo del sistema de duna, considerando las zonas que componen el perfil topográfico de la duna costera. Así mismo, identifican la relación que guarda dicha sucesión ecológica con el tipo de sustrato, salinidad del suelo, fuerza e intensidad del viento, aspersión salina, disposición y carencia de nutrientes, incremento y disminución de sedimento (acumulación y erosión), efecto de olas y mareas, fluctuación de la temperatura, resistencia de los individuos de flora al enterramiento total y superficial, disposición de agua, etc. Se ha reportado que la vegetación de duna costera presenta una alta adaptabilidad y tolerancia a diferentes tipos de eventos naturales y antropogénicos, a lo largo del litoral nacional, confiriéndoles características distintivas con respecto a las zonas de tierra dentro en donde este tipo de circunstancias no ocurren (Rzedowski, 1978; Luisa-Martínez *et al.*, 1994; Geissert y Dubroeuq 1995; Molina *et al.*, 1998; Castillo y Moreno-Casasola, 1998; Moreno-Casasola, 2004, 2006; Romero-López *et al.*, 2006; Bojórquez *et al.*, 2008; Martínez, 2009; Seinger *et al.*, 2009; Márquez-

García *et al.*, 2010; Torres *et al.*, 2010, Álvarez-Molina *et al.*, 2012; Cuevas *et al.*, 2013; SEMARNAT, 2013; Martínez *et al.*, 2014).

La Península de Yucatán ocupa el segundo lugar con mayor número de especies endémicas de la flora costera, sólo superada por la península de Baja California (Moreno-Casasola *et al.*, 1998; Moreno-Casasola, 2004). Por otro lado, el estado de Quintana Roo, con 860 km de costa, es el noveno estado en superficie con dunas costeras tipo frontales y campos de dunas frontales con una superficie total de 12,278 has. (Martínez *et al.*, 2014), presentando una gran diversidad de ecosistemas interconectados como arrecifes de coral, humedales, lagunas costeras, playas y selvas, que aparentemente presentan un buen estado de conservación en áreas específicas del estado (Lazcano-Barrero *et al.*, 2000). En los últimos años, la inversión en infraestructura urbana y turística (construcción de casas de veraneo a lo largo de casi toda la costa, hoteles y carreteras), así como el aprovechamiento excesivo de los recursos naturales (extracción de madera, materiales pétreos, agua, pastoreo, etc.) y el establecimiento de basureros clandestinos, sobre la zona costera, se ha ido incrementando hacia el sur de Quintana Roo, provocando la pérdida de más de la mitad de la extensión territorial de vegetación de duna de costa que originalmente se mantenía en el estado (Bastida-Zavala *et al.*, 2000; Padilla- Sotelo y Luna-Moliner, 2003; Márquez-García *et al.*, 2010; Brenner y Vargas del Río, 2010; Durán-García *et al.*, en prensa). En la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, donde se llevó a cabo el presente estudio, se tiene establecido el Programa de Ordenamiento Ecológico de la Zona Costera

de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, así como su Programa de Manejo para la regulación y establecimiento de asentamientos urbanos, actividades recreativas, turismo de bajo impacto, entre otras acciones (INE, 1996; SEMARNAP-INE, 2000; D.O.F., 2002; CONANP *et al.*, 2007; Márquez-García *et al.*, 2010; D.O.F., 2015; Durán-García *et al.*, en prensa). A pesar de esto, el impacto que se ha observado con el paso de los años es evidente sobre la abundancia y estructura espacial de la vegetación de duna costera. Se debe destacar que en estos sistemas se ha reportado un gran número de endemismos (Moreno –Casasola, 2004; 2006; Martínez, 2008; 2009, Torres *et al.*, 2010) y se ha registrado la presencia de especies de flora silvestre contempladas bajo alguna categoría de riesgo en la Norma oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.

2. Justificación.

La zona costera de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, a partir de los años 30's, ha estado sujeta a impactos relacionados con el cambio de uso de suelo ocasionado por actividades humanas con el establecimiento de infraestructura urbana, ranchos copreros y pastoreo de ganado vacuno. El presente estudio pretende describir la estructura espacial de la vegetación de duna de la zona costera norte y sur de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an; la información ecológica generada en este trabajo, como: la composición, distribución, abundancia y diversidad de especies, servirá para ser considerados en la actualización y elaboración de los planes de manejo y conservación de la reserva y como estudio base para la comparación de los indicadores ecológicos con estudios posteriores, para detectar el grado de estrés ambiental y antropogénico sobre la vegetación de la duna costera de la Zona Norte y Sur. Siguiendo un esquema hipotético deductivo con la presente investigación se busca dar respuesta a las siguientes preguntas de relevancia en ecología vegetal: ¿Existe un arreglo espacial de las comunidades de vegetación de duna costera en relación a las características de las zonas de estudio? En caso de existir ¿Cómo está estructurado actualmente ese arreglo espacial? Cabe hacer mención que actualmente no existe ningún trabajo sobre la vegetación en la duna costera en el área de estudio, como el que se propone en el presente trabajo.

3. Hipótesis:

Con base a los disturbios reportados para las zonas de estudio, el presente trabajo plantea encontrar menor abundancia y diversidad en la duna costera de la Zona Norte, que en la Zona Sur.

4. Antecedentes.

En las últimas décadas se han realizado una diversidad de trabajos en las zonas costeras relacionados con los sistemas de dunas. Dichas investigaciones han estudiado la estructura ecológica y la alteración o interrupción de la dinámica sedimentaria costera ocasionada por la construcción de infraestructura como: espigones, puertos, embalses (en los principales cauces fluviales) y por el establecimiento de industria e infraestructura urbana.

Los estudios realizados por Burke *et al.*, (2001), Martínez *et al.*, (2007) y Martínez (2008), manifiestan que la necesidad de comprender la zona costera en su estructura y dinámica paisajística es evidente, sobre todo si se considera que según datos de 2003, 2,385 millones de personas en el mundo viven en zonas costeras (41%). Además, se debe de considerar que aproximadamente el 50% de los países con costas, tienen entre el 80 y el 100% de la población dentro de los primeros 100 Km desde sus líneas de costa. Cabe señalar que dentro de esos 100 Km, el 72% de la línea de costa puede ser considerada natural y el 28% alterada por actividades humanas con sembradíos y desarrollos urbanos. En las últimas décadas algunos estudios realizados sobre dunas costeras en el mundo han empezado a reconocer su valor ecológico, implementando medidas para su protección, mantenimiento y restauración, ya que se ha detectado la alta fragilidad que presentan estos sistemas (Ranwell y Rosalind, 1995; García Novo *et al.*,

1997, Burke *et al.*, 2001; Martínez *et al.*, 2004, Dayton *et al.*, 2005; Bowen *et al.*, 2006; Roig *et al.*, 2006; Martínez, 2008).

Otros estudios han clasificado, determinado y caracterizado ecológicamente el tipo morfológico de la duna costera, así como el tipo de vegetación, sucesión ecológica y la composición de especies, a lo largo del gradiente de vegetación que existe desde la costa hacia tierra dentro en cada una de las secciones que conforman la duna de costa. Otros trabajos, han señalado la importancia de la duna de costa como barrera protectora contra el efecto erosivo de las olas que reducen las playas, además de otorgar refugio, protección y alimentación para la flora y fauna existente (Doing, 1985; Ranwell y Rosalind, 1995, García-Mora, 2000; Martínez *et al.*, 2004; Gallegos Fernández, 2008; Lane *et al.*, 2008; Martínez, 2008; Gracia-Prieto *et al.*, 2009; Miller *et al.*, 2010; Isermann, 2011; Martínez *et al.*, 2014).

Estudios realizados en el estado de Quintana Roo, mencionan que para asegurar a largo plazo la sustentabilidad de los nuevos desarrollos, en su diseño deben considerar que la línea de costa es dinámica y vulnerable a los cambios en diferentes escalas de tiempo y espacio. (Molina *et al.*, 1998; Padilla-Sotelo y Luna Moliner, 2003; Márquez-García *et al.*, 2010; Mendoza-González *et al.*, 2012, SEMARNAT, 2013). Para el sitio de estudio, Olmsted *et al.*, (1983); Moreno-Casasola y Espejel (1986); Palacios-Chávez *et al.*, (1991); Dúran y Olmsted (1990); Castillo y Moreno-Casasola (1996); Cortés-Castelán e Islebe (2005) y Pozo (2011), describieron el tipo de comunidades de vegetación existentes, así

como los factores ambientales que influyen en la distribución de las especies arbóreas de selva en la Reserva, de igual forma, realizaron un listado y descripción de la flora palinológica del área de estudio, determinando la composición de especies incluyendo las más comunes, además de identificar los casos de invasión en las áreas de duna de costa en Sian Ka'an. Así mismo, Pozo de la Tijera y Escobedo-Cabrera (1999), determinaron el tipo de mamíferos terrestres de la Reserva.

5. Objetivos.

5.1. Objetivo general.

- Determinar la estructura espacial de la vegetación de duna costera de la Zona Norte y Sur de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México.

5.2. Objetivos particulares.

1. Describir la composición y abundancia de las especies vegetales de dunas costeras en el área de estudio.
2. Determinar los principales patrones espaciales de la vegetación de duna costera.
3. Definir las especies discriminantes del arreglo espacial de la vegetación de duna costera.
4. Comparar y evaluar la diversidad y equidad de las especies de las zonas de estudio.
5. Determinar la relación de las variables topográficas con la abundancia de la vegetación de duna costera.

6. Metodología.

6.1. Área de estudio.

La Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an se ubica al sureste de Quintana Roo, México, dentro de los municipios de Felipe Carrillo Puerto y Tulum (D.O.F., 2015), extendiéndose sobre una superficie de 5341.47 km²; de esta superficie el 40.5 % son ambientes costeros marinos, 22.5% selvas medianas sub-perennifolias, 18% marismas con zacates (incluye sabanas), 13% distintos tipos de manglar, 3% vegetación perturbada, 2.5% selva baja inundable y 0.5% dunas costeras (Olmsted *et al.*, 1983).

Bezaury y Arellano (en prensa), señalan que Sian Ka'an fue parte del paisaje utilizado por la civilización Maya por más de 2,000 años, como lo demuestran los vestigios de aproximadamente 22 sitios arqueológicos que se han encontrado en la Reserva. Actualmente se encuentra habitada por aproximadamente 10,000 habitantes, la mayor parte de ellos concentrados en la Colonia Javier Rojo Gómez (Punta Allen) y en Punta Herrero, adicionalmente existe un campamento en el Rancho María Elena que es ocupado estacionalmente por pescadores que residen en Cozumel (SEMARNAP-INE, 2000, CONANP, 2007; Brenner y Vargas del Río, 2010). La propiedad de la tierra es preponderantemente Nacional, siendo solamente un 2.66% de la superficie terrestre correspondiente a las pequeñas propiedades (Bezaury *et al.*, 1996a). Sin embargo, la totalidad de los pobladores y los terrenos de propiedad particular se encuentran ubicados sobre la franja

costera, que no es solamente una de las zonas más delicadas de la Reserva desde el punto de vista ambiental, sino también aquella que tiene el mayor potencial para el desarrollo de las actividades turísticas (SEMARNAP-INE, 2000; CONANP, 2007).

La Reserva de Sian Ka'an se encuentra entre los paralelos (UTM, WGS-84) 440000 N; 2120000 W (Figura 1), limita al oriente con el mar Caribe, donde presenta un frente de playa y duna frontal lineal de aproximadamente 200 Km de franja arenosa entre 100 a 200 m de ancho, separada del continente por un área de manglar protegida del oleaje y lagunas salobres. Al suroeste sus linderos son el límite de las marismas con las selvas sub-perennifolias y al sur la línea divisoria de los municipios de Felipe Carrillo Puerto y Othón P. Blanco. Al norte y noroeste los límites son políticos, marcados por los linderos de los ejidos Pino Suárez y Chunyaxche. La descripción exacta de las poligonales de la reserva se encuentra en el decreto del 20 de Enero de 1986, publicado en el Diario Oficial de la Federación (INE, 1996). El presente estudio se desarrolló en la sección Norte y Sur de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an (SEMARNAP-INE, 2000).

Por otro lado según por Bezaury y Arellano, (en prensa); Gutiérrez *et al.*, (1993) y Núñez-Lara y Arias-González (1998), en el área de estudio se presenta un arrecife de tipo bordeante, abarcando 110 km, de desarrollo variable, con zonaciones típicas de la región caribeña, a saber: laguna arrecifal, cresta de arrecife y arrecife frontal. El canal o laguna arrecifal, presenta profundidades que van desde 6 a 8 m

y una amplitud de hasta 1 km, siendo variable a lo largo de su litoral. Así mismo, la laguna arrecifal en algunas secciones del litoral costero de la Reserva no existe o bien, no se encuentra claramente definida; de igual forma, Bozec *et al.*, (2008) y Nuñez-Lara *et al.*, (2011), señalan que el sistema arrecifal es semi-continuo y paralelo a la costa, iniciando en Punta Nizuc, al Norte de Quintana Roo, conectándose al sur con el arrecife de Belice, presentando en general buen desarrollo.

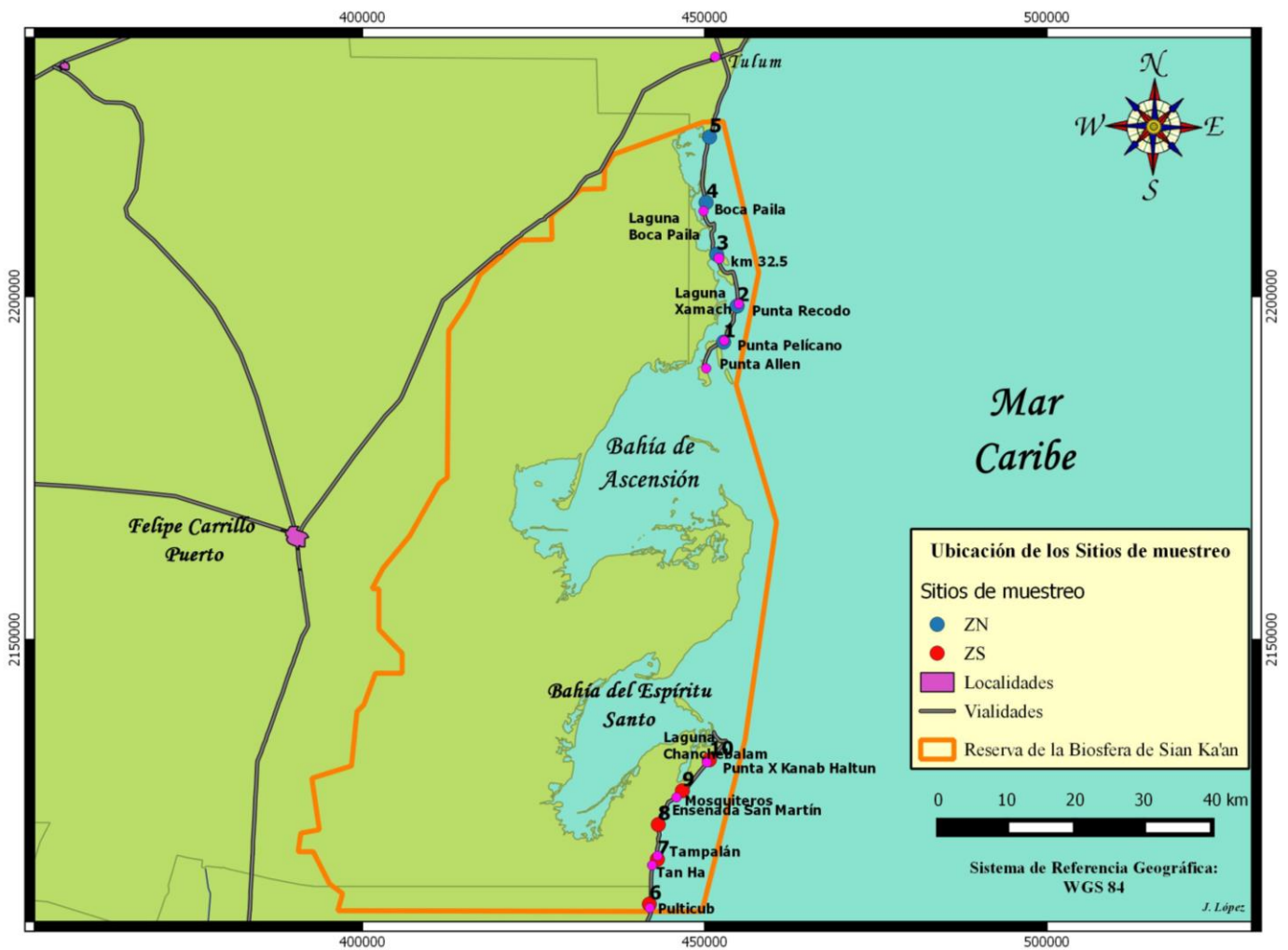


Figura 1. Área de estudio, en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an (En coordenadas UTM WGS-84 16N). Los números indican los diez sitios de muestreo considerados.

6.2. Zona Norte.

En este estudio la Zona Norte fue considerada desde la entrada a la Reserva hasta Punta Allen, abarcando la Bahía de la Ascensión, con su único asentamiento: Vigía chico (Figura 1). En esta zona existe un acelerado establecimiento de desarrollos turísticos de “bajo impacto”, además de presentar áreas con actividades y características propias (Dachary-Arnaiz-Burne, 1989, Brenner-Vargas del Río, 2010; López-Hernández, 2013).

6.3. Zona Sur.

La Zona Sur abarca desde el límite Sur de la Reserva hasta Punta Herrero (Figura 1). La situación de tenencia en la zona sur de la Reserva es evidente, como consecuencia del acelerado proceso de urbanización que ha provocado la privatización de la tierra en lotes, así mismo, los cambios de propiedad, se dan por causas muy diferentes (Dachary-Arnaiz-Burne, 1989, Brenner-Vargas del Río, 2010; López-Hernández, 2013).

6.4. Diseño de muestreo.

El muestreo es la herramienta que consiste en utilizar sitios denominados unidades de muestreo, éstos deben ser representativos de la comunidad objeto de estudio sobre la cual se realiza la toma de datos necesaria para dar respuesta a los objetivos planteados, el número, el tamaño y la distribución de estas unidades

están en función de la precisión requerida, el tiempo disponible y la heterogeneidad u homogeneidad de las comunidades a estudiarse (Carillo, 2008).

En una vista satelital con la ayuda de una capa (Shape) que delimita el polígono de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka ´an, proyectada a través de Google Earth, se observó que las zonas de estudio (Norte y Sur), se encuentran divididas por un camino costero que corre a lo largo en ambas zonas, siendo esto determinante para el establecimiento de los sitios de muestreo (Figura 1), ya que la ubicación de los mismos, en el área de estudio fue en virtud de la variada amplitud que presenta su litoral costero, ubicándose a partir del límite inmediato del camino costero en aquellas zonas donde la costa presentó aproximadamente 90 m de amplitud, dejando una franja de aproximadamente 10 m a 20 m, evitando el efecto borde. La disposición de los sitios fue de forma lineal y perpendiculares a lo largo de la línea de costa, con una distancia variable entre ellos (aprox.10 km), abarcando duna frontal, cresta de duna, y duna posterior (Figura 2), cubriendo el gradiente de sucesión ecológica en el espacio (Moreno-Casasola y Espejel, 1986; Holmes, 2001; Moreno-Casasola, 2004; Martínez, 2008; Gracia-Prieto, 2009).

La obtención de los datos biológicos se realizó a través de un muestreo sistemático-preferencial (Matteucci y Colma, 1982; Stohlgren *et al.*, 1995; Mostacedo y Fredericksen, 2000). Se muestrearon tres estratos de la vegetación: arbóreo, arbustivo y herbáceo en ambas zonas. En los sitios de muestreo las especies se registraron por su ubicación en la duna de costa, considerando el tipo

de forma de vida definidas por Moreno (1984): Árboles: plantas perennes con tallos lignificados que ramifican por encima de la base, generalmente de más de 3 metros de altura. Arbustos: plantas perennes, con tallo lignificado que ramifica a partir de la base, generalmente de menos de 3 metros de altura. Hierbas: plantas con tallos blandos con órganos que funcionan para asirse a otras plantas, como zarcillos y gramínoideas (gramíneas y ciperáceas). De acuerdo a lo anterior, se registró un conteo directo de los individuos que presentaron una altura \geq a 3 m dentro del estrato arbóreo y aquella vegetación con alturas $<$ a 3 m dentro del estrato arbustivo. En lo que se refiere al estrato herbáceo, los individuos se registraron por la cobertura que presenta su forma de vida como rastreras, enredaderas y bejucos, además de obtener el conteo directo de los mismos.

En cada sitio de muestreo determinado se estableció un cuadrante de 10 x 30 m (300 m²) para el censo del estrato arbóreo y arbustivo, así como posibles individuos existentes de regeneración de dichos estratos, iniciando de la duna frontal hacia tierra dentro. Se colocaron, dentro de este gran cuadrante, tres cuadrantes anidados de 1 X 1 m (1 m²), para el registro del estrato herbáceo (Figura 3), ubicadas al azar en las tres zonas de la duna costera establecidas de acuerdo a la bibliografía consultada, a saber: duna frontal, cresta de duna y duna posterior (Moreno-Casasola y Espejel, 1986; Molina *et al.*, 1998; Holmes, 2001; Tsoar, 2001; Hesp, 2002; 2004; Moreno-Casasola, 2006; Martínez, 2009; SEMARNAT, 2013).

Como se mencionó anteriormente, para el estrato herbáceo se estimó la cobertura, mediante el método de cuadrantes de 1 m². Se colocó un cuadrante (1 m²) sobre la vegetación herbácea, el cual a cada diez centímetros del marco está dividido por hilos formando la apariencia de una malla interna, para de esta forma establecer un total de 100 cuadros pequeños de 10 x 10 cm² que representan el 100 % de cobertura del cuadrante (Matteucci y Colma 1982; Mostacedo y Fredericksen, 2000; Montani y Busso, 2004).

Para la identificación de la flora se contó con guías ilustradas y listados florísticos de la Etnoflora Yucatanense (Chan-Vermont *et al.*, 2002; Arellano-Rodríguez *et al.*, 2003; MacKinnon, 2005), así como documentos digitales a través de páginas web para su foto-identificación (CONABIO; UNIBIO.UNAM; CICY; TopTropicals y trópicos).

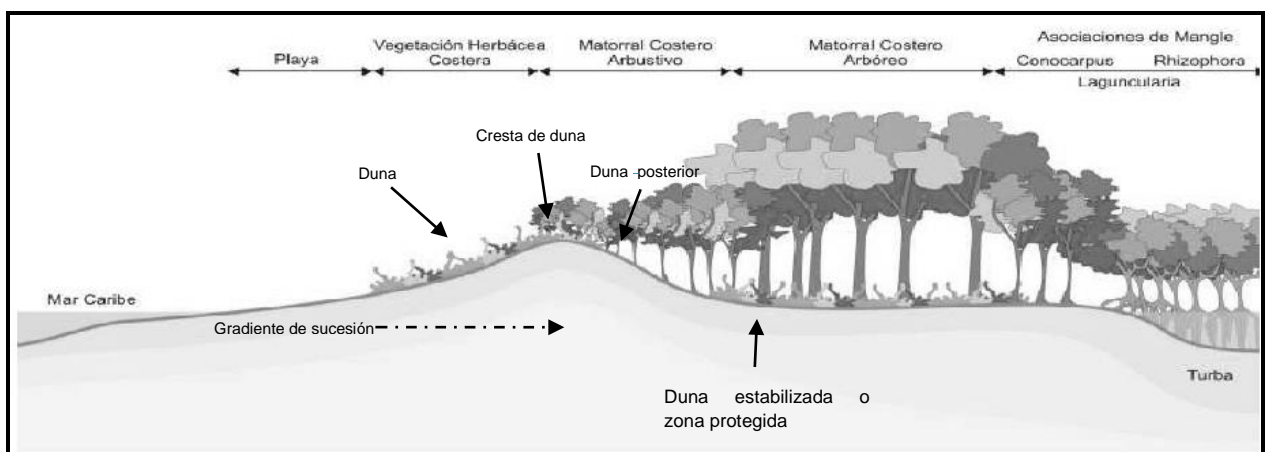


Figura 2. Zonación de la vegetación de duna costera (modificado de SEMARNAT, 2006).

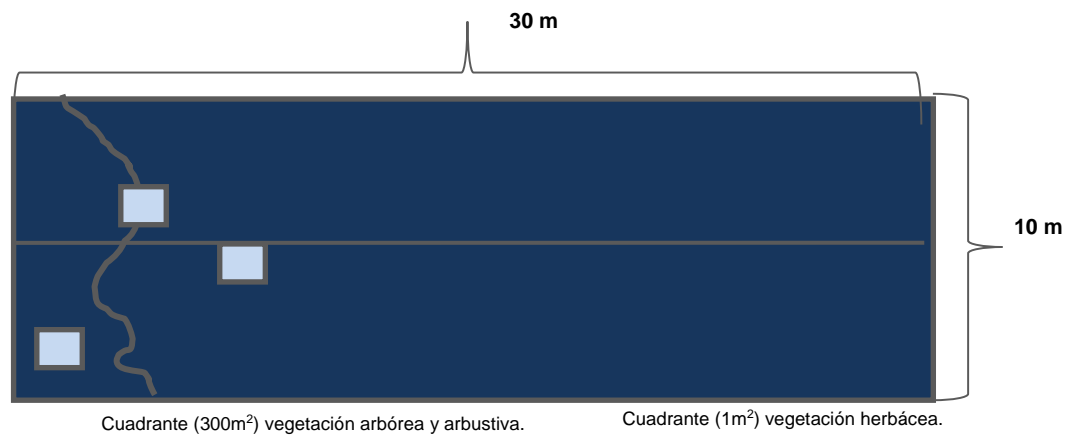


Figura 3. Representación esquemática de los cuadrantes anidados y sus dimensiones.

Los muestreos se llevaron a cabo del 30 de noviembre al 01 de diciembre de 2013 en la zona Norte y el día 04 de enero de 2014 en la zona Sur, coincidiendo con la temporada de “Nortes” que ocurre a partir de Noviembre hasta Febrero (Molina *et al.*, 1998; Botello *et al.*, 2010), cada sitio de muestreo fue marcado a través de un Geoposicionador Satelital (GPS) Garmin. En cada sitio de muestreo, se registró lo siguiente:

- Nombre del censador.
- Ubicación geográfica
- Número de sitio
- Nombre común.
- Nombre de la especie.
- Altura total de la vegetación (Clinómetro Suunto).
- Abundancia.
- Frecuencia.

- Cobertura (%).
- Temporada (nortes).
- Medición física de zonas de la duna (duna frontal, cresta de duna y duna posterior) y pendiente (%; suunto).
- Observaciones de campo.

Una vez registradas las especies en el campo, se determinó si alguna de ellas se encontraba en alguna categoría de riesgo, de acuerdo a la legislación ambiental existente (NOM-059-SEMARNAT-2010), esto debido al alto endemismo que presentan este tipo de ecosistemas (Moreno-Casasola *et al.*, 1998). Las categorías que se considerarán son:

- Sujeta a protección especial (Pr).
- Probablemente extinta en el medio silvestre (E).
- En peligro de extinción (P).
- Amenazada (A).

El registro de los datos en ambos tipos de cuadrantes se inició de este a oeste, abarcando las diferentes zonas que presenta este tipo de ecosistemas (duna frontal, cresta de duna y duna posterior), determinando así el gradiente de vegetación, partiendo siempre de la duna frontal hacia tierra adentro hasta el límite del cuadrante, teniendo siempre el cuidado de evitar el efecto borde del camino costero. En el levantamiento de los datos una vez geo-posicionado el sitio, se estableció primero, a través de estacas y cinta métrica la delimitación del

cuadrante de 10 x 30 m (300 m²), posteriormente se lanzaron las cuadrillas de 1 x 1 m (1m²), para el registro del estrato herbáceo en cada zona de la duna (figura 3).

La vegetación a registrar en el cuadrante de 1 m² para el estrato herbáceo es la más frágil y puede verse afectada por el pisoteo al estar levantando los datos correspondientes al estrato arbóreo-arbustivo, por lo tanto, la toma de datos se realizó primero en estos cuadrantes. Una vez terminado el registro del estrato herbáceo (cobertura y abundancia), se inició el conteo e identificación directa del estrato arbóreo y arbustivo para su caracterización, marcando los individuos para evitar confusiones y error en el muestreo. Además de las plantas del estrato arbóreo y arbustivo se consideró a todas aquellas plantas atípicas como los lirios de costa; de los cuales se registraron algunos datos, según el género y la especie clasificándolas como rara, escasa o abundante.

Así mismo, para cada sitio de muestreo se registró la distancia que existe a partir de la duna frontal de cada cuadrante (300 m²) hacia la pleamar de acuerdo a la geo-morfología de la duna con respecto a cada sitio. Con la ayuda del equipo de trabajo y cinta métrica, se determinó la amplitud que presentó cada zona de duna (duna frontal, cresta de duna y duna posterior), las cuales presentaron amplitudes variables en cada sitio de estudio. Una vez en campo se tomó de forma directa la pendiente de inclinación (%), que presentó la duna en cada sitio muestreado, por medio de un clinómetro Suunto.

6.5. Análisis de la vegetación.

Debido a la poca abundancia de individuos del estrato arbóreo en los sitios de muestreo, se optó por unificar la matriz del presente estrato con la matriz generada para el estrato arbustivo de cada zona (arbóreo-arbustivo). A fin de determinar si el muestreo realizado en el área de estudio fue representativo, se construyeron las curvas de acumulación de especies con la datos de abundancia (n) de las especies registradas de cada sitio de muestreo de las zonas de estudio a través del programa estadístico Estimates Ver.9.1.0., con una aleatorización de los datos de 100 veces sin remplazo de los mismos (González–Oreja *et al.*, 2010). Lo anterior, se realizó con la finalidad de comparar la riqueza de especies observada con la riqueza esperada (promedio) mediante indicadores de riqueza no paramétricos de abundancia e incidencia de Jackknife 1, Chao's (1 y 2) y Bootstrap (Moreno, 2001; Jiménez-Valverde y Hortal, 2003; Escalante –Espinosa, 2003; Colwell *et al.*, 2004; Chao *et al.*, 2005; López-Gómez y Williams-Linera, 2006, Neo *et al.*, 2013); los valores obtenidos fueron exportados al programa SigmaPlot Ver.10.0, para la elaboración de las gráficas correspondientes de acumulación de especies. Por último, a través del programa estadístico RStudio, versión 0.98.50 (2009-2013), se estimó la prueba de bondad de ajuste de Ji-cuadrada de Pearson a fin de validar con un 95 % de confiabilidad ($p > 0.05$) que el muestreo realizado para el sistema de duna costera de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an para cada zona de estudio (Zona Norte y Zona Sur) fue representativo.

Para los subsecuentes análisis, se empleó la abundancia (arbóreo, arbustivo y herbáceas), y cobertura (herbáceo) relativa de los organismos muestreados de cada especie registrada, elaborando un total de tres matrices de los sitios de estudio para ambas zonas: a) una matriz para todos los individuos de las especies registradas en cada uno de los estratos reportados empleando solo datos de abundancia relativa (arbóreo, arbustivo, herbáceo, regeneración, rara y/o abundante); b) una matriz en donde se unifican los datos de abundancia relativa de individuos de especies pertenecientes al estrato arbóreo-arbustivo (Espejel, 1986), esto para lograr obtener información representativa de dichos estratos, debido a la mínima presencia de individuos por especies del estrato arbóreo en cada sitio de muestreo; y c) una matriz de cobertura relativa para individuos de especies pertenecientes al estrato herbáceo.

Posteriormente, con la matrices generadas se procedió a determinar el arreglo espacial de la vegetación de duna costera a través del índice de similitud de Bray-Curtis (Clarke y Warwick, 2001) a través de la transformación de los datos mediante Logaritmo ($x + 1$), seguidamente, con el coeficiente de similitud, se empleó la técnica de agrupamiento para detectar patrones similares a través, del Dendograma de similitud (Clarke y Warwick, 2001), ayudando a encontrar la mejor estructura posible de los datos (Van Tongeren, 1995). Dichos métodos se aplican simultáneamente, debido a que ofrecen información complementaria para su

análisis (Warwick *et al.*, 1998). Así mismo, a fin de identificar a las especies que se discriminan entre el arreglo espacial, se aplicó el análisis del porcentaje de similitud SIMPER (Clarke y Warwick, 2001). El procedimiento SIMPER examina la contribución de cada especie al promedio de similitud de Bray-Curtis; todas las técnicas multivariadas se realizaron a través del programa computacional PRIMER Ver. 6.1.6 (Plymouth Laboratory; Clarke y Gorley, 2006).

Una vez detectada la zonación espacial se determinó la diversidad ecológica de la flora registrada (arbóreo-arbustivo y herbáceo), a través del cálculo de diversidad de Shannon-Wiener (H'), logaritmo base 10 (decits/ind), y de la equidad de Pielou (J') (PRIMER ver. 6.1.6.). Para determinar si hay diferencias significativas entre los sitios de estudio con respecto a los valores de diversidad, se realizaron comparaciones pareadas por medio del método t de Hutchenson (Hutchenson, 1970, Zar, 1996), con un nivel de confianza de 95%, planteando las hipótesis siguientes:

H0: Los sitios presentan valores de diversidad que no difieren significativamente.

H1: Los sitios presentan valores de diversidad que si difieren significativamente.

Con las tres matrices, se llevó a cabo un análisis de componentes principales (ACP), para determinar si la ordenación de los diferentes estratos de la vegetación de duna costera, está relacionada con las variables ambientales que componen el gradiente físico propuesto (duna frontal, duna posterior, cresta de duna, distancia

a pleamar y pendiente, esto a través del programa estadístico CANOCO Ver. 4.5., para Windows (Lepš y Šmilauer, 2003) en donde la correlación de los valores propios (eigenvalues), alcanzan valores entre 0 y ± 1 , siendo la mejor correlación, los valores cercanos a ± 1 .

7. Resultados.

7.1. Composición y abundancia de la vegetación de duna costera de la Zona Norte y Zona Sur de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.

En el levantamiento realizado, se reportó un total de 35 especies de flora de duna costera, distribuidas en 23 familias en los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo (Tabla 1 y Figura 4). Cabe señalar que 3 especies no lograron ser identificadas y por lo tanto, se consideraron como morfo-especies, las cuales se anexan en el listado florístico. Dichas morfo-especies pertenecen al estrato herbáceo y fueron ubicadas en la Cresta de Duna (CD). Así mismo, la vegetación de duna costera por su forma de vida, a partir de la duna frontal hacia la duna posterior, el estrato arbustivo, presentó una altura de 0.30 m hasta 2.9 m, por otro lado, la vegetación del estrato arbóreo, partiendo de la cresta de duna hacia la duna posterior, exhibió una altura desde 3 m hasta aproximadamente 10 m, siendo muy variable en cada sitio de muestreo de la Zona Norte y Zona Sur, aunque dicha característica es más evidente en la Zona Norte, ya que en la Zona Sur el estrato arbóreo fue escaso.

Tabla 1. Listado florístico de la vegetación de duna costera de la Zona Norte y Zona Sur de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an.

No.	Familia	Especie	Nombre común	Estrato	Forma de vida	Usos:	Ubicación en las zonas de la duna, (DF, CD y DP)**	Zonas de estudio
1	Euphorbiaceae	<i>Gymnanthes lucida</i> (Swartz.)	Yaiti, Tsilil	arbóreo	árbol o arbusto de selva mediana caducifolia	Maderable y forrajera para ganado.	DP	ZN

No.	Familia	Especie	Nombre común	Estrato	Forma de vida	Usos:	Ubicación en las zonas de la duna, (DF, CD y DP)**	Zonas de estudio
		<i>Euphorbia blodgettii</i> (Engelm.) ex Hitchc.	Xana mukuy	herbáceo	Planta herbácea	Medicinal, su látex es utilizado para tratar verrugas y Melífera (néctar y polen).	DF, CD y DP	ZN y ZS
		<i>Euphorbia mesembrianthemifolia</i> (Jacq.) <i>Dugand</i> . Sinónimos: <i>Euphorbia buxifolia</i> Lam.	Siis ja', Sak iits	herbáceo	Planta herbácea de duna costera, de selva baja caducifolia y de vegetación secundaria	Medicinal, su látex es utilizado para tratar verrugas y Melífera (néctar y polen).		
2	Burseraceae	<i>Bursera simaruba</i> (L.)Sarg	Chaka', Palo mulato, Cocohuite	arbóreo	árbol típico de selvas bajas, medianas, altas caducifolias y sub-caducifolias	Multiusos como: en rituales, melífera, artesanías, aromático, insecticida, cercas vivas, forrajera, en medicina para tratar: amigdalitis, asma, antiinflamatorio, antipirético, dolor de cabeza, diarrea, purgante, sarampión, salpullido, cicatrizante, etc.	DP	ZN
3	Leguminosae (Fabaceae)	<i>Pithecellobium keyense</i> (Britton ex. Coker)	Tsiw ché, Ya'ax k'aax	arbustivo	Planta arbórea o arbustiva de selvas bajas en los litorales de duna costera y como vegetación secundaria	Para cercas vivas	CD y DP	ZN
		<i>Caesalpinia bonduc</i> (L.) Roxb.	Taray o Xtaray	arbustivo, regeneración	Arbusto escandente con matorral de duna costera	En artesanías, la semilla se emplea para la elaboración de collares		

No.	Familia	Especie	Nombre común	Estrato	Forma de vida	Usos:	Ubicación en las zonas de la duna, (DF, CD y DP)**	Zonas de estudio
		<i>Canavalia rosea</i> (Swartz) DC.	Frijol de playa o Haba de mar	herbáceo	Planta herbácea rastrera de duna costera	Planta forrajera para porcinos	DF, CD y DP	ZS
4	Anacardiaceae	<i>Metopium brownei</i> (Jacq.) Urban	Chechem, Chechem negro	arbustivo, arbóreo y herbáceo	Planta arbórea de selva baja caducifolia, mediana sub-caducifolia y sub-perennifolia y matorral de duna.	Medicinal como antiinflamatorio para tratar dolor de cabeza, erisipela, reumatismo, la viruela, purgante, sedante, etc.	DP	ZN
5	Chrysobalanaceae	<i>Chrysobalanus icaco</i> L.	Icaco o Ikilche	arbustivo	arbusto de matorral de duna costera	Fruto comestible, para leña, melífera (néctar) y ornamental, cultivada en huertos.	DP	ZN
6	Goodeniaceae	<i>Scaevola plumieri</i> (L.) Vahl.	Chunup	arbustivo y herbáceo	Planta arbustiva o herbácea halófito (duna costera y manglar)	Ornamental, melífera y fruto comestible	CD y DF	ZN
7	Cyperaceae	<i>Fimbristylis cymosa</i> R. Br.	Zacate del manglar, Ki'ch'em, Suuk	herbáceo	Planta herbácea de dunas secas y húmedas	Para techar casas	DP	ZN
8	Amaranthaceae	<i>Alternanthera ramosissima</i> (Mart.) Chodat.	Sakmuul	herbáceo	planta herbácea de vegetación de duna costera	Medicinal el tallo y hojas para tratar el derrame de bilis, calenturas, erisipela, escorbuto, hemorroides, mal de ojo, abscesos tumores, etc. y melífera (néctar y polen).	CD y DP	ZN

No.	Familia	Especie	Nombre común	Estrato	Forma de vida	Usos:	Ubicación en las zonas de la duna, (DF, CD y DP)**	Zonas de estudio
9	Boraginaceae	<i>Tournefortia gnaphalodes</i> (L.) R. Br. Ex Roem. Y Schult	Sikmay, Tabaquillo	arbustivo	Planta arbustiva de duna costera	Melífera y ornamental	DF, CD Y DP	
		<i>Cordia sebestena</i> L.	Siricote blanco, Ciricote, Kopte´	arbustivo	árbol de duna costera	Afrodisiaco, frutos comestibles para elaborar mermeladas y conservas, para desarreglos estomacales, etc.	DP	ZN y ZS
10	Palmae (Arecaceae)	*** <i>Thrinax radiata</i> (Lodd. ex J.A. y J.H. Schutt)	Palma Chit, Ch`iit	arbóreo, arbustivo, herbáceo y regeneración	Palma costera	Para fabricar escobas, para techos y palapas y melífera (polen).		
		<i>Cocos nucifera</i> L.	Palma de Coco	regeneración, arbustivo y arbóreo	palma, nativa de las islas del pacifico	En medicina el agua del fruto es diurético, tumores, ornamental para techos, ritual, cercas vivas, fabricación de bebidas, dulces, etc.	CD Y DP	ZN y ZS
11	Simaroubaceae (Surianaceae)	<i>Suriana maritima</i> (L.)	Pats'il, Patzil, Pantsil	arbustivo	Plantan arbustiva de dunas de costa	medicinal como analgésico, para el flujo de sangre, epilepsia, erupción cutánea, úlceras, para picadura de insectos y peces, para tratar riñones (raíz), etc.	DF, CD Y DP	ZN y ZS
12	Solanaceae	<i>Solanum erianthum</i> (D. Don.)	Tukux, Ukuch, Putbalam, Lavaplato	arbustivo y herbáceo	Planta arbustiva o herbácea de vegetación secundaria	Medicinal y de forraje para ganado	CD Y DP	ZN y ZS

No.	Familia	Especie	Nombre común	Estrato	Forma de vida	Usos:	Ubicación en las zonas de la duna, (DF, CD y DP)**	Zonas de estudio
13	Polygonaceae	<i>Coccoloba uvifera</i> L.Jacq.	Uva de Mar	arbóreo, arbustivo y herbáceo	árbol o arbusto de duna costera	en medicina se considera astringente, emenagogo, retención de orina, para tratar diarrea crónica, disentería, enfermedades venéreas, melífera, etc.	CD y DP	ZN y ZS
14	Verbenaceae	<i>Lantana involucrata</i> (L.)	Orégano silvestre, Xikinhu	arbustivo	Arbusto de suelos arenosos de duna costera	Fruto comestible, medicinal para tratar salpullido, enfermedades filiales (sahumeriso) y las hojas para hacer té.	CD y DP	ZN y ZS
15	Amaryllidaceae	<i>Hymenocallis littoralis</i> (Jacq.) Salisb. (Sinónimo: <i>Hymenocallis</i> <i>americana</i> (Miller) M. Roemer)	Lirio de mar, Lirio blanco	Rara, abundante y herbáceo	Planta herbácea de vegetación de duna costera	Ornamental	CD (solo en cuadrantes) y DP	ZN y ZS
16	Aizoaceae	<i>Sesuvium portulacastrum</i> (L.)	Verdolaga de playa (español); Ts'a'aykann, Xukul	herbáceo	Planta herbácea rastrera de duna costera y manglar	Consumo de hojas crudas o cocidas	CD y DF	ZN y ZS
17	Compositae (Asteraceae)	<i>Ambrosia hispida</i> (Pursh)	Margarita de mar	herbáceo	Hierba semi- rastrera vegetación de duna costera	Melífera, en medicina para tratar fiebre, dolores por reumatismo y sudorífico.	DF, CD y DP	ZN y ZS
18	Convolvaceae	<i>Ipomoea imperati</i> (Vahl.) Griseb.	Desconocido	herbáceo	inflorescencia blanca, planta herbácea enredadera	Melífera (néctar y polen)	CD y DP	ZN y ZS

No.	Familia	Especie	Nombre común	Estrato	Forma de vida	Usos:	Ubicación en las zonas de la duna, (DF, CD y DP)**	Zonas de estudio
		<i>Ipomoea pes capre</i> (L.) Sweet.	Riñonina, Tu'uxikin	herbáceo	Planta herbácea, rastrera en dunas costeras	Medicinal, la infusión de hojas y tallos para deshacer cálculos renales, diurético, reumatismo, infección de los riñones (Andrews, 1979); mal en la orina (Del amo, 1979) y ornamental.	DF	ZS
19	Gramineae (Poaceae)	<i>Sporobolus virginicus</i> (L.) Kunth.	Suuk, Chibil-suk, Ch'ilibil su'uk	herbáceo	Planta herbácea estabilizadora de suelos de vegetación secundaria	Forrajera	CD y DF	ZN y ZS
		<i>Cenchrus incertus</i> (M. A. Curtis)	Zacate del erizo	herbáceo	planta herbácea de vegetación secundaria	Hojas y tallos para forraje de ganado	CD y DP	
20	Rubiaceae	<i>Ernodea littoralis</i> (Swartz)	Ernodea de playa	herbáceo	Planta rastrera de duna costera	Fruto como forraje para aves y ornamental.	CD y DP	ZN y ZS
21	Cruciferae (Brassicaceae)	<i>Cakile lanceolata</i> (Willd.) O. E. Schulz	Desconocido	herbáceo	Planta herbácea de duna costera	Melífera (néctar)	DF, CD y DP	ZN y ZS
22	Sapotaceae	<i>Pouteria campechiana</i> (H. B. y K) Baehni.	K'aniste', Kanisté, Sapotillo	arbustivo	Planta arbórea de selva sub-perennifolia, perennifolia y de duna costera	Maderable, fruto comestible, melífera y ornamental	DP	ZS
		<i>Bumelia obtusifolia</i> (Roem y Schult)	Mulché	arbustivo	árbol de vegetación secundaria	Para leña, melífera (néctar) y ornamental	CD y DP	
23	Poaceae	<i>Panicum amarum</i> Elliott.	Desconocido	herbáceo	Planta herbácea atrapa y estabiliza la arena	Forrajera	CD y DP	ZS
24	Morfo-especies	* SI-01 (ZN)	No	herbáceo				ZN

No.	Familia	Especie	Nombre común	Estrato	Forma de vida	Usos:	Ubicación en las zonas de la duna, (DF, CD y DP)**	Zonas de estudio
25	(sin identificar)	* SI-01 (ZS)	identificado	herbáceo	no identificado	no identificado	CD	ZS
26		* SI-02 (ZS)		herbáceo				ZS

* Morfo-especies por Zona no identificadas, organismos herbáceos empleados solo para el análisis de la información en este trabajo.

** DF: Duna Frontal; CD: Cresta de Duna y DP: Duna Posterior.

*** Amenazada, No endémica dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010.

El número máximo de especies registrado por familia es de 3, siendo las familias Leguminosae y Euphorbiaceae las más representativas y 16 familias se representan con solo una especie (Figura 4).

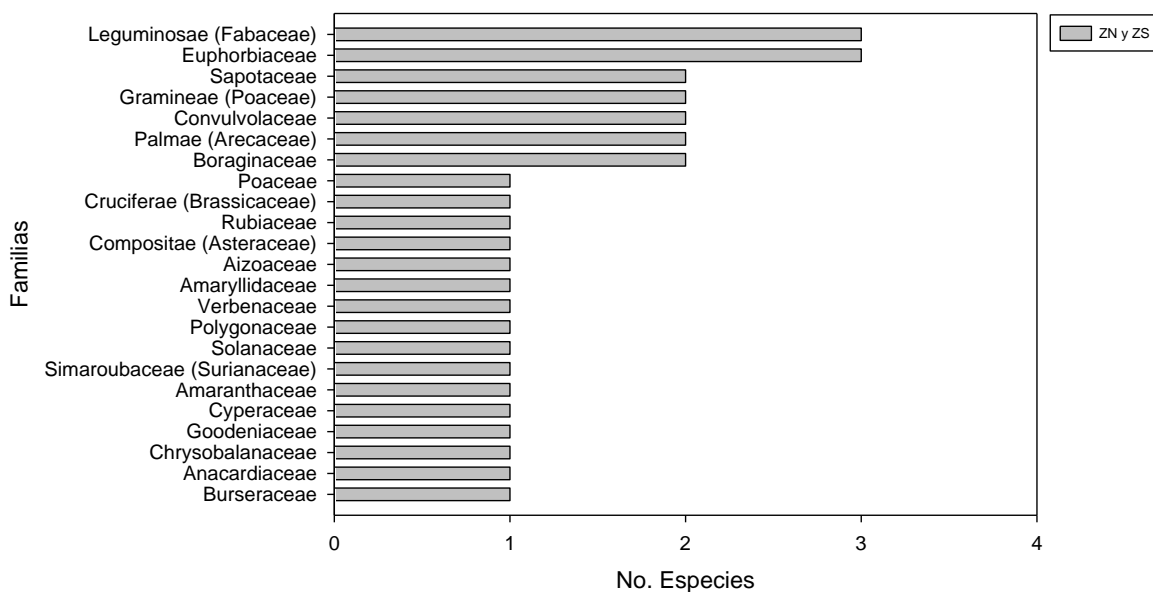


Figura 4. Número de especies por familia registrada en los sitios de muestreo del área de estudio de la Zona Norte y Sur de la Reserva de la Biosfera de Sian ka'an, Quintana Roo, México.

Por otra parte, de las 23 familias registradas al menos 15 (65.22%) se distribuyen, en ambas zonas (Zona Norte-Zona Sur), de las familias restantes se observó que 6 de ellas (*Burseraceae*, *Amaranthaceae*, *Cyperaceae*, *Goodeniaceae*,

Chrysobalanaceae y *Anacardiaceae*) se encuentran sólo en la Zona Norte y 2 (*Poaceae* y *Sapotaceae*) en la Zona Sur (Figura 5).

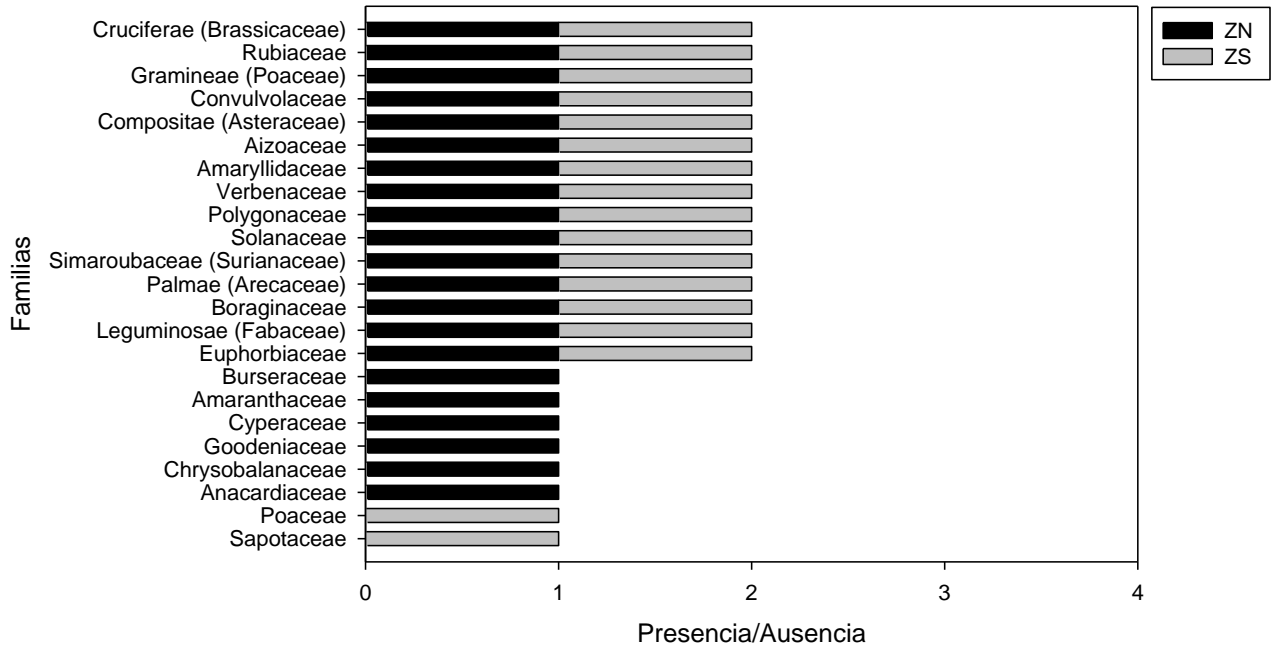


Figura 5. Distribución y presencia de familias por Zonas en el área de estudio de la reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México.

En lo que respecta a la abundancia de las 35 especies registradas en los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo, para la Zona Norte y Zona Sur, de manera general, se tiene un registro total de 2,151 ind y se observó que las especies más abundantes son *Tournefortia gnaphalodes*, *Thrinax radiata*, *Hymenocallis littoralis*, *Ambrosia hispida*, *Suriana marítima*, *Metopium brownei* y *Sporobolus virginicus* (Figura 6).

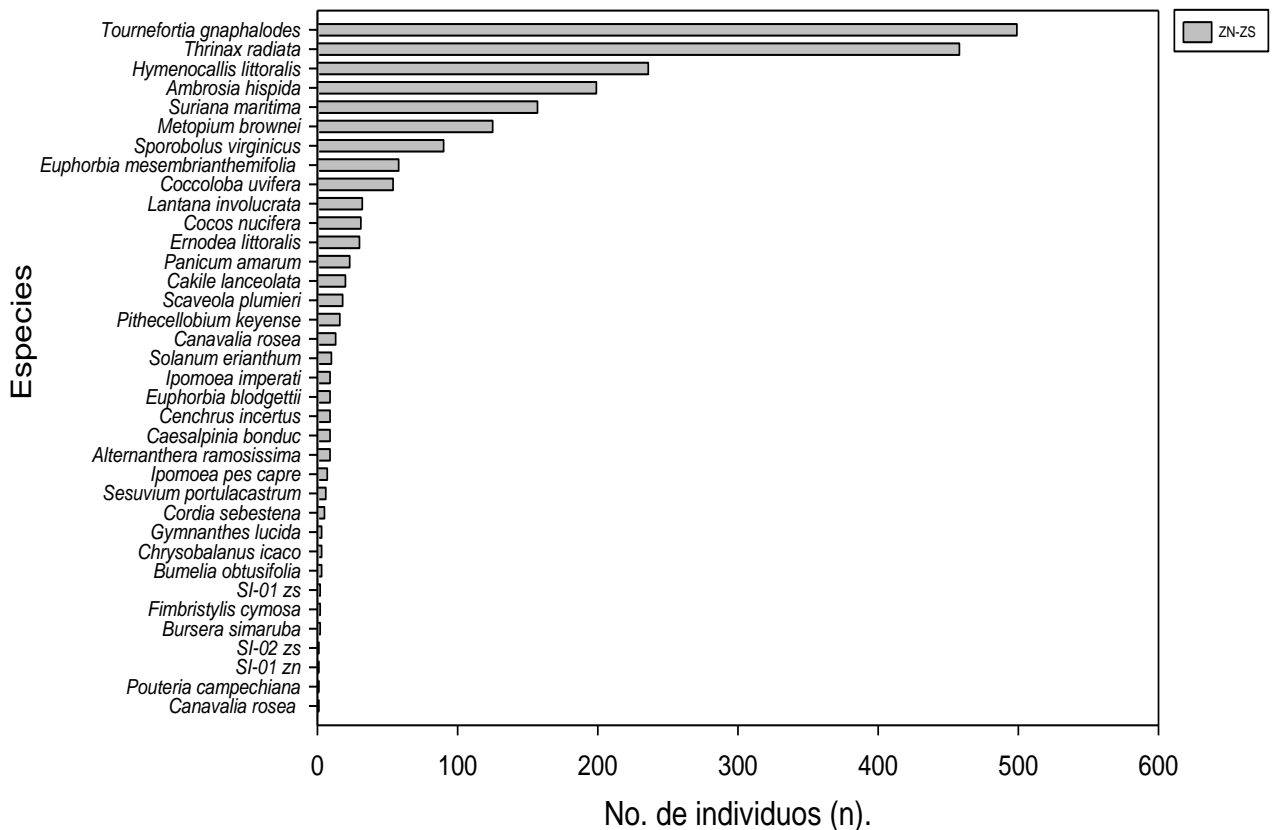


Figura 6. Abundancia por especie registrada en la vegetación de duna costera en ambas zonas de estudio de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.

Por zonas de muestreo (Zona Norte y Zona Sur) se detectó que la especie *Thrinax radiata* registro mayor abundancia (450 ind) en la Zona Norte y *Tournefortia gnaphalodes* presentó la mayor abundancia (293 ind), en la Zona Sur. Para la Zona Norte 9 especies fueron exclusivas (*Bursera simaruba*, *Fimbristylis cymosa*, *Chrysobalanus icaco*, *Gymnanthes lucida*, *Alternanthera ramosissima*, *Caesalpinia bonduc*, *Pithecellobium keyense*, *Scaveola plumieri* y *Metopium brownei*) y para la Zona Sur, 5 especies (*Bumelia obtusifolia*, *Canavalia rosea*, *Ipomoea pes capre*, *Panicum amarum* y *Pouteria campechiana*) (no se incluyen las morfo-especies) (Figura 7).

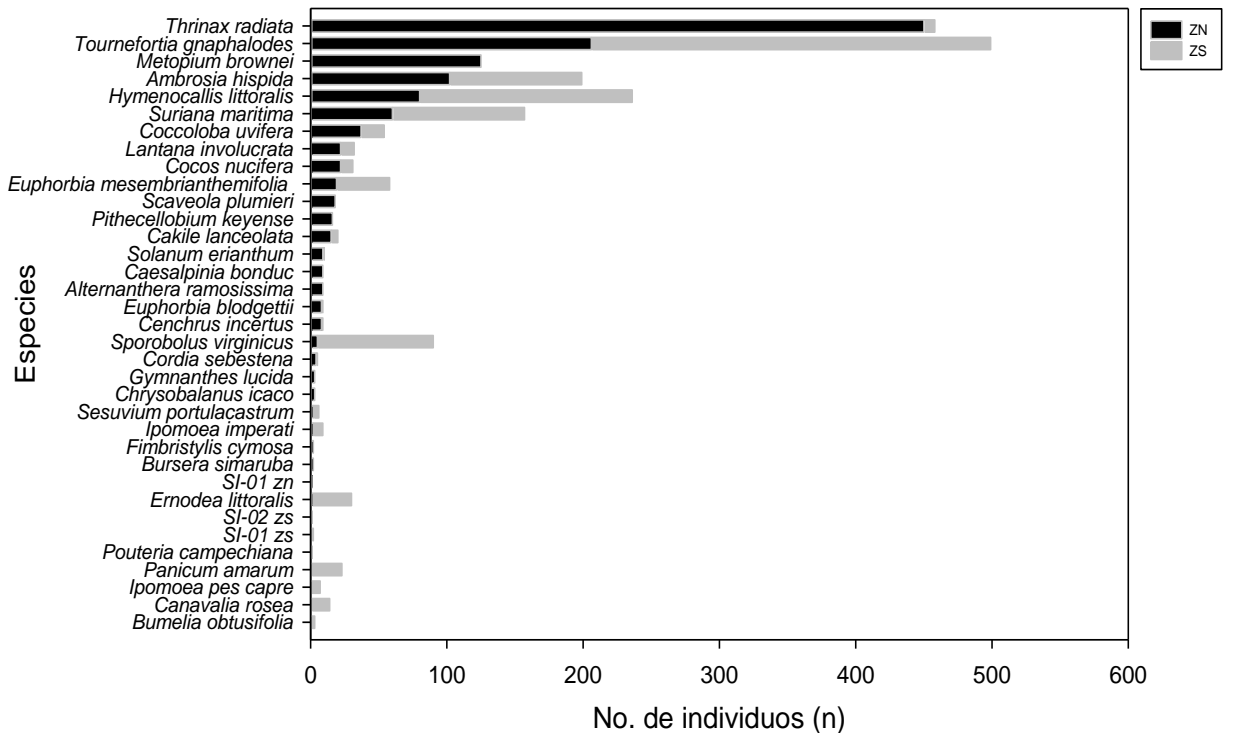


Figura 7. Abundancia por especie para cada zona (Norte y Sur) en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.

7.2. Composición y abundancia del estrato arbóreo para la Zona Norte y Zona Sur.

Se registró un total de 6 especies para el estrato arbóreo, con una abundancia total de 146 ind, para ambas zonas (norte y sur); encontrándose que la especie más abundante fue *Thrinax radiata*, siendo la más representativa en la Zona Norte con 117 ind, mientras que la única especie que se registró en dicho estrato para la Zona Sur fue *Cocos nucifera* con solo 3 ind, ambas especies se encontraron a partir de la cresta de duna hacia tierra dentro (duna posterior) (Figura 8; Tabla 1).

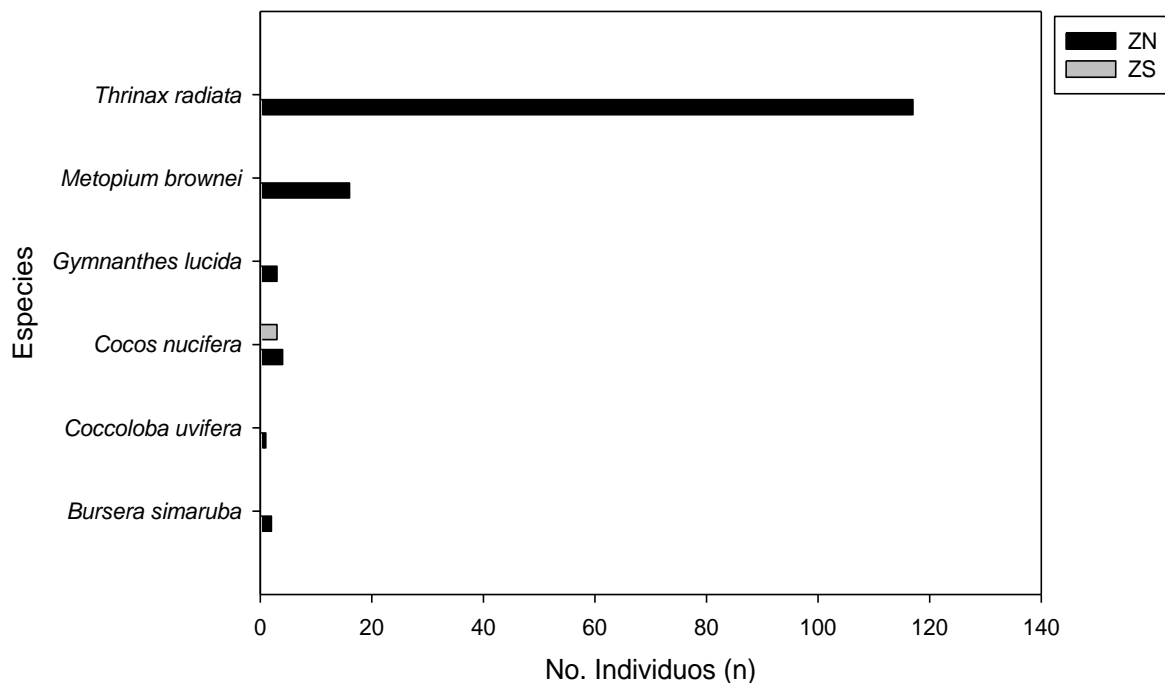


Figura 8. Abundancia por especie registrada del estrato arbóreo en el sistema de dunas de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.

7.3. Composición y abundancia del estrato arbustivo para la Zona Norte y Zona Sur.

Referente al estrato arbustivo se reportaron 15 especies con una abundancia total de 1, 036 individuos, de las cuales 8 especies (*Bumelia obtusifolia*, *Coccoloba uvifera*, *Cocos nucifera*, *Cordia sebestena*, *Metopium brownei*, *Pithecellobium keyense*, *Pouteria campechiana* y *Thrinax radiata*), pertenecen al estrato arbóreo en su estado adulto. Por otra parte, la especie *Thrinax radiata* con una abundancia total de 211 ind., fue la especie más dominante en la Zona Norte y la especie *Tournefortia gnaphalodes* fue la más dominante en la Zona Sur con una abundancia total de 292 ind., (Figura 9, Tabla 1).

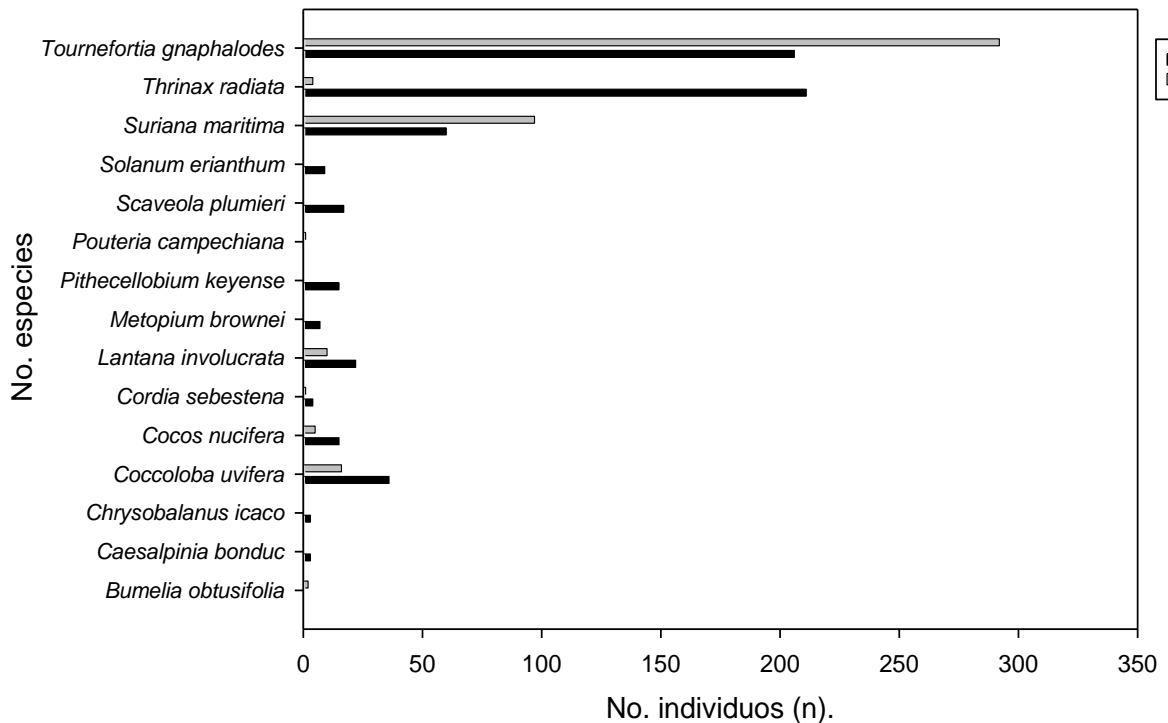


Figura 9. Abundancia por especie registrada del estrato arbustivo en el sistema de dunas de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.

7.4. Composición y cobertura del estrato herbáceo para la Zona Norte y Zona Sur.

En el estrato herbáceo se registraron 26 especies con una abundancia total de 614 ind., así mismo, para la Zona Norte, *Metopium brownei* y *Ambrosia hispida* son las especies más dominantes, ambas con una abundancia total de 102 ind., cabe resaltar que la especie *Ambrosia hispida* fue también dominante en la Zona Sur, con una abundancia total de 97 ind.

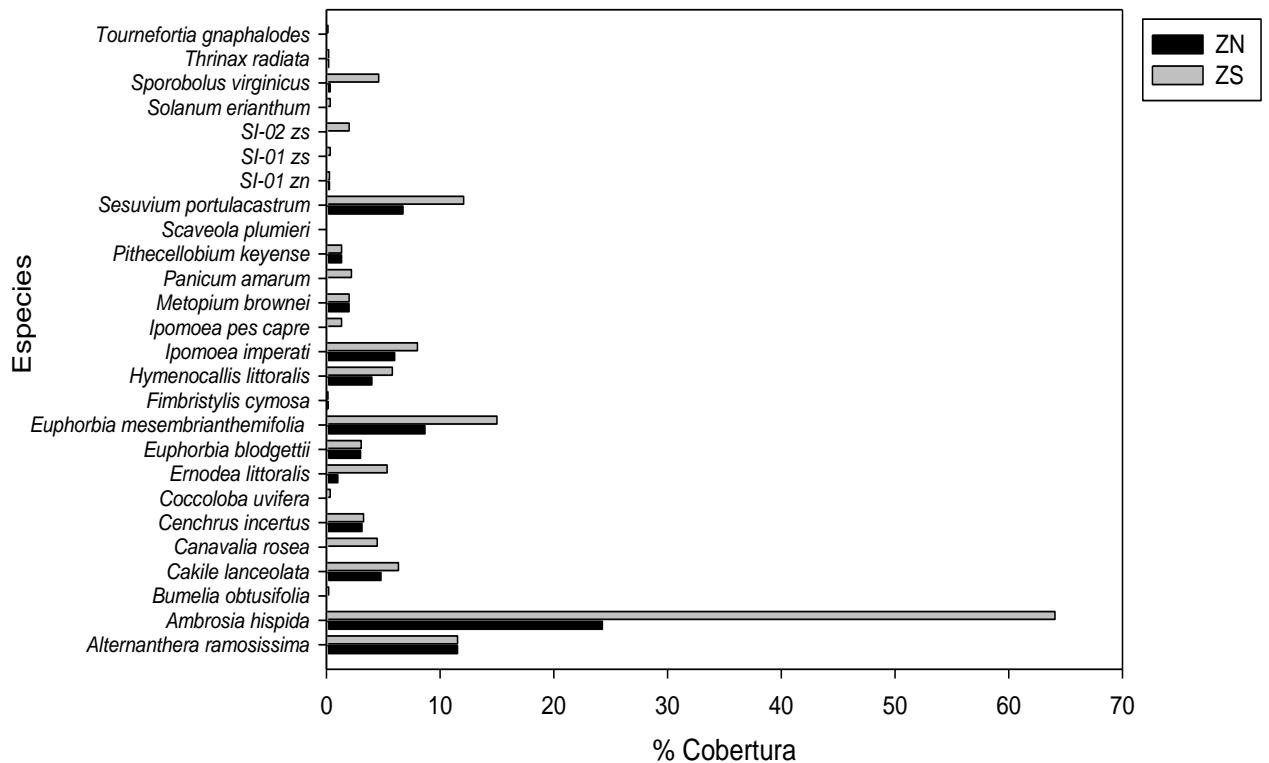


Figura 10. Porcentaje de cobertura total, de los individuos por especie registrada del estrato herbáceo, en el sistema de dunas de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.

De igual forma, en las zonas de muestreo (Zona Norte y Zona Sur), se detectó la presencia de individuos en estado regenerativo con un total de 133 plántulas, de las cuales 127 pertenecen a organismos propios del estrato arbóreo y 6 plántulas al estrato arbustivo, cabe señalar, que también se observó la presencia de lirio de mar (*Hymenocallis littoralis*), con una abundancia total de 222 ind. Por otro lado, se observó que la especie herbácea más dominante por su forma de vida, tanto en la Zona Norte (24.27%), como en la Zona Sur (64.07%), fue *Ambrosia hispida*, con una cobertura total de 88.33 %, presentándose en 7 sitios de los 10 muestreados, seguida en orden de importancia por *Euphorbia mesembrianthemifolia*, con un

porcentaje total de 23.67 % para ambas zonas (ZN:8.67% y ZS:15%), registrándose en al menos 5 sitios, dichas especies se ubicaron en las tres zonas de la duna costera (CD, DF y DP) (Figura 10; Tabla 1).

7.5. Distribución espacial de las especies más representativas de la vegetación de duna costera en la Zona Norte y Zona Sur.

De acuerdo al listado florístico de las especies registradas en el sistema de duna costera, en la figura 11 y 12 se presenta la distribución observada de dichas especies de acuerdo al perfil topográfico propuesto, exponiéndose la ubicación espacial de las especies más representativas de cada estrato registrado.

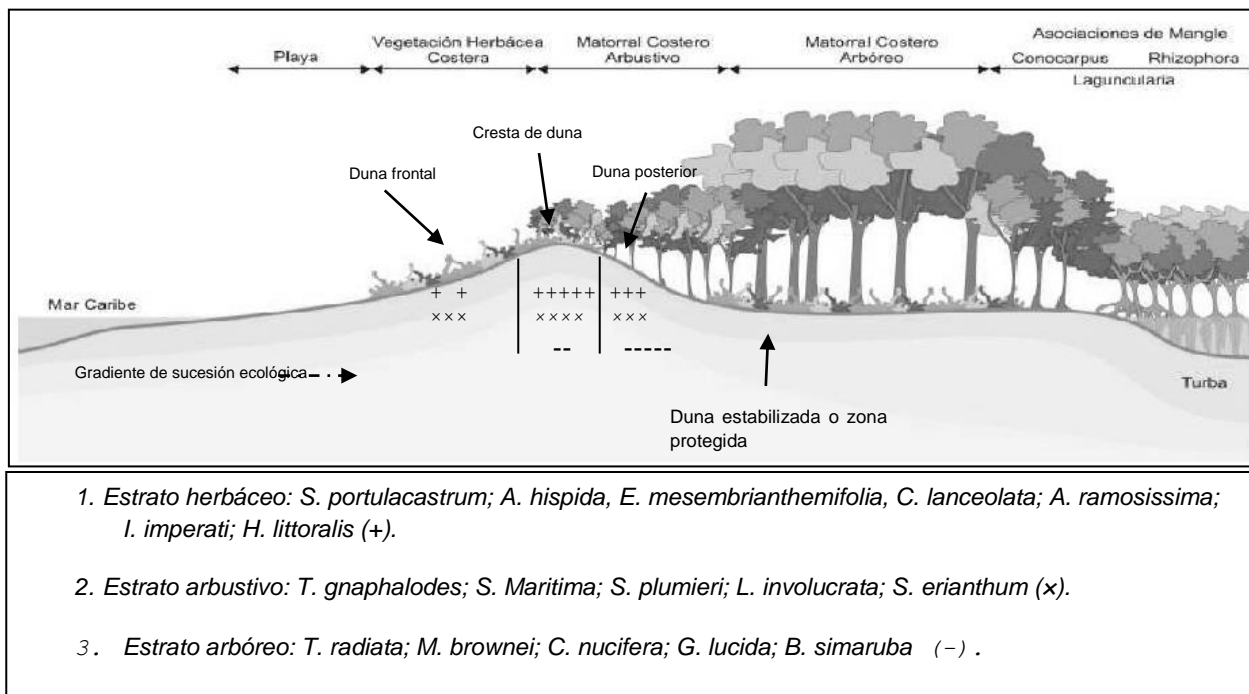


Figura 11. Distribución espacial de las especies más representativas, propias de cada estrato de la comunidad florística registrada en el sistema de duna frontal de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, para la Zona Norte, así como, las divisiones pre-establecidas según SEMARNAP/INE, (2000; Modificado para este estudio). Los símbolos (+); (x) y (-) denotan las especies de cada uno de los estratos registrados.

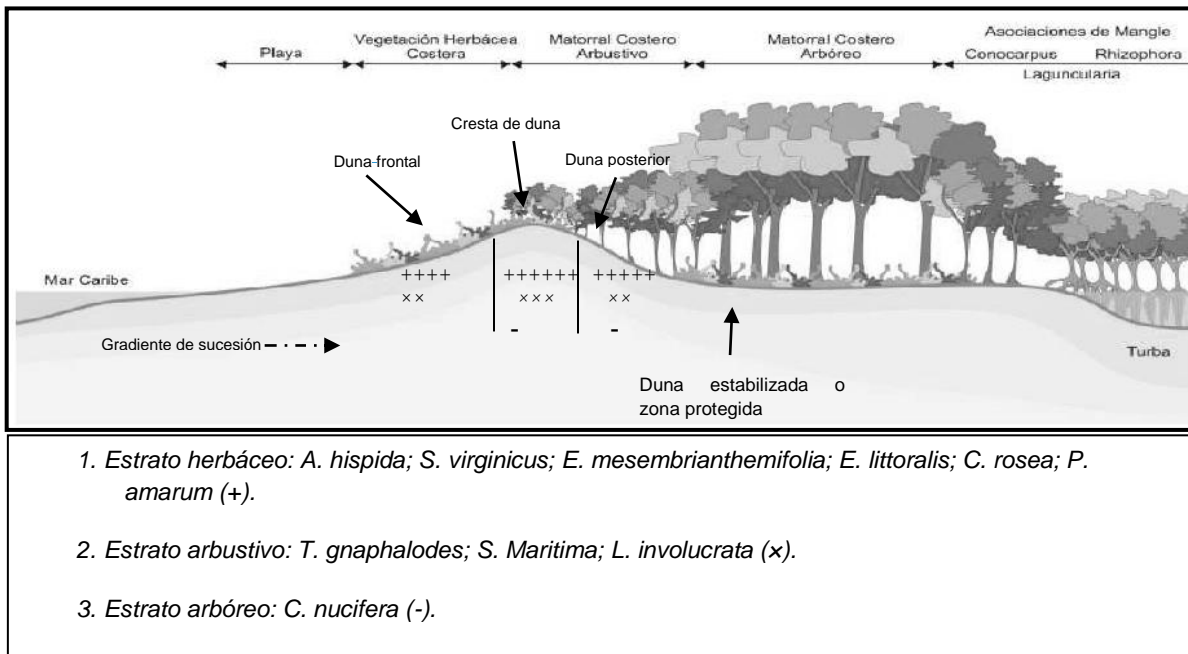


Figura 12. Distribución espacial de las especies más representativas propias de cada estrato de la comunidad florística registrada en el sistema de duna frontal de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, para la Zona Sur, así como, las divisiones pre-establecidas según SEMARNAP/INE, (2000; Modificado para este estudio). Los símbolos (+); (x) y (-) denotan las especies de cada uno de los estratos registrados.

De lo anterior, se destaca que la ubicación espacial de las especies registradas con respecto al perfil topográfico de la duna costera en la Zona Norte y Zona Sur del área de estudio, es concordante con lo señalado por Moreno Casasola y Espejel (1986) y Espejel (1986).

7.6. Curva de acumulación de especies.

Todos los estimadores de riqueza específica para el estrato arbóreo-arbustivo de la Zona Norte y Zona Sur se mostraron levemente diferentes de acuerdo a la curva de acumulación de especies estimada (S_{est} : 15 Zona Norte y 9 Zona Sur), si bien no se logra alcanzar una asíntota totalmente suavizada con el muestreo realizado

para ambas zonas (Figura 13), la prueba de Ji-cuadrada que realizó comparaciones pareadas entre la riqueza de especies estimada con la calculada a través de los estimadores de riqueza no paramétricos, demostró que el muestreo realizado para este tipo de vegetación fue representativo para el sistema de duna costera de la Zona Norte ($p_{>0.05} = 0.9995$) y Zona Sur ($p_{>0.05} = 0.9996$) con un 95% de confiabilidad.

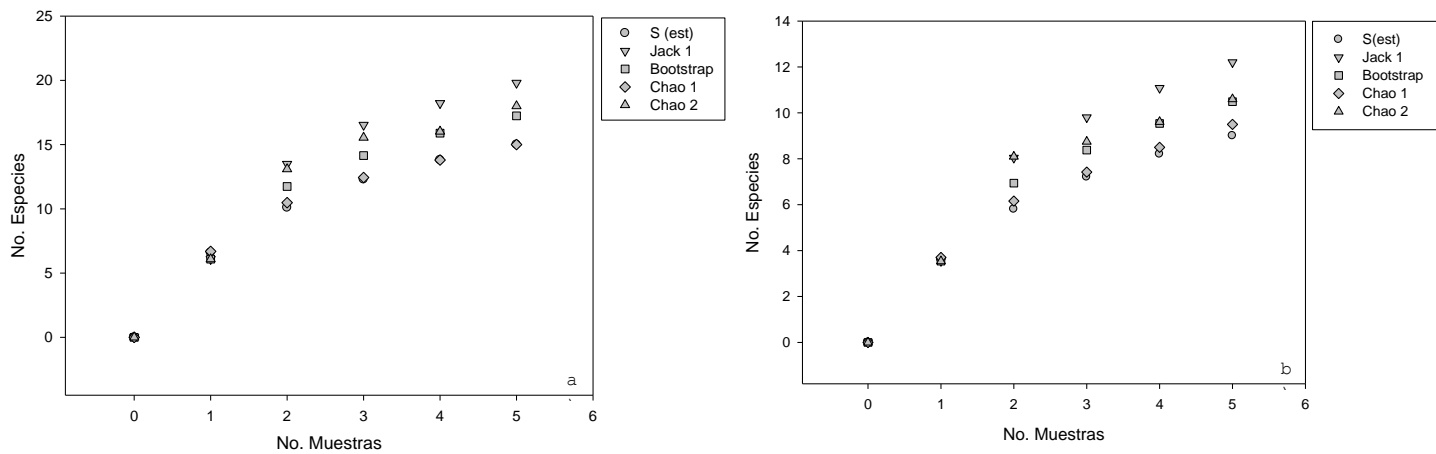


Figura 13. Curvas de acumulación de especies de la riqueza específica observada comparada con los estimadores de riqueza no paramétricos de Jack 1, Bootstrap, y Chao's (1 y 2 orden), (a). Estrato arbóreo y arbustivo de los sitios de muestreo de la Zona Norte; b). Estrato arbóreo y arbustivo de los sitios de muestreo de la Zona Sur.

Las curvas de acumulación de especies para el estrato herbáceo indicaron que las curvas de los estimadores no paramétricos (Figura 14), mostraron diferencias entre sí y con la curva de especies observadas para ambas zonas (Zona Norte y Zona Sur). En todos los casos se observó que la curva de especies observadas siempre se posiciona por debajo de los estimadores de riqueza (Figura 14, incisos: a) y b). No obstante, la prueba de Ji-cuadrado de Pearson, indicó que el muestreo

realizado para este tipo de vegetación fue representativo para el sistema de duna costera de la Zona Norte ($p_{>0.05} = 0.9998$) y Zona Sur ($p_{>0.05} = 0.9997$), con un 95% de confiabilidad.

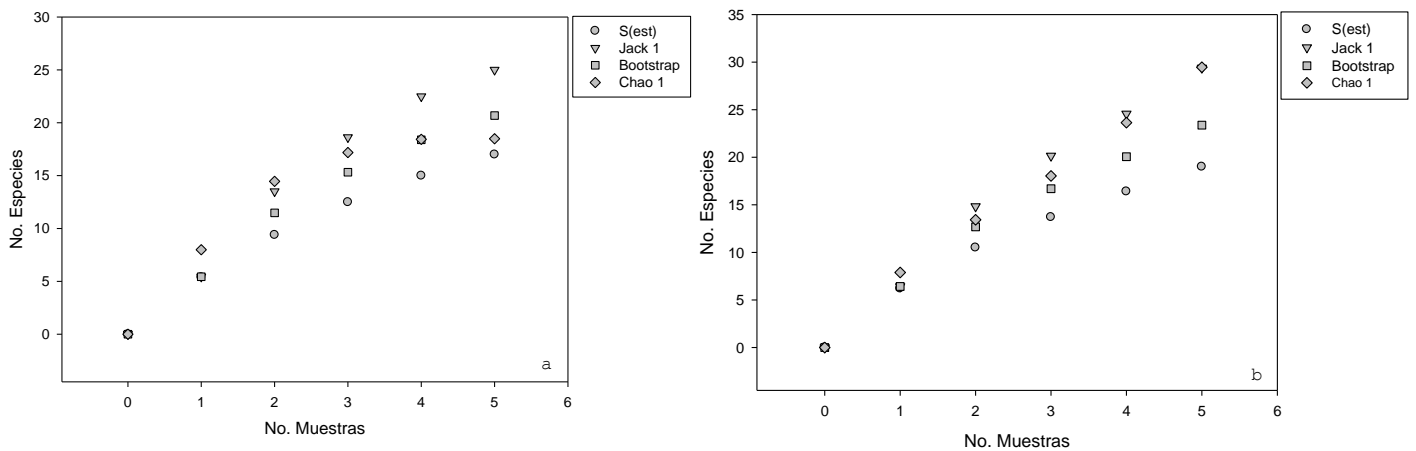


Figura 14. Curvas de acumulación de especies de la riqueza específica observada comparado con los estimadores de riqueza no paramétricos de Jack 1, Bootstrap, y Chao 1, (a). Estrato herbáceo de los sitios de muestreo de la Zona Norte; b). Estrato herbáceo de los sitios de muestreo de la Zona Sur.

El resultado obtenido en las curvas de acumulación de especies puede verse influenciado por las actividades antropogénicas y naturales a los que es sometida la vegetación de duna costera en la Zona Norte y Zona Sur, factores que intervienen en la composición, distribución, abundancia y diversidad de las especies, además, de haber provocado, la fragmentación del paisaje original preexistente en ambas zonas de estudio.

7.7 . Arreglo espacial de los sitios de muestreo en ambas zonas (Zona Norte y Zona Sur).

7.7.1. Dendograma de similitud incluyendo los tres estratos muestreados (arbóreo, arbustivo y herbáceo).

El dendograma obtenido a través de los índices de similitud de Bray-Curtis incluyendo todos los individuos de los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo, exhibió la formación de 4 grupos, a un corte del 35% de similitud. El grupo 1 (G-1), está conformado por la ZN-3 y ZS-6, el grupo 2 (G-2) lo integran la ZS-7 y ZS-10, el grupo 3 (G-3) lo componen la ZS-8 y ZS-9 y por último, el grupo 4 (G-4) está formado por 4 sitios ZN-5, ZN-4, ZN-1 y ZN-2 (Figura 15).

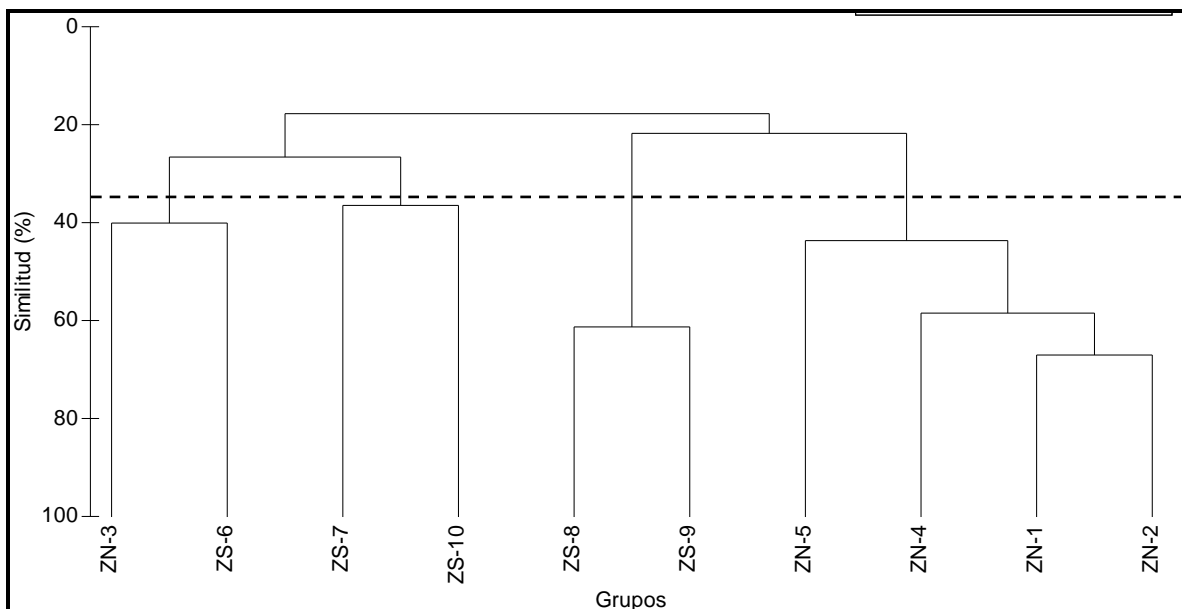


Figura 15. Dendograma de similitud de Bray-Curtis, clasificación de los sitios de muestreo de acuerdo a la composición de especies compartidas de los diversos estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo. Línea punteada: corte al 35 % de similitud.

7.7.2. Dendograma de similitud del estrato arbóreo-arbustivo.

El arreglo espacial de los sitios con la matriz del estrato arbóreo-arbustivo, mostró la formación de 3 grupos a un corte del 42% de similitud, el grupo 1 (G-1), está conformado por los sitios ZS-6 y ZS-7, el grupo 2 (G-2) lo integran ZS-10, ZS-8, ZS-9 y ZN-3 y el grupo 3 (G-3) está compuesto por ZN-4, ZN-5, ZN-1 y ZN-2 (Figura 16).

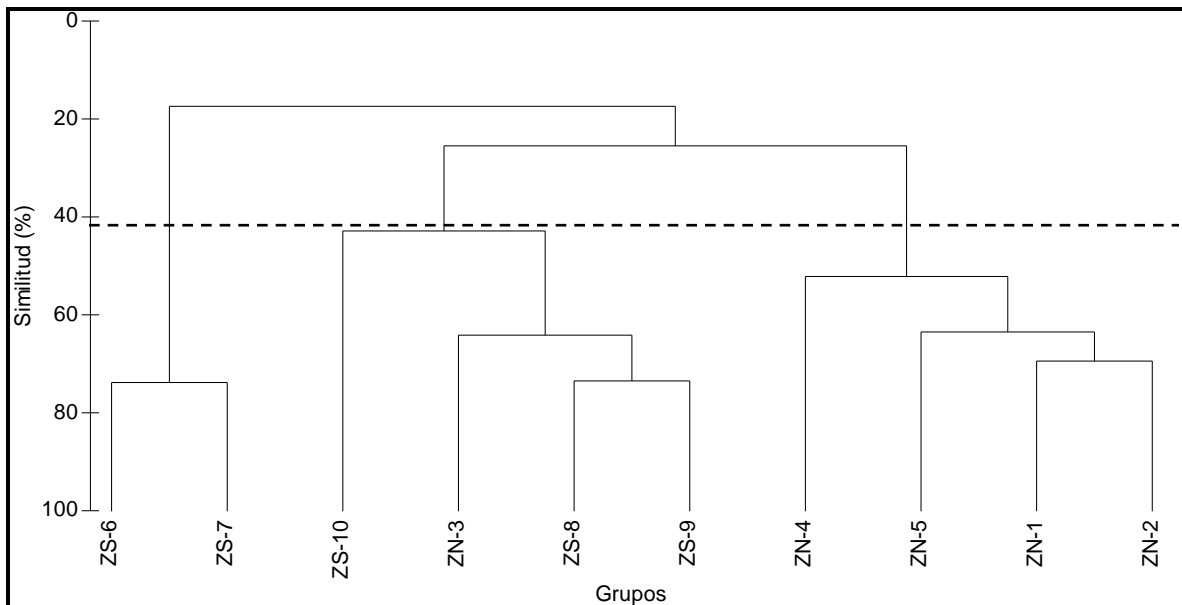


Figura 16. Dendograma de similitud de Bray-Curtis, clasificación de los sitios de muestreo de acuerdo a la composición de especies compartidas de los estratos arbóreo-arbustivo. Línea punteada: corte al 42 % de similitud.

7.7.3 Dendograma de similitud del estrato herbáceo.

En el dendrograma de los individuos pertenecientes al estrato herbáceo se puede observar que no se detecta algún arreglo espacial, debido a que existe una

combinación de los sitios en ambas zonas (Zona Norte y Zona Sur) en los grupos formados a bajo porcentaje de similitud (21 %) (Figura 17).

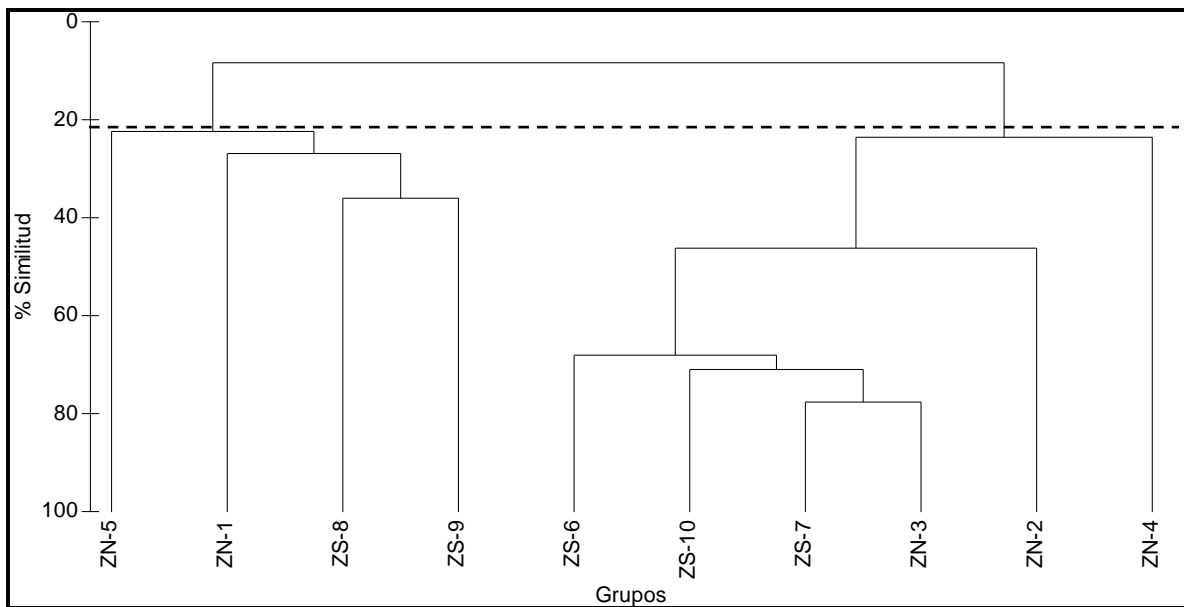


Figura 17. Dendrograma de similitud de Bray-Curtis, clasificación de los sitios de muestreo de acuerdo a la composición de especies compartidas del estrato herbáceo muestreado. Línea punteada: corte al 21 % de similitud.

El arreglo espacial exhibido de las especies del estrato herbáceo registradas para la Zona Norte y Zona Sur, es ocasionado por la forma de vida y distribución de dichas especies, ya que por ser consideradas como oportunistas y/o malezas, dichas especies herbáceas, se registraron en las tres zonas propuestas para el presente estudio (DF: Duna Frontal; CD: Cresta de Duna y DP: Duna Posterior; Figura 4; Tabla 1 y 11), considerando que dichas especies tienden a resistir las condiciones extremas naturales y antropogénicas que se susciten en cualquier zona de la duna costera.

7.8. Porcentaje de contribución de las especies entre los grupos formados en el arreglo espacial por estrato de la vegetación del sistema de duna costera.

7.8.1. Estrato arbóreo, arbustivo y herbáceo.

La contribución de las especies considerando los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo, mostró los siguientes datos: el componente florístico del grupo 1 (G-1), tuvo una similitud total entre los sitios de 52%. Tres especies fueron las que contribuyeron con la formación de este grupo con un porcentaje acumulativo de 87.37 %, la especie *Hymenocallis littoralis* (herbácea), contribuyó con el 58.28 %, *Tournefortia gnaphalodes* (arbustiva), con 21.02 % y *Ambrosia hispida* (herbácea), con 8.07 % (Tabla 2).

El componente florístico del grupo 2 (G-2), tuvo una similitud total entre los sitios de 36.39% y la especie que más contribuyó en la formación del grupo fue *Ambrosia hispida* (herbácea) con un porcentaje de similitud acumulada de 91.81 (Tabla 2).

Por otra parte el componente florístico del grupo 3 (G-3), presentó una similitud total promedio entre los sitios de 61%. Dos especies contribuyeron con el 85.26%: *Tournefortia gnaphalodes* (73.86%) (Arbustiva) y *Sporobolus virginicus* (11.14%) (Herbácea) (Tabla 2).

En lo que respecta al componente florístico del grupo 4 (G-4), este obtuvo un porcentaje de similitud total entre los sitios de 52%. Dos especies contribuyeron con el 90.15%: *Thrinax radiata* (75.92%) (Palma) y *Tournefortia gnaphalodes* (14.24%) (Arbustiva), en orden de importancia de acuerdo a su abundancia relativa promedio (Tabla 2).

Tabla 2. Porcentajes de Similitud (SIMPER) por grupos de las especies de las comunidades florísticas arbóreo, arbustivo y herbáceo, de los sitios de muestreo agrupados. Av. Abundr = Abundancia relativa promedio, AV. Sim = Similitud promedio, Contrib % = Porcentaje de contribución, Acum. % = Porcentaje de contribución acumulada.

Grupo G-1				
Similitud promedio: 39.99				
Especies	Promedio Abundr.	Promedio Sim.	Contrib. %	Acum. %
<i>Hymenocallis littoralis</i>	0.31	23.31	58.28	58.28
<i>Tournefortia gnaphalodes</i>	0.17	8.41	21.02	79.30
<i>Ambrosia hispida</i>	0.12	3.23	8.07	87.37
Grupo G-2				
Similitud promedio: 36.39				
Especies	Promedio Abundr.	Promedio Sim.	Contrib. %	Acum. %
<i>Ambrosia hispida</i>	0.37	33.41	91.81	91.81
Grupo G-3				
Similitud promedio: 61.18				
Especies	Promedio Abundr.	Promedio Sim.	Contrib. %	Acum. %
<i>Tournefortia gnaphalodes</i>	0.46	45.19	73.86	73.86
<i>Sporobolus virginicus</i>	0.12	6.98	11.40	85.26
Grupo G-4				
Similitud promedio: 52.40				
Especies	Promedio Abundr.	Promedio Sim.	Contrib. %	Acum. %
<i>Thrinax radiata</i>	0.38	39.78	75.92	75.92
<i>Tournefortia gnaphalodes</i>	0.13	7.46	14.24	90.15

7.8.2. Estratos arbóreo y arbustivo.

Para el estrato arbóreo y arbustivo de la duna costera el componente florístico del grupo 1 (G-1), tuvo una similitud total promedio de 73% y solo una especie arbustiva (*Suriana marítima*), contribuye con el 88.26 % de la similitud encontrada para los sitios (Tabla 3).

Por otro lado, el componente florístico del grupo 2 (G-2), tuvo una similitud total promedio entre los sitios de 54%, para este grupo solo una especie arbustiva (*Tournefortia gnaphalodes*), contribuye con 97.71 % de la similitud encontrada para los sitios o de acuerdo a su abundancia relativa promedio. (Tabla 3).

En lo que respecta al componente florístico del grupo 3 (G-3), este presentó una similitud total promedio de 58%. Dos especies contribuyen con el 94.09%: *Thrinax radiata* (77.39%) (Palma) y *Tournefortia gnaphalodes* (16.07%) (Arbustiva) (Tabla 3).

Tabla 3. Porcentajes de Similitud (SIMPER) por grupos de las especies de las comunidades florísticas arbóreo y arbustivo de los sitios de muestreo agrupados. Av. Abundr = Abundancia relativa promedio, AV. Sim = Similitud promedio, Contrib % = Porcentaje de contribución, Acum. % = Porcentaje de contribución acumulada.

Grupo G-1				
Similitud promedio: 73.70				
Especies	Promedio Abundr.	Promedio Sim.	Contrib. %	Acum. %
<i>Suriana marítima</i>	0.56	65.05	88.26	88.26
Grupo G-2				
Similitud promedio: 54.95				

Especies	Promedio Abundr.	Promedio Sim.	Contrib. %	Acum. %
<i>Tournefortia gnaphalodes</i>	0.52	53.69	97.71	97.71
Grupo G-3				
Similitud promedio: 58.71				
Especies	Promedio Abundr.	Promedio Sim.	Contrib. %	Acum. %
<i>Thrinax radiata</i>	0.47	45.44	77.39	77.39
<i>Tournefortia gnaphalodes</i>	0.17	9.80	16.70	94.09

7.9. Diversidad de Shannon-Wiener y equidad de Pielou de los sitios de muestro de duna costera en el área de estudio.

7.9.1. Diversidad, equidad y comparaciones con la prueba de T de Hutchenson para el componente florístico arbóreo, arbustivo y herbáceo.

El cálculo de los índices de diversidad de Shannon-Wiener, mostró que el sitio que presentó la mayor diversidad fue ZN-3 (*0.7891 decits/ind*) seguido de ZN-2 (*0.7885 decits/ind*) y ZS-8 (*0.7723 decits/ind*), por otro lado, el sitio que registro la menor diversidad y por consecuencia una dominancia significativa entre especies fue ZS-9 (*0.3997 decits/ind*), seguido de ZN-5 (*0.4861 decits/ind*) y ZS-10 (*0.5394 decits/ind*). De acuerdo a los valores de diversidad obtenidos de los 10 sitios de muestreo, se observó que la vegetación de duna costera de la Zona Norte y Zona Sur en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, presentan una diversidad muy similar entre ellos (Tabla 4).

Tabla 4. Valores obtenidos del índice de diversidad de Shannon-Wiener para los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo, registrados en los sitios de muestreo de la ZN y ZS del sistema de duna costera de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.

Sitios	Índice de diversidad de Shannon-Weaner $H'(\log_{10})$
ZN-1	0.6386
ZN-2	0.7885
ZN-3	0.7891
ZN-4	0.7364
ZN-5	0.4861
ZS-6	0.6702
ZS-7	0.7182
ZS-8	0.7723
ZS-9	0.3997
ZS-10	0.5394

Por otro lado, la estimación del índice de equidad de Pielou (J'), indica una distribución homogénea de la abundancia de la vegetación de duna costera debido a que la dominancia de algunas especies dentro de los sitios de muestreo fue casi nula. Los sitios con los menores valores de equidad fueron ZS-9 (J' : 0.4729) y ZS-10 (J' :0.5973), lo cual, puede haber sido influenciado por una dominancia de alguna especie con respecto a las demás en ambos sitios de muestreo (Tabla 5).

Tabla 5. Valores obtenidos del índice de equidad de Pielou (J') para los estratos arbóreo, arbustivo, herbáceo, regeneración, abundante o rara, registrados en los sitios de muestreo de la ZN y ZS del sistema de duna costera de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.

Sitios	Índice de Equidad de Pielou (J')
ZN-1	0.6386
ZN-2	0.6408
ZN-3	0.6709
ZN-4	0.6824
ZN-5	0.6246
ZS-6	0.6210
ZS-7	0.7953
ZS-8	0.6738
ZS-9	0.4729

Por otra parte, en aquellos sitios de muestreo en donde se obtuvo valores de diversidad y equidad bajos, se observó que las especies que contribuyeron a la obtención de los mismos fueron; *Tournefortia gnaphalodes* y *Sporobolus virginicus* (ZS-9) y *Ambrosia hispida* y *Ernodea littoralis* (ZS-10). En lo que respecta al sitio ZN-5, el bajo valor de diversidad exhibido se debe a que en dicho sitio se registró la menor riqueza de especies con respecto a los demás sitios de muestreo.

Al comparar los valores de diversidad obtenidos mediante la prueba t de Hutchenson, esta mostró diferencias significativas en la mayoría de los sitios, no obstante, de las pruebas pareadas realizadas, el sitio que contrastó con todos fue ZS-9 ($p < 0.05$), por otro lado, el sitio ZN-5 ($p < 0.05$) solo presentó diferencias significativas con el sitio ZS-10 ($p_{>0.05} = 0.266$). De igual forma, el sitio ZS-10 ($p < 0.05$) presentó diferencias significativas pareadas con al menos 7 sitios, exceptuando al sitio ZN-1 ($p_{>0.05} = 0.177$) y ZN-5 ($p_{>0.05} = 0.266$). Así mismo, el sitio que menos diferencias significativas entre los sitios pareados presentó fue el ZS-7 (ZS-9, ZS-10 y ZN-5: $P < 0.05$) (Tabla 6).

Tabla 6. Valores obtenidos a partir de la prueba T-Hutchenson para la diversidad de las especies registradas en los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo, en el sistema de duna costera de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an. (Arriba de la diagonal se presentan los valores de t y por debajo los valores estadísticos de p). * Denotan diferencias significativas entre las combinaciones.

	ZN-1	ZN-2	ZN-3	ZN-4	ZN-5	ZS-6	ZS-7	ZS-8	ZS-9	ZS-10
ZN-1		2.222*	2.348*	1.514	2.368*	0.475	1.062	1.834	3.640*	1.358
ZN-2	0.029		0.016	1.329	7.779*	2.802*	1.286	0.312	9.512*	4.799*
ZN-3	0.021	0.987		1.595	9.276*	3.250*	1.406	0.355	11.118*	5.264*

ZN-4	0.134	0.184	0.111		7.435*	1.767	0.357	0.749	9.364*	4.094*
ZN-5	0.020	0.000	0.000	0.000		4.952*	4.566*	6.002*	2.423*	1.115
ZS-6	0.636	0.005	0.001	0.078	0.000		0.899	2.024*	6.889*	2.582*
ZS-7	0.291	0.201	0.163	0.722	0.000	0.371		0.884	6.081*	2.913*
ZS-8	0.069	0.755	0.723	0.455	0.000	0.044	0.378		7.553*	3.961*
ZS-9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000		2.822*
ZS-10	0.177	0.000	0.000	0.000	0.266	0.010	0.004	0.000	0.005	

7.9.2. Diversidad, equidad y comparaciones con la prueba de T de Hutchenson para el componente arbóreo-arbustivo.

El cálculo de los índices de diversidad de Shannon-Wiener (\log_{10}), considerando los datos de abundancia relativa por especie registrada del estrato arbóreo-arbustivo, mostró que el sitio que presentó la mayor diversidad fue ZN-2 (0.6667 decits/ind) seguido de ZN-4 (0.6124 decits/ind) y ZN-3 (0.5535 decits/ind), por otro lado, el sitio que registro la menor diversidad y por consecuencia una dominancia significativa entre especies fue ZN-5 (0.141 decits/ind), seguido de ZS-7 (0.2331 decits/ind) y ZS-10 (0.2923 decits/ind). Especial atención se le debe dar al sitio ZS-9, al cual no fue posible estimar su diversidad y equidad, ya que solo se registró una especie (*Tournefortia gnaphalodes*) (Tabla 7).

Tabla 7. Valores obtenidos del índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'), para el estrato arbóreo-arbustivo registrado en los sitios de muestreo de la ZN y ZS del sistema de duna costera de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.

Sitios	Índice de diversidad de Shannon-Weaner $H'(\log_{10})$
ZN-1	0.3791
ZN-2	0.6667

ZN-3	0.5535
ZN-4	0.6124
ZN-5	0.1410
ZS-6	0.4130
ZS-7	0.2331
ZS-8	0.3774
ZS-9	0
ZS-10	0.2923

Por otro lado, la estimación del índice de equidad de Pielou (J'), indica una distribución heterogénea de la abundancia de la vegetación de duna costera, ostentando una abundancia de individuos por especie disímil para la Zona Norte y Zona Sur. Este resultado probablemente está relacionado a que la dominancia de algunas especies de al menos tres sitios (ZN-5; J' : 0.2954, ZS-7; J' : 0.4885 y ZS-8; J' : 0.4850) fue relativamente alta. De los 10 sitios de muestreo, el más diverso y homogéneo fue ZN-2. Como ya me mencionó anteriormente, en el sitio ZS-9 no fue posible estimar la equidad, ya que solo se registró una especie (*Tournefortia gnaphalodes*) (Tabla 8).

Tabla 8. Valores obtenidos del índice de equidad de Pielou (J'), para el estrato arbóreo-arbustivo registrado en los sitios de muestreo de la ZN y ZS del sistema de duna costera de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.

Sitios	Índice de Equidad de Pielou (J')
ZN-1	0.6297
ZN-2	0.6178
ZN-3	0.5801
ZN-4	0.8762
ZN-5	0.2954
ZS-6	0.5909
ZS-7	0.4885
ZS-8	0.4850
ZS-9	0

Por otra parte, en aquellos sitios de muestreo en donde se obtuvo valores de diversidad y equidad bajos, se observó que las especies que contribuyeron a la obtención de los mismos fueron; *Thrinax radiata* (ZS-5) y *Suriana maritima* (ZS-7). En lo que respecta al sitio ZN-10, el bajo valor de diversidad exhibido se debe a que en dicho sitio se registraron dos especies con abundancia similar entre ellas (*Tournefortia gnaphalodes* y *Cocos nucifera*) dando como consecuencia una nula dominancia; así mismo, en el ZS-8, se registraron 6 especies, con abundancias muy disímil entre las mismas, siendo *Tournefortia gnaphalodes* la especie más dominante y por consecuencia la que contribuye con el valor de equidad ostentado en dicho sitio.

Al comparar los valores de diversidad obtenidos mediante la prueba t de Hutchenson, ésta mostró diferencias significativas en la mayoría de los sitios. No obstante, de las pruebas pareadas realizadas, el área que contrastó con todos los sitios fue el ZS-9 ($p < 0.05$), así mismo, los sitios ZN-3 ($p < 0.05$) y ZN-4 ($p < 0.05$), presentaron diferencias significativas con al menos 6 sitios de muestreo respectivamente. De igual forma, el sitio ZN-2 ($p < 0.05$), presentó diferencias significativas pareadas con al menos 7 sitios, exceptuando al sitio ZN-1 ($p_{>0.05} = 0.177$) y ZN-5 ($p_{>0.05} = 0.266$). El sitio que menos diferencias significativas entre los sitios pareados presentó fue el ZS-10 (Tabla 9).

Tabla 9. Valores obtenidos a partir de la prueba T-Hutchenson para la diversidad de las especies para los estratos arbóreo-arbustivo, en el sistema de duna costera de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an. (Arriba de la diagonal se presentan los valores de t y por debajo los valores estadísticos de p). * Denotan diferencias significativas entre las combinaciones.

	ZN-1	ZN-2	ZN-3	ZN-4	ZN-5	ZS-6	ZS-7	ZS-8	ZS-9	ZS-10
ZN-1		5.334*	2.932*	5.143*	3.801*	0.592	0.682	0.027	8.768*	1.481
ZN-2	0.000		2.175*	1.550	9.451*	5.126*	3.565*	5.112*	20.692*	5.411*
ZN-3	0.004	0.030		1.366	6.759*	2.531*	2.369*	2.845*	13.547*	3.704*
ZN-4	0.000	0.122	0.174		9.949*	4.985*	3.161*	4.844*	44.568*	5.086*
ZN-5	0.000	0.000	0.000	0.000		4.620*	1.577	3.638*	3.108*	1.455
ZS-6	0.555	0.000	0.012	0.000	0.000		1.028	0.596	10.997*	1.973
ZS-7	0.501	0.002	0.025	0.005	0.126	0.314		0.657	3.224*	0.408
ZS-8	0.978	0.000	0.005	0.000	0.000	0.552	0.516		8.109*	1.427
ZS-9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.004	0.000		3.824*
ZS-10	0.162	0.000	0.003	0.001	0.168	0.074	0.687	0.175	0.009	

7.10. Relación de la abundancia de las especies con el perfil topográfico (variables físicas) de los sitios de muestro de la Zona Norte y Zona Sur, a través del método de componentes principales.

7.10.1. Variables físicas del perfil topográfico de los sitios de muestreo de la Zona Norte y Zona Sur.

Las variables físicas del perfil topográfico, registradas en cada uno de los sitios de muestreo de la Zona Norte y Zona Sur, presentaron una amplitud variable en cada sitio de muestreo, observándose una formación y desarrollo del sistema de duna costera similar en ambas zonas de estudio. Por zona de estudio, el perfil topográfico entre los sitios de muestreo, presentó una tendencia similar entre los mismos, observándose que las características que presenta la duna costera en su

forma y tamaño, presentan influencia poco significativa en la distribución de las especies de vegetación de duna costera en la Zona Norte y Zona Sur (Tabla 10).

Tabla 10. Valores de amplitud obtenidos de las variables físicas del perfil topográfico de los sitios de muestreo de la Zona Norte y Zona Sur. Pendiente a Pleamar: Pe-PI; Duna Frontal: DunaFro; Cresta de Duna: CrestaDu; Duna Posterior: DunaPos y Pendiente: Pend.

Sitios	Pe-PI (m)	DunaFro (m)	CrestaDu (m)	DunaPos (m)	Pend (%)
ZN- 1	6.9	12	4	14	4
ZN-2	1.2	1.5	6.3	22.2	3
ZN-3	4	5	3	22	1
ZN-4	4.5	3	4.7	22.3	3
ZN-5	19	7	10	13	20
ZS-6	7.2	13.6	8	8.4	2
ZS-7	4.3	9	5.5	15.5	2
ZS-8	13	17.4	4.8	7.8	8
ZS-9	14.3	1.8	15.4	12.8	1
ZS-10	8.8	14	4.7	11.3	4

Así mismo, se puede observar, que los sitios que presentaron dunas con pendientes pronunciadas son ZN-5 y ZS-8 (20 y 8%), por otro lado, los sitios que presentaron dunas con pendientes incipientes son ZN-3 y ZS-9 (1%).

7.10.2. Ordenación especies-variables físicas de los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo.

La ordenación de las especies registradas de acuerdo con las características físicas de los sitios de muestreo (amplitud de *Duna Frontal: DunaFro; Duna Posterior: DunaPos; Cresta de Duna: CrestaDu; Pendiente: Pend y Pendiente a Pleamar: Pe-PI*), por estrato (arbóreo, arbustivo, herbáceo, regeneración, rara y abundante) para las zonas de estudio Zona Norte y Zona Sur, mostró que los dos

primeros ejes explican aproximadamente el 66 % de la varianza total (CP1= 38% y CP2= 27%).

En la Figura 20 se puede observar que a la izquierda del eje la Duna frontal (*DunaFro*), estuvo fuertemente relacionada con especies pertenecientes al estrato herbáceo (*C. rosea*, *H. littoralis*, *I. pes-capre*, entre otras) y algunas arbustivas, como es el caso de *Suriana marítima* y *Lantana involucrata*. La duna frontal fue de mayor relevancia en la distribución de estas especies, en los sitios ZS-6, ZS-10 y ZS-7 en donde, las dunas frontales fueron extensas y con pendientes no tan pronunciadas (Tabla 10).

Por otra parte las variables Cresta de duna (*CrestaDu*) y distancia de Pendiente-Pleamar (*Pe-Pl*), ubicadas al lado izquierdo del eje, conformaron otro grupo, presentando una correlación con especies propias del estrato arbustivo y herbáceo, tales como: *T. gnaphalodes*, *S. portulacastrum*, *S. virginicus*, *I. imperati*, *E. mesembrianthemifolia*, *P. amarum*, entre otras, siendo ambas variables de mayor influencia en los sitios ZS-9 y ZS-8 (Figura 18 y Tabla 10).

Sobre el eje ubicado a la derecha del esquema de ordenación, las variables duna posterior (*DunaPos*) y pendiente (*Pend*), presentaron correlación con especies propias del estrato arbóreo, tales como: *T. radiata*, *M. brownei*, *G. lucida*, *C. nucifera*, entre otras. De lo anterior, se observa que dichas variables exhiben sitios (ZN-2; ZN-4 y ZN-5), con una extensa duna posterior hacia tierra dentro (Figura 18

y Tabla 10), zona en donde se ubica vegetación mejor conformada, con individuos propios del presente estrato.

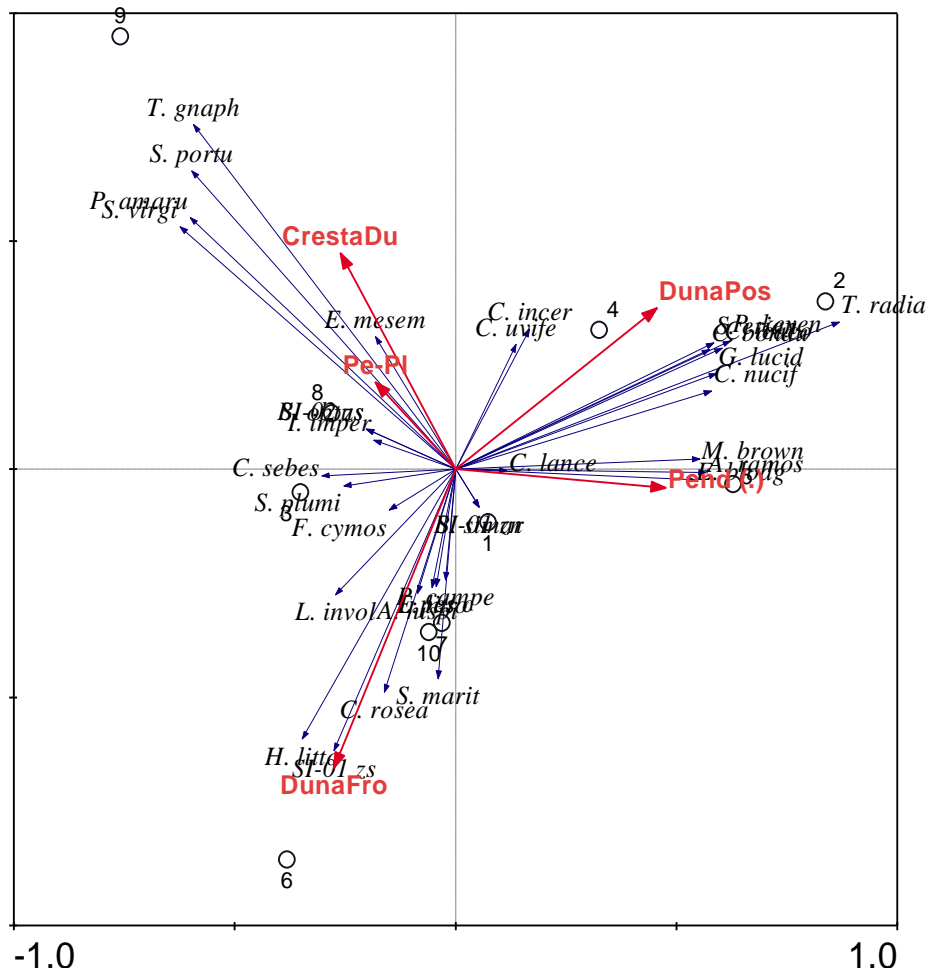


Figura 18. Ordenación a través del análisis de componentes principales con base a la abundancia de las especies registradas de los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo y su correlación con las variables (cuantitativas) físicas de los sitios de muestreo para la Zona Norte y Zona Sur, del sistema de duna costera de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an. Flechas delgadas de cabeza de triangular angosta, representan a las especies; flechas más sólidas con cabeza triangular robusto representa las variables; círculos representan los sitios de muestreo.

7.10.3. Ordenación para las especies-variables físicas del estrato arbóreo-arbustivo.

La ordenación del estrato arbóreo-arbustivo y las características físicas de los sitios (amplitud de Duna Frontal: *DunaFro*; Duna Posterior: *DunaPos*; Cresta de Duna: *CrestaDu*; Pendiente: *Pend* y Pendiente a Pleamar: *Pe-PI*) muestra que los dos primeros ejes explican más del 76 % de la varianza total (CP1= 54% y CP2= 35%).

En la Figura 21 se puede observar una ordenación dispersa y se detecta que la variable Duna posterior (*DunaPos*), estuvo fuertemente relacionada, con especies pertenecientes al estrato arbóreo-arbustivo (*G. lucida*, *C. nucifera*, *B. obtusifolia*, *M. brownei*, *C. bonduc* y *P. keyense*). Cabe señalar, que dicha variable presentó valores elevados en los sitios ZN-2 y ZN-4, además de presentar pendientes de duna no tan pronunciadas (Tabla 10).

Por otra parte, en ejes distintos, las variables Duna frontal (*DunaFro*) y Pendiente (*Pend*), presentan correlación con el estrato arbóreo-arbustivo. La variable Duna frontal (*DunaFro*) se correlaciona fuertemente con la especie *P. campechiana*, siendo dicha variable de mayor influencia en los sitios ZS-10, ZS-7 y ZS-6, que se caracterizaron por presentar una extensa duna frontal (Tabla 10). Por otro lado, la variable Pendiente (*Pend*), presenta una correlación con las especies *S. marítima* (*arbustiva*) y *B. simaruba* (*arbórea*), esta relación fue más determinante en el sitio

ZN-5 y que en el sitio ZN-1, lo anterior fue debido, a que el sitio ZN-5, se presenta la mayor pendiente registrada de todos sitios de muestreo (Figura 19 y Tabla 10).

Por otro lado, el esquema de ordenación mostró que la variable distancia Pendiente a Pleamar ostentó una correlación específicamente con las especies *L. involucreta* (arbustivo) y *B. obtusifolia* (arbóreo), observándose la mayor correlación de esta variable en el sitio ZS-8 que presenta una amplitud de la pendiente hacia la pleamar bastante extensa (Tabla 10).

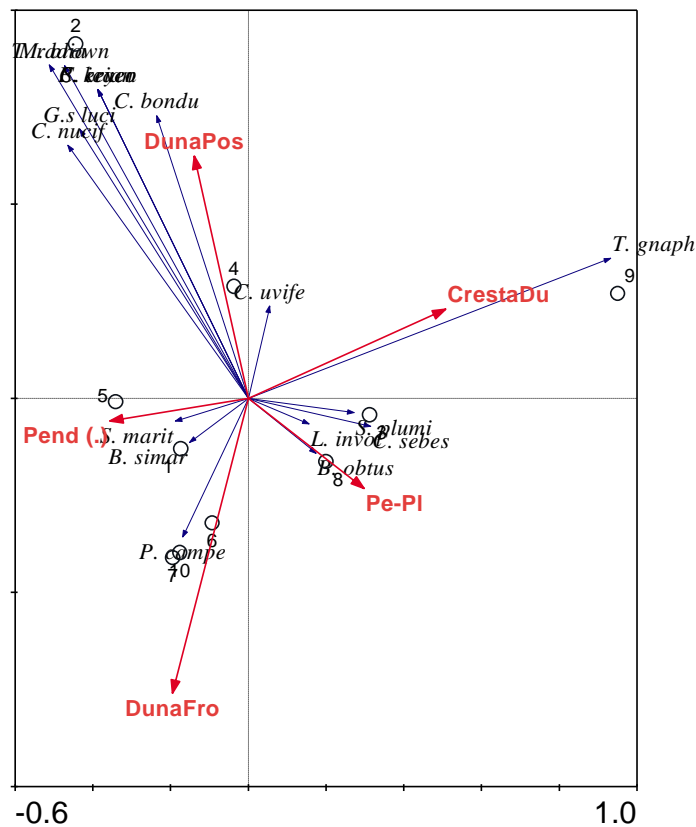


Figura 19. Ordenación a través del análisis de componentes principales con base a la abundancia de las especies registradas del estrato arbóreo-arbustivo y su correlación con las variables (cuantitativas) físicas de los sitios de muestreo para la Zona Norte y Zona Sur, del sistema de duna costera de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an. Flechas delgadas de cabeza de triangular angosta, representan a las especies; flechas más sólidas con cabeza triangular robusto representa las variables; círculos representan los sitios de muestreo.

8. Discusión.

8.1. Distribución y abundancia de la vegetación de duna costera.

Los vientos denominados Nortes, afectan la vegetación de duna costera, ya que modifican el litoral costero (Moreno-Casasola y Espejel, 1986; Moreno-Casasola, 2006), alterando los procesos naturales de transporte y deposición de arena, haciendo retroceder temporalmente la línea de costa (Molina *et al.*, 1998; Botello *et al.*, 2010) y elevando el nivel del mar. No obstante, para la región del Caribe, específicamente para el estado de Quintana Roo, dichos efectos pueden verse influenciados por vientos intensos del sureste o en su caso de huracanes, que en los últimos años se han presentado más frecuentemente.

Durante el periodo de muestreo, debido a la temporada de Nortes, que abarcan el periodo Noviembre-Febrero (Moreno-Casasola y Espejel, 1986; Botello *et al.*, 2010), en la Zona Norte y Sur de la Reserva de Sian Ka'an se presentaron lluvias y vientos intensos de forma intermitente, provocando fuerte oleaje y descenso de la temperatura. De acuerdo a los resultados del presente estudio se detectó que dichos vientos y lluvias pueden influir en la abundancia, cobertura, distribución y diversidad de la vegetación de duna costera, ya que la riqueza de especies encontrada fue menor a la reportada por Torres *et al.*, (2010), quienes reportaron un total de 71 especies para la Península de Yucatán en este mismo tipo de vegetación.

Se debe puntualizar que la sección Norte de la Reserva es la zona más impactada por las actividades turísticas y asentamientos humanos a lo largo de su costa, esto derivado de su cercanía con la ciudad de Tulum (Dachary y Arnaiz-Burne, 1989; CONANP et al., 2007; Brenner y Vargas del Río, 2010). Sin embargo, tanto en la zona norte como en la sur se realizan actividades de bajo impacto y pesquería artesanal; actualmente, dichas actividades han provocado fragmentación de la vegetación de duna, formando pequeños parches con suelo carente de vegetación. En la Zona Sur el mayor impacto fue ocasionado por el establecimiento de ranchos copreros y pastoreo de ganado, aunque en la actualidad estas actividades ya no se llevan a cabo (Dachary y Arnaiz-Burne, 1989; Brenner y Vargas del Río, 2010).

En general, las especies dominantes pertenecieron al estrato arbóreo-arbustivo, con asociaciones de especies herbáceas, tal como lo señalan Moreno-Casasola y Martínez, (1986) y SEMARNAP-INE, (2000). En cada uno de los sitios de estudio se observó que desde la playa predomina una comunidad herbácea (pioneras) y conforme se avanza sobre la pendiente de la duna frontal se van presentando parches de especies arbustivas (pioneras-estabilizadoras); a partir de la cresta hacia tierra adentro, sobre la duna posterior, se establece y se expanden una selva bien formada hasta aproximarse al humedal costero. Este arreglo de la vegetación es el característico del sistema de dunas frontales en la Zona Norte y Zona Sur de la Reserva de Sian Ka'an (Figura 11 y 12), coincidiendo con lo

señalado por Moreno-Casasola, (1986); Moreno-Casasola y Martínez, (1986); Moreno-Casasola, (2004; 2006) y Martínez *et al.*, (2014).

En los sitios establecidos en la Zona Sur se registró una vegetación arbustiva escasa, asociada a una cobertura de vegetación herbácea significativa, con escasos individuos del estrato arbóreo, además de registrarse una duna menos desarrollada con respecto a la Zona Norte (Figura 7; 10 y Tabla 10).

Se puede determinar que el desarrollo y estabilización del cordón de duna frontal puede verse influenciado por la interacción con la vegetación de duna costera que se establece, lo cual dependerá de la abundancia y cobertura de la misma, tal como lo establecen Moreno-Casasola, (1986) Moreno-Casasola, (2004); Martínez, (2009); Gallego-Fernández, (2011) y Martínez *et al.*, (2014), circunstancias que son evidentes en cada uno de los sitios de muestreo de la Zona Norte y Zona Sur.

En el área de estudio no se registraron especies endémicas, sin embargo, se reportó la presencia de la Palma Chit (*Thrinax radiata*), especie en la categoría de Amenazada según la NOM-059-SEMARNAT-2010, siendo la única especie protegida de las registradas en los sitios de estudio. La Palma Chit presentó una amplia distribución en la Zona Norte y escasa presencia en la Zona Sur (Tabla 1).

8.2. Arreglo espacial de los sitios de muestreo del sistema de duna costera de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.

De acuerdo a los resultados de clasificación de la vegetación de duna costera en la Zona Norte y Zona Sur, se observó que la mayoría de las especies de los estratos registrados (arbóreo, arbustivo y herbáceo) se distribuyen en ambas zonas de estudio (Figura 7), lo que ocasionó que los sitios de muestreo presentaran similitudes en su composición de especies, determinando la ordenación exhibida (Figura 15 y 16), siendo cuatro especies entre las más representativas:

Tournefortia gnaphalodes (arbustiva), se ubica al fondo y zona media de la duna frontal, aunque en dunas con pendiente no tan pronunciada puede encontrarse en la cresta y más tierra adentro. *T. gnaphalodes* combinada con *Scaveola plumieri* (arbustiva), además de *Suriana marítima* (arbustiva), suele encontrarse en la parte superior de la duna frontal de forma dominante, aunque también puede hallarse en zonas inferiores y un poco más allá de la cresta de duna. *Ambrosia hispida* (herbácea), se distribuye desde la pendiente frontal de la duna hasta la cresta de duna, y en ocasiones entre zonas de transición entre la playa y la zona de protección (duna posterior). En la duna posterior herbáceas como *Sesuvium portulacastrum* se mezclan con *Thrinax radiata* (Palma). *Hymenocallis littoralis* (herbácea), tiende a establecerse como parches dispersos sobre la cresta de duna y en áreas planas posterior a la duna (Tabla 1, 2 y 3) (Moreno-Casasola y Espejel,

1986; Chan-Vermont *et al.*, 2002), de esta forma, se demuestra que las especies de flora no presentan una distribución definida en la duna de ambas zonas de estudio, si no que ocupan zonas con características ideales para su establecimiento y desarrollo (Castillo, 1981: citado en Reyes-Ortiz, 2014).

En lo que corresponde específicamente a las especies que conforman el estrato herbáceo, no se detectó una zonación espacial representativa (Figura 17), esto de acuerdo a su forma de vida, ya que se detectó que estas se distribuían en las tres zonas propuestas (duna frontal, cresta de duna y duna posterior) y en la mayoría de los sitios de estudio. La especie más representativa del estrato herbáceo fue *Ambrosia hispida*, misma que se asocia con especies arbustivas (*Ernodea littoralis*, *Suriana marítima*, *Tournefortia gnaphalodes*, entre otras) (Moreno-Casasola *et al.*, 1986) y otras herbáceas (*Euphorbia mesembrianthemifolia*, *Hymenocallis littoralis*, *Canavalia rosea*, *Ipomoea pesca-pre*, etc.) (Figura 10).

Se puede establecer que la estructura de la vegetación costera en ambas zonas, fue variable en su composición y contribución de especies, lo cual puede verse inducido por las características ambientales que imperan en los sitios de estudio, mismas que son cambiantes conforme se avanza tierra dentro, ya que según Doing; (1985); Moreno-Casasola y Espejel, (1986); Espejel, (1986); Cortés-Castelán e Islebe, (2005); Moreno-Casasola, (2004; 2006); Romero-López *et al.*, (2006); Martínez, (2009); Torres *et al.*, (2010); SEMARNAT (2013); Leirana-

Alcocer y Bautista-Zuñiga, (2014) y Martínez *et al.*, (2014), establecen que los principales factores que determinan la distribución de la vegetación de dunas costeras son, el tipo de suelo, aspersion salina, ph, cantidad de materia orgánica, arrastre de arena, disposición de agua dulce. Además de los impactos antropogénicos y naturales a los que es sometida, con la intensidad del viento, marea y oleaje variable, temperaturas extremas, etc., y no a la forma y tamaño de la duna ya que la misma se desarrolla sinérgicamente conforme la vegetación se va estableciendo sobre la misma, situaciones que pueden ser responsables del paisaje que presenta actualmente el sistema de duna en cada uno de los sitios de muestreo de la Zona Norte y Sur de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.

A lo anterior se debe de considerar lo indicado por Álvarez-Molina *et al.*, (2012), que indican que los estados de sucesión ecológica son factores a considerar en la afectación a la riqueza, cobertura y diversidad de especies, siendo el estado de sucesión intermedia el que presenta altos valores de diversidad y riqueza de especies de flora de duna costera. De acuerdo a los factores antropogénicos y naturales a los que han sido sometidas ambas zonas de estudio, se puede considerar que la vegetación de duna costera corresponde a un estado de sucesión secundaria en recuperación con buen estado de conservación.

8.3. Diversidad de Shannon-Wiener y equidad de Pielou de los sitios de muestro de la duna costera en el área de estudio.

De forma general, ambas zonas de estudio (Zona Norte y Zona Sur) exhibieron valores de diversidad similares (Tabla 4) entre los sitios de muestreo, evidenciando una distribución homogénea de la abundancia (Tabla 5), indicando dominancia ligeramente perceptible de las especies registradas en los estratos propuestos (arbóreo, arbustivo y herbáceo). Sin embargo, si se registraron diferencias estadísticamente significativas entre los sitios de muestreo (Tabla 6).

Lo anterior puede haber sido influenciado por la diversidad específica exhibida entre los sitios de muestreo, ya que se encontró que la Zona Norte registró un mayor número de familias, así como un mayor número de especies y abundancia que la Zona Sur (Tabla 7). De igual forma, se observó que la vegetación de duna costera en la Zona Norte presentó una distribución homogénea en cuanto a su abundancia, evidenciando cambios apenas notorios en su composición de especies (Tabla 5). Por su parte la Zona Sur presentó una distribución heterogénea en la abundancia de la vegetación (Tabla 8), evidenciando un paisaje distinto al observado en la Zona Norte, presentando además escasa vegetación arbórea y una asociación arbustiva-herbácea más evidente. Se debe destacar que la homogeneidad exhibida en el sitio ZS-10, fue debido a la presencia de 2 especies, con abundancia escasa.

Por otro lado, Magurran (1988) establece que un cambio en la diversidad, ya sea en el número de especies, en la distribución de la abundancia de las especies o en la dominancia, nos alerta acerca de procesos que han perturbado el ambiente. Esto concuerda con los eventos ocurridos en ambas zonas de estudio, ya que de acuerdo a sus antecedentes se evidencian perturbaciones provocadas por el establecimiento de ranchos copreros, pastoreo de ganado, asentamientos humanos, infraestructura y actividades turísticas, además de procesos de lotificación y remoción de la vegetación para el cambio de uso de suelo, tal como lo señalan Dachary y Arnaiz-Burne, (1989); CONANP *et al.*, (2007) y Brenner y Vargas del Río, (2010). Además en ambas zonas de estudio se registró la presencia de la Palma de coco (*Cocos nucifera*), lo cual puede ser una señal de perturbaciones, siendo su presencia más notorias en la Zona Sur.

Cabe señalar que las actividades y obras que se realizan en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, se encuentran reguladas por la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (D.O.F. 2003 y subsecuentes modificaciones) y su Reglamento (D.O.F. 2005), por el Programa de Manejo del Área Natural Protegida con el carácter de Reserva de la Biosfera Sian Ka'an (D.O.F. 2005 y 2015), así como por el Programa de Ordenamiento Ecológico de la Zona Costera de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an (D.O.F. 2002). Dicha normatividad establece el uso permitido, condicionado, compatible e incompatible, indicando las actividades y obras a realizar, además de priorizar acciones como la restauración,

reforestación y conservación de la flora y fauna costera nativa. Todas las actividades que se pretenden llevar a cabo en este tipo de Áreas Naturales Protegidas deben de tener el visto bueno de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y la autorización de cambio de uso de suelo emitida por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en el estado de Quintana Roo, a través Estudio Técnico Justificativo propuesto por un particular o razón social (observaciones propias).

Aunado a lo anterior, el Diario Oficial de la Federación (2014), adiciona el artículo el 123 bis al Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, mediante el cual obliga al particular o razón social, el establecimiento de un programa de rescate y reubicación de especies de la vegetación a afectar y su adaptación al nuevo hábitat. Actividades que de alguna forma han influenciado al mantenimiento, establecimiento y desarrollo de la vegetación de duna costera, específicamente para la Zona Norte, lo cual pudo haber propiciado que dicha zona presentase una mayor abundancia y diversidad de especies que la registrada en la Zona Sur.

Por otra parte, en estudios consultados sobre vegetación de duna costera se observó que para el cálculo de diversidad se utiliza el logaritmo natural, sin embargo, en este estudio se usó el Log 10, no obstante, con la finalidad de poder comparar los resultados de diversidad obtenidos en este trabajo, se optó por

estimar el índice de diversidad con el logaritmo empleado por los estudios en comento.

El resultado de diversidad promedio para ambas zonas fue de H' : 1.5054 nats/ind; para la Zona Norte se obtuvo un valor promedio de H' : 1.5834 nats/ind y para la Zona Sur un valor promedio de H' :1.4275 nats/ind; encontrándose que los valores obtenidos, son similares a lo reportado por Romero-López *et al.*, (2006), quienes reportan valores de diversidad, que dependiendo el gradiente de zonación de la barra costera, fluctuaron entre: 0.8 a 2.4.nats/ind. Así mismo, se coincide con lo obtenido por Lane *et al.*, (2008), que registran valores de diversidad en Crandon de H' : 2.237nats/ind; y en South Beach de H' : 1.292nats/ind, ambos trabajos llevados a cabo sobre áreas sin alteración por actividades humanas; así como, a lo registrado por Torres *et al.*, (2010), quienes registran valores de diversidad fluctuantes a lo largo del litoral de Yucatán, a saber H' : 0.96 a 2.61nats/ind, de los cuales, al menos dos se obtuvieron de áreas naturales protegidas como Ría Lagartos (El Cuyo: 1.20nats/ind) y Ría Celestún (Celestún: 2.61nats/ind).

Por otro lado, Álvarez-Molina *et al.*, (2012), realizan un estudio sobre la riqueza, diversidad y estados de sucesión inicial durante un periodo de 20 años en las dunas tropicales de La Mancha, sitio ubicado en la parte central del estado de Veracruz, carente de actividades humanas, obteniendo valores promedio desde 1.2 (año 1991) hasta 1.9 (año 2011) nats/ind, respectivamente, así mismo, Reyes-

Ortiz (2014), obtiene valores de diversidad que fluctuaron entre 1.60 y 2.89 $\ln(H)$, a lo largo del litoral de Tuxpan en Veracruz en sitios con uso turístico recreativo, valores que concuerdan con lo reportado en el presente estudio.

De acuerdo a lo señalado por McIntyre y Barrett (1992); Fisher *et al.*, (2004), se puede determinar que el paisaje en las áreas de estudio se encuentra fragmentado y conformado por un mosaico de hábitats que representan distintos grados de modificación con respecto a su estado original, generando gradientes de adecuación de hábitat para cada especie en concreto.

Asimismo, para el presente estudio se puede considerar lo indicado por Fischer y Lindenmayer (2006), que establecen que de acuerdo al grado de perturbación existente, se deben tomar en cuenta los gradientes de refugio, espacio, obtención de nutrientes y condiciones climáticas como factores que podrían ligarse a los procesos ecológicos de las especies de flora y en consecuencia relacionarse con los patrones de distribución de las mismas. De esta manera, en cada uno de los sitios de muestreo se puede determinar que la vegetación de duna costera es una comunidad resiliente que ha logrado adaptarse a los impactos a los que es sometida constantemente.

Aunado a lo anterior, se debe considerar lo establecido por Gallego-Fernández y Martínez (2011), quienes establecen que la diversidad de especies es baja en

dunas costeras, debido a la intensidad de los disturbios naturales, como el enterramiento por arena. Así mismo, establecen que localmente la diversidad se reduce debido a factores abióticos extremos en comunidades cercanas al mar (salinidad, Ph, tipo de suelo, sequias, fuerte oleaje, intensidad de viento, etc.). La diversidad aumenta cuando los factores ambientales son menos severos, situaciones que son evidentes en ambas zonas (ZN y ZS) de estudio y que pudieron influir en los valores de diversidad obtenidos.

8.4. Relación de la abundancia de las especies con el perfil topográfico de los sitios de muestro de la Zona Norte y Zona Sur, a través del método de componentes principales.

El perfil topográfico de las variables físicas (duna frontal, cresta de duna, duna posterior y distancia pendiente a pleamar) del sistema de duna costera de la Zona Norte y Zona Sur, puede estar inducido por la variada amplitud y profundidad que presenta el sistema arrecifal que se distribuye a lo largo de la línea de costa de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an (anexos).

En la Zona Norte, de acuerdo a la disposición de los sitios de muestreo (Norte-Sur; Figura 1), se presentó un sistema de dunas que variaron en desarrollo disminuyendo conforme se avanzaba al sitio ZN-1, no obstante, en el sitio ZN-5 se observó una duna frontal con pendiente pronunciada, cresta de duna y duna posterior bien definida, además de una extensa playa, características que fueron

variando en amplitud en los sitios restantes, llegando a reportar para el sitio ZN-3, un sistema de duna apenas perceptible (Tabla 10). En lo que respecta a la Zona Sur, esta presentó un perfil topográfico similar al observado en la Zona Norte, sin embargo, el desarrollo de la misma fue de características menores con dunas de pendiente incipientes, siendo el sitio ZS-8 el que exhibió la mayor duna frontal con pendiente muy pronunciada y el sitio ZS-9 con dunas de pendiente apenas perceptible (Tabla 10).

Las características anteriormente señaladas para ambas zonas (probablemente se debieron al mayor desarrollo o cercanía de la barrera arrecifal a lo largo del litoral del área de estudio, siendo muy profunda en algunas secciones. De acuerdo a lo registrado específicamente en los sitios ZN-5 y ZS-8, que presentaron dunas con pendientes muy pronunciadas coincidiendo con una barrera arrecifal poco desarrollada (anexos), lo que permite el arribo de oleaje y marea más intenso y frecuente. Por lo anterior, se puede considerar que la presencia de una barrera arrecifal interfiere en la fuerza de la marea, el oleaje e intensidad del viento, factores que modifican el gradiente topográfico que presenta la duna costera (Casasola y Espejel, 1986; Moreno-Casasola, 2004; Molina *et al.*, 1998).

De acuerdo al análisis de componentes principales, se puede observar que el perfil topográfico de la duna presenta influencia poco significativa en la distribución y ordenación de la comunidad florística del sistema de duna de la Zona Norte y Zona Sur. Los resultados obtenidos pueden estar relacionados a que de forma

sinérgica a los factores físico-químicos (*tipo de suelo, tamaño del grano de arena, aspersión salina, arrastre de la arena, ph, contenido de sales y minerales, cantidad de materia orgánica, disposición de agua dulce, entre otros*), eventos naturales (*tormentas, huracanes, viento, oleaje, mareas, etc.*) y antropogénicos (*asentamiento humano, actividad turística, pastoreo, cambio de uso del suelo, etc.*), de la zona costera, el establecimiento de la vegetación pionera de duna costera (herbáceas y arbustivas), responde de forma conjunta a los procesos de formación y desarrollo inicial de la duna, logrando acumular arena, derivado del arrastre y deposición de sedimento terrestre y marino (arena). Así mismo, una vez formadas las dunas si carecen de vegetación que las cubra, pueden desaparecer o migrar hacia la dirección de los vientos dominantes (Moreno-Casasola 2004; Romero-López *et al.*, 2006, Martínez 2009 y Martínez *et al.*, 2014), lográndose observar que independiente de las características morfológicas que presentan las dunas, la vegetación sigue patrones de esquemas de zonación como los propuestos por Doing; (1985); Moreno-Casasola y Espejel, (1986); Espejel, (1986); Cortés-Castelán e Islebe, (2005); Moreno-Casasola, (2004; 2006); Romero-López *et al.*, (2006); Martínez, (2009); Torres *et al.*, (2010) y Martínez *et al.*, (2014), que suelen estar más influenciados por los factores físico químicos, anteriormente señalados.

De acuerdo a la ordenación exhibida, en la Zona Norte y Zona Sur se detectó que no existe una relación significativa entre las variables físicas (duna frontal, cresta

de duna y duna posterior), con la distribución de las especies de la vegetación de duna costera, ya que son los factores ambientales (naturales y físico-químicos) los que determinan el tipo de vegetación que se establecerá en cada una de las zonas de la duna de costa.

Con los resultados obtenidos se observa, que la afectación de la vegetación de la duna costera es más evidente en la Zona Sur que en la Zona Norte, sin embargo, es preciso llevar a cabo estudios como los realizados por Álvarez-Molina *et al.*, (2012) y Calvao *et al.*, (2013), que nos ayuden a determinar que tanto va cambiando la estructura, composición, cobertura y diversidad de las comunidades florísticas del sistema de duna a través del tiempo, además de un análisis más intensivo sobre los principales impactos, derivados de las actividades humanas, así como la efectividad de las medidas de manejo.

Con la finalidad de reforzar el manejo y aprovechamiento sustentable de estas zonas se puede retomar, complementar y actualizar, lo propuesto por Molina *et al.*, (1998), quienes establecen normas prácticas para el manejo de la zona costera de Quintana Roo, considerando especies fijadoras de duna como *Canavalia rosea*, *Ipomoea pes-capre* (SEMARNAT, 2013) y de acuerdo a los resultados obtenidos a las herbáceas *Sesuvium portulacastrum*; *Ambrosia hispida*, *Ernodea littoralis*, *Cakile lanceolata*, *Hymenocallis littoralis* y *Euphorbia mesembrianthemifolia*, además de los arbustos *Tournefortia gnaphalodes*, *Scaveola plumieri* y *Suriana Maritima*.

9. Conclusiones.

La Zona Norte de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an presentó un mayor número de especies por familia, así como una mayor abundancia y diversidad de especies que lo reportado en la Zona Sur.

Las especies representativas que contribuyeron a la conformación de los grupos obtenidos denotando similitud entre los sitios de muestreo fueron *Tournefortia gnaphalodes*, *Ambrosia hispida*, *Suriana marítima* e *Hymenocallis littoralis*.

La composición y distribución de especies siguió el patrón de gradiente sucesional típico que presentan las comunidades florísticas reportadas para dunas frontales tropicales, se considera que la vegetación costera en ambas zonas de estudio se encuentran en un estado de sucesión secundario en recuperación con buen estado de conservación.

La vegetación costera que dominó en la Zona Norte fue la compuesta por el estrato arbóreo-arbustiva (matorral costero) con asociación de machones de especies herbáceas. En la Zona Sur dominó el estrato herbáceo-arbustivo con escasos individuos arbóreos.

De forma general la vegetación pionera dominante en los sitios de muestreo de la Zona Norte y Zona Sur está conformada por especies arbustivas con buen

desarrollo, con asociación de especies herbáceas tolerantes a las condiciones ambientales que imperan en ambas zonas de estudio.

La ubicación geográfica no fue un factor determinante en la similitud encontrada entre los sitios de muestreo.

Los valores de diversidad reportados indican que la zona de estudio presenta en estado de conservación aceptable, probablemente debido a las actividades de reforestación, conservación y restauración implementadas en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an a través de la normatividad aplicable y su programa de manejo, siendo más notorias dichas actividades en la Zona Norte.

En lo que respecta al desarrollo de la duna frontal costera existente en la Zona Norte y Zona Sur, es necesario llevar estudios que consideren de forma más específica la presencia del arrecife.

La distribución y composición de especies de la vegetación de duna costera, en cada una de las zonas de duna (duna frontal, cresta de duna y duna posterior), está influenciada por los factores ambientales, como el tipo de suelo, tamaño del grano de arena, aspersion salina, ph, contenido de sales y minerales, cantidad de materia orgánica, disposición de agua dulce, arrastre de arena, entre otros; además de eventos naturales a saber: tormentas, huracanes, viento, oleaje, mareas, etc., y no por el perfil topográfico existente en ambas zonas de estudio.

Se determina que el tipo de duna que se presenta en la Zona Norte y Zona Sur de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an es de tipo frontal

Aún y con las restricciones y limitaciones establecidas en la política ambiental aplicable para el área de estudio, actualmente se evidencian procesos de lotificación y limpieza en predios privados, actividades que afectan a la vegetación de duna costera, evidenciando aún conflictos de gobernabilidad.

10. Bibliografía.

- Acosta, I. (1993). Lluvia de semillas en los pastizales y matorrales de dunas costeras. Tesis Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Acosta-Rivas, C. R. (2009). Estudio de la cuenca altoandina del río cañete (Perú): distribución Altitudinal de la comunidad de macro-invertebrados bentónicos y Caracterización hidroquímica de sus cabeceras cársticas. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, en Barcelona. Pp: 12-24.
- Alcaraz-Ariza, F. J. (2013). Ordenación y clasificación. Universidad de Murcia, España. Geobotánica, Tema 12. Pp-14.
- Álvarez-Molina, L. L., Martínez, M. L., Pérez-Maqueo, O., Gallego-Fernández, J. B. y Flores, P. (2012). Richness, diversity, and rate of primary succession over 20 year in tropical coastal Dunes. *Plant Ecol.* 213:1597–1608.
- Arellano-Rodríguez, J. A., Flores-Guido, J. S., Tun-Garrido, J. y Cruz-Bojórquez, M.M. (2003). Nomenclatura, forma de vida, uso, manejo y distribución de las especies vegetales de la Península de Yucatán. En: *Etnoflora Yucatanense* 20: 1–815. UADY, Mérida, Yucatán.
- Arias-González, J. E. (1998). Trophic models of protected and unprotected coral reef ecosystems in the South of the Mexican Caribbean. *J. Fish Biol.* 53, 236– 255.
- Bastida-Zavala, J. R., Beltrán-Torres, A. U., Gutiérrez-Aguirre, M. A. y de la Fuente-Betancourt, G. (2000). Evaluación rápida de los arrecifes parche de Majagual, Quintana Roo, México. El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal. Dep. de Ecología Acuática. Pp. 6.

- Bezaury J., A. Arellano, (en prensa), Colaboración ONG - Gobierno para la planificación y control de las actividades turísticas costeras en la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Quintana Roo, México, Ponencia presentada en el Diálogo sobre Turismo Sustentable en Áreas Naturales en Norte América, Comisión de Cooperación Ambiental, Playa del Carmen, Quintana Roo., Mayo de 1999.
- Bezaury J., Riquelme, E., Carranzay J. y Rodríguez, H. (1996^a). Estudio de evaluación de la tenencia de la tierra en la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an. SEMARNAP-INE - Amigos de Sian Ka'an A.C Proyecto de Conservación de la Biodiversidad en Áreas naturales Protegidas Selectas de México. GEF. 5 Volúmenes.
- Botello, A. V., Villanueva-Fragoso, S., Gutiérrez, J. y Rojas-Galaviz, J.L. (2010). Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. Gobierno del Estado de Tabasco. SEMARNAT-INE, UNAM-ICMYL, Universidad Autónoma de Campeche. 514 p.
- Bozec, Y. M., Acosta-González, G., Núñez-Lara, E. y Arias-González, J. E. (2008). Impacts of coastal development on ecosystem structure and function of Yucatan coral reefs, Mexico. Proceeding of the 11 th International Coral Reef Symposium, Ft. Lauderdale, Florida, Session number 18. Pp-691-695.
- Brenner, L. y Vargas del Río, D. (2010). Gobernabilidad y gobernanza ambiental en México. La experiencia de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an. POLIS, vol. 6, núm. 2, pp. 115-154.
- Burke, L. A., Kura, Y., Kassem, K., Revenga, C., Spalding, M. y Mcallister, M. (2001). *P i l o t A n a l y s i s o f G l o b a l E c o s y s t e m s Coastal Ecosystems*. Published by World Resources Institute Washington, DC.Pp.77 available at <http://www.wri.org/wr2000>.

- Calvão, T, Pessoa, M. F. y Cebola-Lidon, F. (2013). Impact of human activities on coastal vegetation – A review. *Emir. J. Food Agric.* 25 (12): 926-944
- Cardillo, M., Marani, H., Borella, F. y Lípari L. (2009). Relaciones entre variabilidad en la tecnología lítica y recursos faunísticos explotados en el Golfo de San Matías. Río Negro. Congreso Argentino de Arqueometría. En prensa.
- Carrillo, E. G. (2008). Casos prácticos para muestreos e inventarios forestales. Texcoco, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco Estado de México. 172 p.
- Castillo, S. A. (1981). Fenología de dunas costeras. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 102 p.
- Castillo, A. S. y Moreno-Casasola, P. (1998). Análisis de la flora de dunas costeras del litoral atlántico de México. *Acta botánica mexicana* (1998), 45: 55-80.
- Castillo, S., Pompa, J. y Moreno-Casasola, P. (1991). Coastal sand dune vegetation of Tabasco and Campeche, Mexico. *Journal of vegetation science* 2:73-88.
- Chan-Vermont, C., Rico-Gray V. y Flores, J. S. (2002). Guía ilustrada de la flora costera representativa de la Península de Yucatán. En: *Etnoflora Yucatanense* 19: 1–133. UADY, Mérida, Yucatán.
- Chao, A., Chazdon, R.L., Colwell R. K. y Shen, T. J. (2005). Un Nuevo método estadístico para la evaluación de la similitud en la composición de especies con datos de incidencia y abundancia. En: *Monografías Tercer Milenio*, Vol. 4. Sobre Diversidad Biológica: El significado de las diversidades Alfa, Beta y Gamma. Capítulo 7. Pp: 86-96.
- CICY. (2010). Flora digital: Península de Yucatán. http://www.cicy.mx/sitios/flora%20digital/indice_busqueda.php. Fecha de consulta, Marzo-Abril de 2014.

CICY. Herbario. (2010 en adelante). Flora de la Península de Yucatán.
<http://www.cicy.mx/sitios/flora%20digital/>.

Clarke, K. R. y Gorley, R. N. (2006). PRIMER v6: User manual/tutorial, PRIMER-E, Plymouth UK.

Clarke, K. R. y Warwick, R. M. (2001). Changes in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 2nd edition, PRIMER-E: Plymouth.

Colwell, R. K., Chang, X. M. y Chang J. (2004). Interpolating, extrapolating, and comparing Incidence-based species accumulation curves. *Ecology*, 85 (10), pp. 2717–2727

CONABIO. (s.a.). Malezas de México.
<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/home-malezas-mexico.htm>.

Fecha de consulta, Marzo-Abril de 2014.

CONAFOR. (2012). Inventario Nacional Forestal y de Suelos: Manual y procedimientos para el muestreo de campo, Re-muestreo. Zapopan, Jalisco México. Pp-140.

CONAFOR. (2013). Dunas costeras mexicanas pierden 14 por ciento de su vegetación en los últimos 30 años. Comunicación Social. Boletín 131.

CONANP. (2007). Programa de conservación y manejo de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Reserva de la Biosfera Arrecifes de Sian Ka'an y Area de Proteccion de Flora y Fauna Uaymil. 113 pp.

CONANP; Amigos de Sian Ka'an y The Nature Conservancy. (2007). Plan de Conservación para el Complejo Sian Ka'an (Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Reserva de la Biosfera Arrecifes de Sian Ka'an, Área de Protección de Flora y Fauna Uaymil), 2007-2011. Cancún, Quintana Roo, México.

- Cortés-Castelán, J. C. e Islebe, G. A. (2005). Influencia de factores ambientales en la distribución de especies arbóreas en las selvas del sureste de México. *Rev. Biol. Trop.* (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 53 (1-2): 115-133.
- Cuevas, E., Liceaga-Correa, M. A., Rincón-Sandoval, L. A., Mexicano-Cíntora, G., Arellano-Méndez, L., Euán-Ávila, J. I., Hernández-Núñez, H. y Mulsow, S. (2013). Evaluación morfológica y sedimentológica de campos de dunas submarinas en la costa de Yucatán, México. *Ciencias Marinas*, 39(1): 83–99.
- D.O.F (2005). ACUERDO por el que se da a conocer el resumen del Programa de Manejo del Área Natural Protegida con el carácter de Reserva de la Biosfera Sian Ka'an.
- D.O.F (2005). Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.
- D.O.F (2014). DECRETO por el que se adiciona un artículo 123 Bis al Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.
- D.O.F. (2002). El programa de ordenamiento ecológico de la Zona Costera de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an. Publicado en el diario oficial del Estado de Quintana Roo.
- D.O.F. (2003). Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.
- D.O.F. (2015). ACUERDO por el que se da a conocer el resumen del Programa de Manejo del Área Natural Protegida con el carácter de Reserva de la Biosfera Sian Ka an.
- Dachary, A. C. y Arnaiz-Burne, S. M. (1989). Sian Ka 'an, El hombre y su economía. CIQRO. Chetumal Quintana Roo. Pp-140.
- Dayton, A. J. P., Curran, S., Kitchingman, A., Wilson, M., Catenazzi, A., Restrepo, J., Birkeland, C., Blaber, S., Saifullah, S., Branch, G., Boersma, D., Nixon, S., Dugan, P., Davidson, N. y C. Vo"ro"smar (2003). Coastal systems. In Agardy, T. y Adler, J. (eds), *Ecosystems and Human-wellbeing: A framework for assessment*. A. e. al., Island Press: 515-543.

- Defeo, O., McLachlan A., Schoeman, D. S., Schlacher, T. A., Dugan, J., Jones, A., Lastra, M. y Scapini, F. (2009). Threats to sandy beach ecosystems: A review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 81: 1–12.
- Doing, H. (1985). Coastal fore-dune zonation and succession in various parts of the world. *Vegetatio* 61, 65-75.
- Durán, G. y Olmsted, I. (1990). "Plantas vasculares de Sian Ka'an". En: D. Navarro y J. G. Robinson (comps.). *Diversidad biológica en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México*. Centro de Investigaciones de Quintana Roo, México, pp. 47-94.
- Durán, R., Torres, W. y Espejel, I. (En Prensa). La vegetación de la duna costera del estado de Yucatán. En: Durán R., Méndez M. y Arellano J. Eds. *Diversidad biológica y desarrollo humano en Yucatán*. CICY, SEDUMA PNUD, CONABIO.
- Escalante-Espinosa, T. (2003). ¿Cuántas especies hay? Los estimadores no paramétricos de Chao. *Elementos: Ciencia y cultura*. No. 052. Pp: 53-56.
- Espejel I. (1986). La Vegetación de las Dunas Costeras de la Península de Yucatán. II. Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Quintana Roo, México. *BIOTICA* / 11 (1): 7 - 24.
- Espejel, I. (1983). Dunas Costeras. En SEDUE-CIQRO (eds.): *Sian Ka'an estudios preliminares para la proposición de una reserva de la biósfera en Quintana Roo*.
- Espejel, I. (1992). Coastal sand dune communities and soil relationships in the Yucatan Peninsula, Mexico. In: Seeliger U. (Editor). *Coastal plant communities of Latin America*. Academic Press. San Diego, California, U.S.A. pp. 323-335.
- Fischer, J., Lindenmayer, D.B. y Fazey, I. (2004). Appreciating ecological complexity: habitat contours as a conceptual landscape model. *Conservation Biology* 18:1245-1253.
- Fischer, J. y Lindenmayer, D.B. (2006). Beyond fragmentation: the continuum model for fauna research and conservation in human-modified landscapes. *Oikos* 112:473-480.

- Flores, S. y Espejel, I. (1994). Tipos de vegetación de la Península de Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán. Etnoflora Yucatanense Fasciculo 3. Yucatán, México.
- Gallego-Fernández, J. B. (2011). Ecología general de dunas costeras. Universidad de Sevilla España. Pp- 36.
- Geissert, D. y Dubroeuq, D. (1995). Influencia de la geomorfología en la evolución de suelos de dunas costeras en Veracruz, México. Investigaciones Geográficas Boletín, núm. especial 3.
- González–Oreja, J. A., De la Fuente–Díaz–Ordaz, A. A., Hernández–Santín, L., Buzo–Franco, D. y Bonache– Regidor, C. (2010). Evaluación de estimadores no paramétricos de la riqueza de especies. Un ejemplo con aves en áreas verdes de la ciudad de Puebla, México. *Animal Biodiversity and Conservation*, 33.1: 31–45.
- Gracia-Prieto, F. J., Sanjaume, E., Hernández, L., Hernández, A. I., Flor, G. y Gómez-Serrano, M. Á. (2009). 2 Dunas marítimas y continentales. En: VV.AA., Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 106 p.
- Gutiérrez D., García-Sáez, C., Lara, M. y Padilla, C. (1993). Comparación de Arrecifes Coralinos: Veracruz y Quintana Roo. Pp. 787-806 In: Salazar-Vallejo S.I. & N.E. González (eds.). Biodiversidad Marina y Costera de México. CONABIO y CIQRO, 865 p.
- Hesp, P. (2002). Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology* 48. 245–268.
- Hesp, P. (2004). 3. Coastal Dunes in the Tropics and Temperate Regions: Location, Formation, Morphology and Vegetation Processes. In: Martinez, M.L. y Psuty, N.P.

(Eds.). Coastal Dunes, Ecology and Conservation. Ecological Studies, Vol. 171. Pp: 29-49.

Holmes, D. (2001). The geography of coastal sand dunes. Geo Factsheet. No.119. Pp.1-5

Howell, D. C. (2002). Statistical methods for psychology. 5th edition. Pacific Grove CA: Wadsworth. 802 pp.

INE (1996). Programa de Manejo Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an. INE/SEMARNAP. Programas de Manejo 3, Áreas Naturales Protegidas, México. 75 pp.

INEGI (2004). Guía para la interpretación de cartografía uso del suelo y vegetación. Escala 1: 250 000; Serie III.

Isermann, M. (2011). Patterns in species diversity during succession of coastal dunes. Journal of Coastal Research, 27(4), 661–671. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208.

Jiménez-Valverde A. y Hortal J. (2003). Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. Revista Ibérica de Aracnología; Sección: Artículos y Notas. Vol. 8. Pp: 151 – 161.

Jiménez-Valverde, A. y Hortal, J. (2003). Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. ISSN: 1576 - 9518; Sección: Artículos y Notas. Vol. 8. Pp: 151 – 161.

Lane, C., Wright, S.J., Roncal, J. y Maschinski, J. (2008). Characterizing environmental gradients and their influence on vegetation zonation in a subtropical coastal sand dune system. Journal of Coastal Research. 24 (4C), 213-224. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208.

Lazcano-Barrero, M. A., López-Santos, C., Vega-Zepeda, A., Loreto-Viruel, R. Ma., Hadad-López, W., Redman, S., Batun, A., González, R., Arreola, G., García-Saez, C. A., González-Hunt, R. y Murria, G. (2000). Monitoreo de Arrecifes Coralinos de Xcalak,

Quintana Roo México: 2000-2001 Reporte final. Quintana Roo, México, Amigos de Sian Ka'an. Pp. 41.

Leirana-Alcocer, J. L. y Bautista-Zuñiga, F. (2014). Patrones de Asociación entre la cobertura vegetal y la calidad del suelo en el matorral costero de la Reserva Ría Lagartos, Yucatán. *Ciencia. UAT* 8(2): 44-53. ISSN 2007-7521.

Lepš J. y Šmilauer P. (2003). *Multivariate analysis of ecological data using CANOCO*. Cambridge University Press. Cambridge.

Lonard R. I. y Frank W. J. (1999). The Biological Flora of Coastal Dunes and Wetlands. *Ipomoea imperati* (Vahl) Griseb. *Journal of Coastal Research*. Vol. 15. No.3.

López Hernández, J. R., Bello-Baltazar, E., Estrada-Lugo, E. I. J., Brunel-Manse, M. C. y Ramírez-Miranda, C. A. (2013). Instituciones locales y procesos organizativos: el caso de la Reserva de la Biósfera Sian Ka'an. *Estudios sociales*. Volumen XXI, número 41. Pp. 67-93.

López-Gómez, A. M. y Williams-Linera, G. (2006). Evaluación de métodos no paramétricos para la estimación de riqueza de especies de plantas leñosas en cafetales. *Bol.Soc.Bot.Méx.* 78: 7-15.

Lozares Colina, C. y López-Roldán, P. (1991). El análisis de componentes principales. Aplicación al análisis de datos secundarios. *Papers. Revista de Sociología*, Pp-37: 31-63.

MacKinnon, H. B. (2005). Plantas costeras que conservan playas y alimentan las aves. *Amigos de Sian Ka'an*. Pp-39.

Magurran, A. E. (1988). *Diversidad ecológica y su medición*. Princeton University Press, New Jersey, 200 pp.

- Márquez-García, A. Z., Márquez-García, E., Crevenna-Recaséns A. B. y Torres-Rodríguez, V. (2010). Cambio en la línea de costa en la Riviera Maya debido a fenómenos hidrometeorológico extremos, ¿Consecuencia del cambio global climático?, p. 345-358. En: A.V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez, y J.L. Rojas Galaviz (ed.). Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. Semarnat-line, unam-icmyl, Universidad Autónoma de Campeche. 514 p.
- Martínez, M. L. (2008). Dunas costeras. Investigación y Ciencia. Pp. 35.
- Martínez, M. L. (2009). Las Playas y las dunas costeras: un hogar en movimiento. La ciencia para todos. Fondo de Cultura Económica. Ecología: 226. Pp -189.
- Martínez, M. L., Intralawan, A., Vázquez, G., Pérez-Maqueo, O., Sutton, P. y Landgrave, R. (2007). The coasts of our world: Ecological, economic and social importance. *Ecological Economics* 63:254-272. (ISSN: 0921-8009; factor de impacto: 2.422).
- Martínez, M. L., Maun, M.A. y Psuty, N.P. (2004). The Fragility and Conservation of the World's Coastal Dunes: Geomorphological, Ecological, and Socioeconomic Perspectives. *Ecological Studies*, Vol. 171.
- Martínez, M. L., Moreno-Casasola, P. y Castillo, S. (1993). Biodiversidad Costera: Playas y Dunas En: Salazar-Vallejo S. I. y González N.E. Eds. Biodiversidad Marina y Costera de México, pp.160-181 CONABIO y CIQRO, México.
- Martínez, M. L., Moreno-Casasola, P., Espejel, I., Jiménez-Orocio, O. Infante Mata, D. y Rodríguez-Revelo, N. (2014). Diagnóstico de las dunas costeras de México. CONAFOR. 350 pp. ISBN. 978-607-8383-17-7.
- Martínez, M. L., Valverde, T. y Moreno-Casasola, P. (1992). Germination response to temperature, salinity, light and depth of sowing of ten tropical dune species. *Oecologia*. 92:343-353.

- Martínez-Romero, E. (1996). La restauración ecológica. *Ciencias*. No. 43. Pp: 56-61
- Matteucci, S. D. y Colma, A. (1982). Metodología para el estudio de la vegetación. Washington, US, OEA. 168 p. (Serie Biología, monografía no. 22).
- McIntyre, S. y Barrett, G.W. (1992). Habitat variegation, an alternative to fragmentation. *Conservation Biology* 6:146-147.
- Miller, T.E., Gornish, E.S. y Buckley, H.L. (2010). Climate and coastal dune vegetation: disturbance, recovery and succession. *Plant ecology* 206:97-104.
- Miranda, F. (1978). Vegetación de la Península Yucateca. Colegio de Postgraduados. Chapingo México. 271 p.
- Miranda-Vera, C. E. (2003). La zona costera como totalidad ambiental. Primera aproximación. *Rev. Invest. Mar.* 24(1):63-68.
- Molina, C., Rubinoff, P. y Carranza, J. (1998). Normas practicas Para el Desarrollo Turístico: De la Zona Costera de Quintana Roo, México. (Guidelines for Low Impact Tourism along the Coast of Quintana Roo, México). Quintana Roo, México, Amigos de Sian Ka'an A.C. y centro de recursos costeros, uri. Pp- 13-16.
- Montani, T. y Busso, C. (2004). Métodos de estudio de la vegetación; Guía de trabajos prácticos de ecología. Departamento de Agronomía. U.N.S. Pp-68.
- Moreno, C. E. (2001) Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.
- Moreno, N. (1984). Glosario botánico ilustrado. Compañía editorial Continental, S.A. México.
- Moreno-Casasola, P. (2004). Playas y Dunas del Golfo de México. Una visión de su situación actual. En: Diagnóstico ambiental del Golfo de México. M. Caso, I. Pisanty y E. Escurra (comp.). SEMARNAT (INE)-INECOL-Harte Research Institute for Gulf of México Studies. 491-520.

- Moreno-Casasola, P. (2006). Playas y dunas. En: P. Moreno-Casasola, E. Peresbarbosa y A.C. Travieso-Bello. Editores. Estrategias para el manejo integral de la zona costera: un enfoque municipal. Instituto de Ecología A.C.-Comisión Nacional de Areas Naturales Protegidas (SEMARNAT)- Gobierno del Estado de Veracruz. Xalapa, Ver., México. Vol I: 121-149.
- Moreno-Casasola, P. y Espejel I. (1986). Classification and ordination of coastal sand dune vegetation along the Gulf and Caribbean Sea of Mexico. *Vegetatio* 66: 147-182.
- Moreno-Casasola, P., Espejel, I., Castillo, S., Castillo-Campos, G., Durán, R., Pérez-Navarro, J.J., León, J.L., Olmsted, I. y Trejo-Torres, J. (1998). Flora de los ambientes arenosos y rocosos de las costas de México. En: Halffter G. (Comp.). La Diversidad Biológica de Iberoamérica Vol. II, pp.177-258 *Acta Zoológica Mexicana, nueva serie*, Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, México.
- Mostacedo, B. y Fredericksen T. S. (2000). Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en Ecología Vegetal. BOLFOR. Santa Cruz, Bolivia. 92 pp.
- Moya, N., Gibon, F. M., Oberdorff, T., Rosales, C. y Domínguez, E. (2009). Comparación de las comunidades de macro-invertebrados Acuáticos en ríos intermitentes y permanentes del altiplano Boliviano: implicaciones para el futuro cambio climático. ISSN 1726-2216. *Ecología Aplicada*, 8(2).
- Mueller-Dombois, D. y Ellenberg, H. (1974). *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. New York: John Wiley and Sons, 547p.
- Neo, L., Yee, T. K. A., Chong, Y. K., Kee, Y. C. y Tan, T. W. H. (2013). The vascular plant flora of admiralty forest, Singapore. *Nature In Singapore*. 6: 61-72.

- Núñez-Lara E., Arias-González J. E. y Legendre P. (2005). Spatial patterns of Yucatan reef fish communities: Testing models using a multi-scale survey design. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 324: 157–169.
- Núñez-Lara, E. y Arias-González, J. E. (1998). Relationship between reef fish community structure and environmental variables of Southern Mexican Caribbean. *J. Fish Biol.* 53 (Suppl. A), 209- 221.
- Olmsted, I., López-Ornat A. y Durán R. (1983). Vegetación de Sian Ka'an. Reporte Preliminar. En: Sian Ka'an, Estudios Preliminares de una Zona en Quintana Roo, Propuesta como Reserva de la Biosfera. CIQRO-SEDUE pp. 63-84.
- Padilla-Gómez, E. (2007). Estudio Ecológico y etnobotánico de la vegetación del Municipio de San Pablo Etla, Oaxaca. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional- Unidad Oaxaca. Oaxaca México.
- Padilla-Sotelo, L. S. y Luna-Moliner, A. M. (2003). Percepción y conocimiento ambiental en la costa de Quintana Roo: una caracterización a través de encuestas. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM.* Núm. 52, pp. 99-116.
- Palacios-Chávez, R., Ludlow-Wiechers B. y Villanueva, R. (1991). Flora Palinológica de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México. Centro de Investigaciones de Quintana Roo. México, DF. 321 pp.
- Pozo de la Tijera, C. y Escobedo-Cabrera, J. E. (1999). Mamíferos terrestres de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México. *Rev. Biol. Trop.*, 47(1-2): 251-262.
- Pozo, C., Armijo-Canto, N. y Calmé, S. (editoras). (2011). Riqueza Biológica de Quintana Roo. Un análisis para su conservación, Tomo I. El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio),

Gobierno del Estado de Quintana Roo y Programa de Pequeñas Donaciones (ppd).
México, D. F.

Ramsar, (2003). Sitio Sian Ka'an. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar, (FIR). Pp-
15.

Ranwell, D. S. y Rosalind B. (1995). Coastal dune management guide. UK, Reminder Press.

Reyes-Ortiz, J.L. (2014). Estructura comunitaria de la vegetación litoral del municipio de
Tuxpan, Veracruz. Tesis de Maestría en manejo de ecosistemas marinos y costeros.
Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, Campus
Tuxpan. 96 p.

Rogers, S. y Nash, D. (2003). The Dune Book. North Carolina Sea Grant, NC State University,
Box 8605, Raleigh, NC 27695-8605. Pp. 32.

Romero-López, B. E., León de Luz, J. L., Pérez-Navarro, J.J. y De la Cruz-Agüero, G.
(2006). Estructura y composición de la vegetación de la barra costera El Mogote, Baja
California Sur, México. *Boc. Sol. Bot. Méx.* 79:21 -32.

Ruiz-Zárate M.A., Hernández-Landa, R.C., González-Salas, C., Núñez-Lara, E. y Arias-
González. E. (2006). Condition of Coral Reef Ecosystems in central-southern Quintana
Roo, Mexico (Part 1: Stony corals and algae). Pp. 318-337. In: J.C. Lang (ed.). *Status
of Coral Reefs in the western Atlantic: Results of initial Surveys, Atlantic and Gulf Rapid
Reef Assessment (AGRRA) Program.* Atoll Research Bulletin 496 p.

Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México.* Limusa, México, 432 pp.

Schwartz, M.L. (2005). *Encyclopedia of Coastal Science.* Springer-Verlag, The Netherlands.
1211pp.

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

- SEMARNAP. (1996). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Diario Oficial de la Federación 13/12/1996, Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, México, D.F.
- SEMARNAP-INE. (2000). Integración del Ordenamiento Ecológico Costero de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an. Cancún-Quintana Roo. Pp-53.
- SEMARNAT. (2006). Caso 1: Desarrollo Costa Cancún (3^{ra} Etapa CIP Cancún). Serie Estudios de Caso. Centro de Información para la Gestión Ambiental. Pp-11.
- SEMARNAT. (2013). Manejo de Ecosistemas de Dunas Costeras, Criterios Ecológicos y Estrategias. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F. Pp: 97.
- Shannon, C.E. y Weaver. W. (1949). The Mathematical Theory of Communication. University Illinois Press, Urbana, IL.
- StatSoft, Inc. (2007). STATISTICA (data analysis software system), version 8.0. www.statsoft.com.
- Stohlgren, T. J., Falkner M. B. y Schell L. D. (1995). A Modified-Whittaker nested vegetation sampling method. Vegetatio 117: 113-121.
- Ter Braak, C. J. F. y Smilauer, P. (1998). CANOCO reference manual and User's guide to Canoco for windows: software for canonical community ordination (version 4.5) Cajo JF ter Braak and Petr Smilauer. Centre for Biometry.
- Tilman, D. (1993). Community, Diversity and Succession: The roles of Competition, Dispersal, and Habitat Modification. In Schulze, E. D. y Mooney, H.A (Eds.) Biodiversity and Ecosystem Function. Springer-Verlag, Berlín. Pp 327-344.

- TopTropicals. (2003-2014). Rare tropical plants for home and garden. <http://toptropicals.com/html/toptropicals/catalog/catalog.htm>. Fecha de consulta, Marzo-Abril de 2014.
- Torres, L. N. y Bojórquez, L. H. (2002). Las dunas costeras de Veracruz: Un paisaje amenazado. *Revista Higiene* 4:7-15.
- Torres, W., Méndez, M., Dorantes, A. y Durán, R. (2010). Estructura, composición y diversidad del matorral de duna costera en el litoral yucateco. *Bol.Soc.Bot.Méx.* 86: 37-51.
- Tropicos.org. (s.a.). Missouri Botanical Garden. <http://www.tropicos.org>. Fecha de consulta Marzo-Abril de 2014.
- Tsoar H. (2001). Types of aeolian sand dunes and their formation, p.403-429. In: *Geomorphological Fluid Mechanics*. Balmforth N.J. and A. Provenzale (Eds). Springer. Berlin.
- UNIBIO.UNAM. (s.a.). Consulta de ejemplares en colecciones biológicas. MINERO. <http://unibio.unam.mx/minero/index.jsp?accion=md>. Fecha de consulta, Marzo-Abril de 2014.
- Van Tongeren, O.F.R. Cluster analysis. (1995). En: R.H. Jongman, C.J.F. ter Braak, O.F.R. van Tongeren (eds). *Data Analysis in community and landscape ecology*. Cambridge University Press. Pp: 174-203.
- Warwick, R.M., Platt, H.M. y Somerfield, P.J. (1998). Free-living marine nematodes. Part. III. Monhysterids. *Synopses of the British fauna (new series)*, No. 53. E J Brill/Dr W Backhuys, Leiden.
- Wolfe, S.A. y Nickling, W.G. (1993). The protective role of sparse vegetation in wind erosion. *Progress in Physical Geography* 17:50-68.

Zar, J.H. (1999). Biostatistical Analysis. 4th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 662 pp.

Anexos.

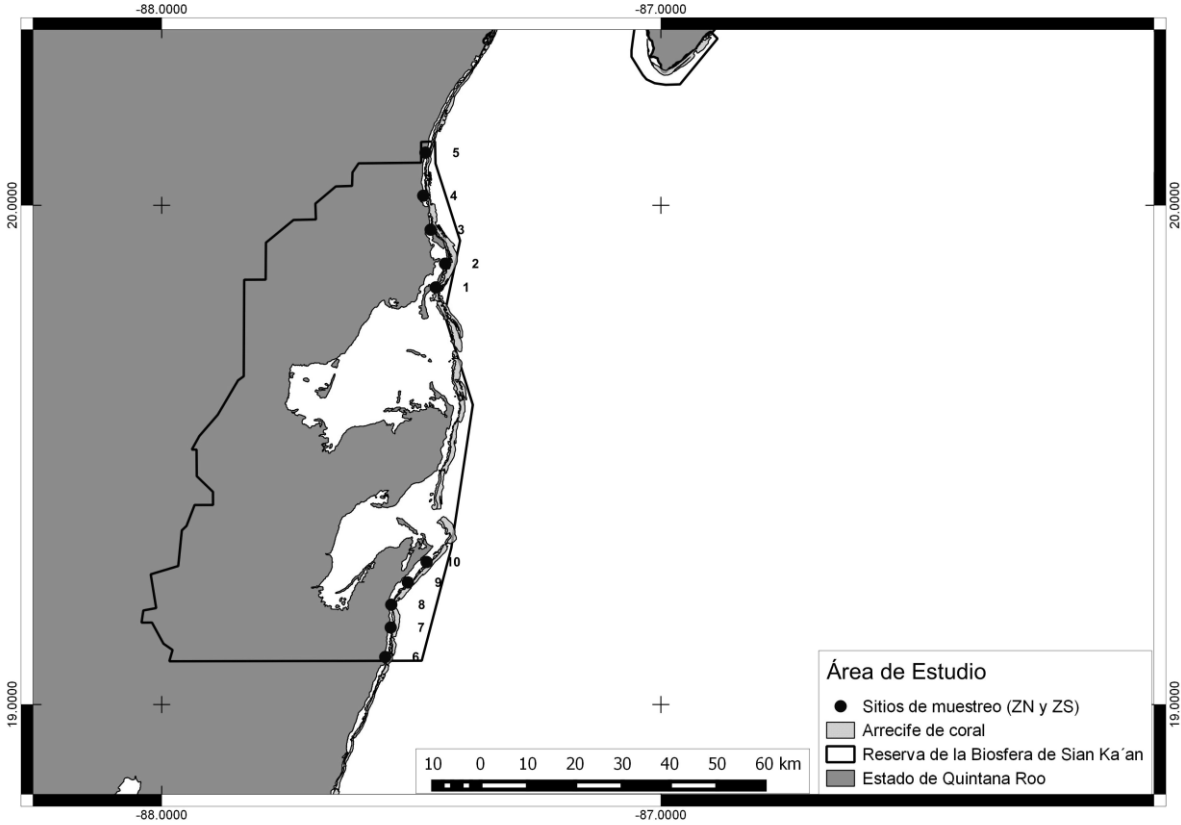


Figura 20. Distribución del sistema arrecifal y de los sitios de muestreo a lo largo del litoral costero de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an (coordenadas geográficas: wvs – Datum wgs84).

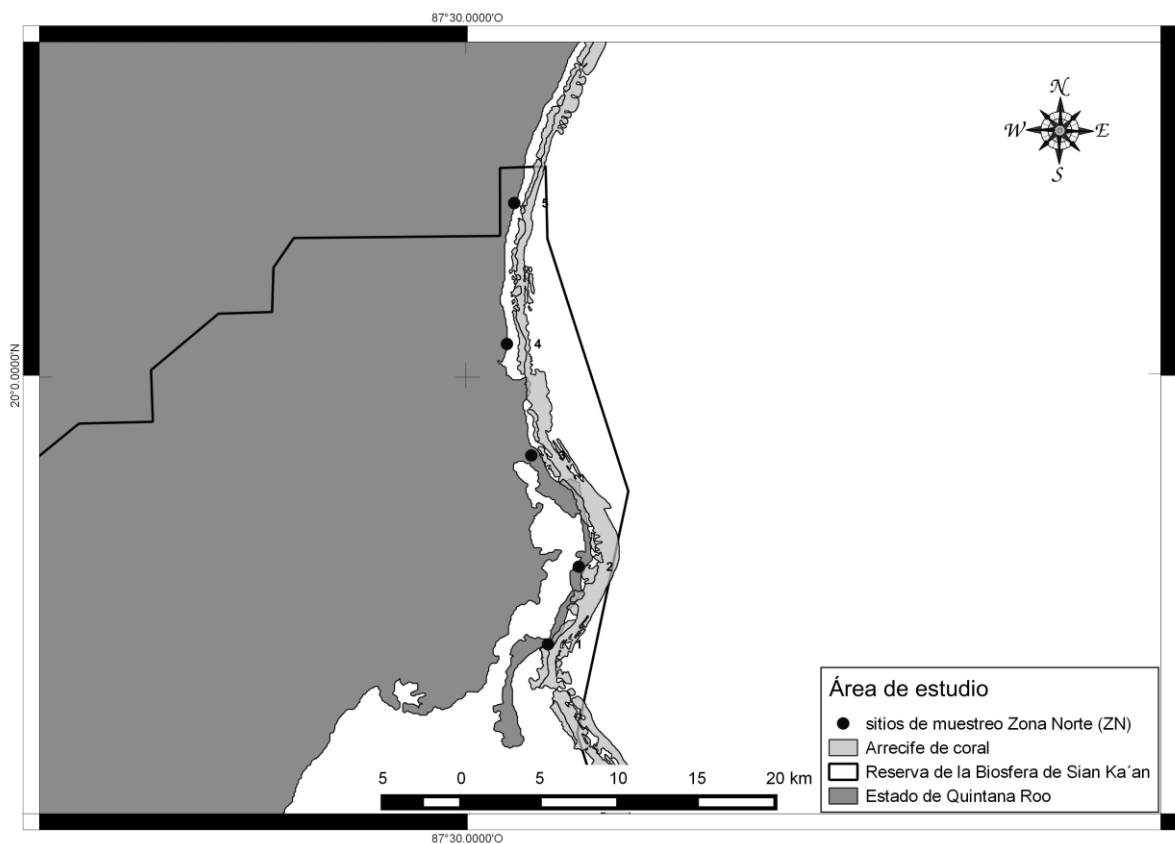


Figura 21. Sistema arrecifal dentro del área de estudio, en donde se muestran los sitios de estudio distribuidos a lo largo de la Zona Norte de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an (coordenadas geográficas: wvs – Datum wgs84).

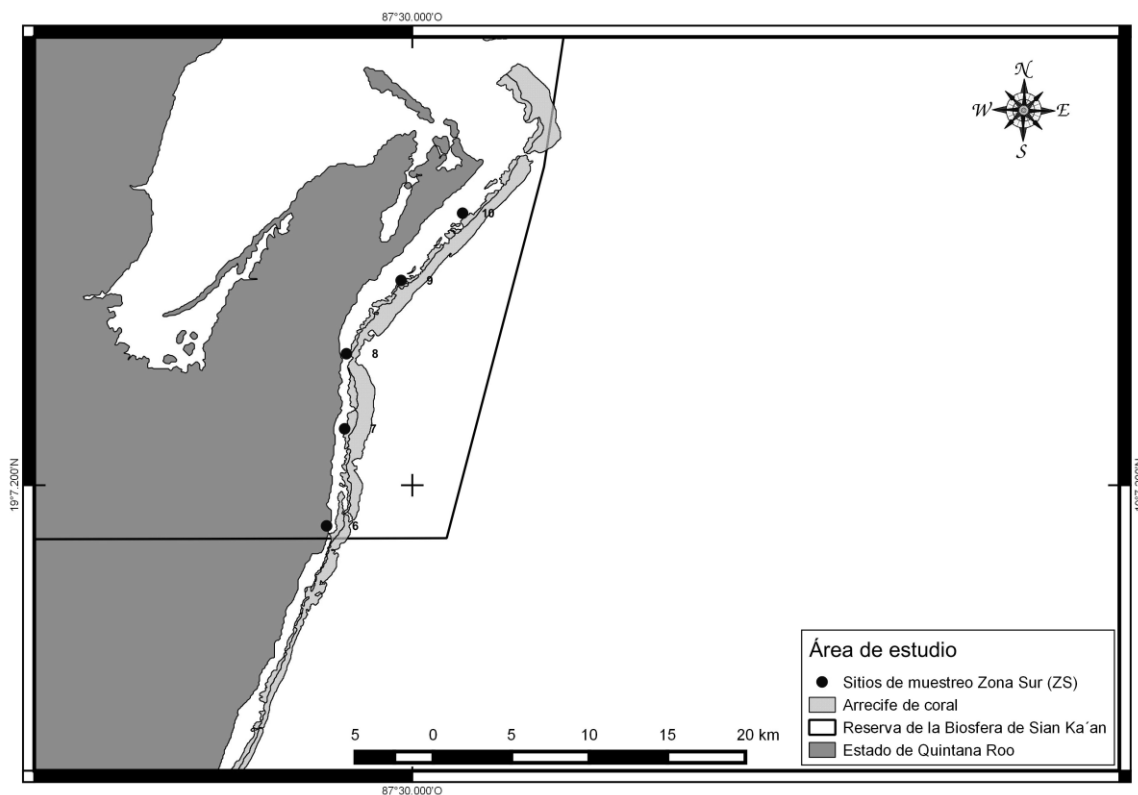


Figura 22. Sistema arrecifal dentro del área de estudio, en donde se muestran los sitios de estudio distribuidos a lo largo de la Zona Sur de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an (coordenadas geográficas: wvs –Datum wgs84).

Tabla 11. Composición y ubicación de las especies y familias en cada uno de los sitios de muestreo de la Zona Norte y Zona Sur.

Zona	Sitio	Familia	Especie	Estrato registrado	Ubicación en las zonas de la duna (DF, CD y DP)**
Norte	1	<i>Arecaceae</i>	<i>Thrinax radiata</i> ***	Regeneración, arbustivo y arbóreo	CD y DP
		<i>Aizoaceae</i>	<i>Sesuvium portulacastrum</i>	Herbáceo	DF
		<i>Asteraceae</i>	<i>Ambrosia hispida</i>	Herbáceo	CD
		<i>Convolvulaceae</i>	<i>Ipomoea imperati</i>	Herbáceo	CD y DP
		<i>Amaranthaceae</i>	<i>Alternanthera ramosissima</i>	Herbáceo	CD y DP
		<i>Cyperaceae</i>	<i>Fimbristylis cymosa</i>	Herbáceo	DP
		<i>Sin identificar</i>	<i>SI-01 (ZN) *</i>	Herbáceo	CD
		<i>Boraginaceae</i>	<i>Tournefortia gnaphalodes</i>	Arbustivo	DF
		<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Gymnanthes lucida</i>	Arbóreo	DP
		<i>Burseraceae</i>	<i>Bursera simaruba</i>	Arbóreo	DP
	2	<i>Leguminosae</i>	<i>Caesalpinia bonduc</i>	Regeneración, arbustivo	CD y DP
		<i>Arecaceae</i>	<i>Thrinax radiata</i> ***	Regeneración, arbustivo, arbóreo	CD y DP
		<i>Arecaceae</i>	<i>Cocos nucifera</i>	Regeneración, arbustivo, arbóreo	DP
		<i>Asteraceae</i>	<i>Ambrosia hispida</i>	Herbáceo	DF y CD
		<i>Gramineae</i>	<i>Sporobolus virginicus</i>	Herbáceo	DF
		<i>Amaryllidaceae</i>	<i>Hymenocallis littoralis</i>	Herbáceo	CD
		<i>Amaranthaceae</i>	<i>Alternanthera ramosissima</i>	Herbáceo	DP
		<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Euphorbia blodgettii</i>	Herbáceo	DP
		<i>Verbenaceae</i>	<i>Lantana involucrata</i>	Arbustivo	DP
<i>Chrysobalanaceae</i>	<i>Chrysobalanus icaco</i>	Arbustivo	DP		

Zona	Sitio	Familia	Especie	Estrato registrado	Ubicación en las zonas de la duna (DF, CD y DP)**
		<i>Boraginaceae</i>	<i>Tournefortia gnaphalodes</i>	Arbustivo	DF y CD
		<i>Surianaceae</i>	<i>Suriana maritima</i>	Arbustivo	CD y DP
		<i>Leguminosae</i>	<i>Pithecellobium keyense</i>	Arbustivo	CD y DP
		<i>Solanaceae</i>	<i>Solanum erianthum</i>	Arbustivo	CD
		<i>Anacardiaceae</i>	<i>Metopium brownei</i>	Arbustivo, arbóreo	DP
		<i>Polygonaceae</i>	<i>Coccoloba uvifera</i>	Arbustivo, arbóreo	DP y CD
		<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Gymnanthes lucida</i>	Arbóreo	DP
	3	<i>Aizoaceae</i>	<i>Sesuvium portulacastrum</i>	Herbáceo	DF
	3	<i>Asteraceae</i>	<i>Ambrosia hispida</i>	Herbáceo	CD, DP y DF
	3	<i>Cyperaceae</i>	<i>Fimbristylis cymosa</i>	Herbáceo	DP
	3	<i>Rubiaceae</i>	<i>Ernodea littoralis</i>	Herbáceo	DP
	3	<i>Brassicaceae</i>	<i>Cakile lanceolata</i>	Herbáceo	DP
	3	<i>Goodeniaceae</i>	<i>Scaveola plumieri</i>	Herbáceo, arbustivo,	DF y CD
	3	<i>Boraginaceae</i>	<i>Tournefortia gnaphalodes</i>	Arbustivo	DF, CD y DP
	3	<i>Surianaceae</i>	<i>Suriana maritima</i>	Arbustivo	CD
	3	<i>Verbenaceae</i>	<i>Lantana involucrata</i>	Arbustivo	DP
	3	<i>Leguminosae</i>	<i>Caesalpinia bonduc</i>	Arbustivo	DP
	3	<i>Polygonaceae</i>	<i>Coccoloba uvifera</i>	Arbustivo	DP
	3	<i>Boraginaceae</i>	<i>Cordia sebestena</i>	Arbustivo	DP
	3	<i>Arecaceae</i>	<i>Thrinax radiata</i> ***	Regeneración, arbustivo, arbóreo	DP
	3	<i>Arecaceae</i>	<i>Cocos nucifera</i>	Arbóreo	DP
	3	<i>Amarylidaceae</i>	<i>Hymenocallis littoralis</i>	Rara	CD y DP
	4	<i>Arecaceae</i>	<i>Cocos nucifera</i>	Regeneración	DP

Zona	Sitio	Familia	Especie	Estrato registrado	Ubicación en las zonas de la duna (DF, CD y DP)**
		<i>Arecaceae</i>	<i>Thrinax radiata</i> ***	Regeneración, arbustivo, arbóreo	DP
		<i>Asteraceae</i>	<i>Ambrosia hispida</i>	Herbáceo	DF
		<i>Brassicaceae</i>	<i>Cakile lanceolata</i>	Herbáceo	DF, CD y DP
		<i>Poaceae</i>	<i>Cenchrus incertus</i>	Herbáceo	CD y DP
		<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Euphorbia mesembrianthemifolia</i>	Herbáceo	DF, CD y DP
		<i>Leguminosae</i>	<i>Pithecellobium keyense</i>	Herbáceo	DP
		<i>Surianaceae</i>	<i>Suriana maritima</i>	Arbustivo	DF
		<i>Boraginaceae</i>	<i>Tournefortia gnaphalodes</i>	Arbustivo	CD
		<i>Polygonaceae</i>	<i>Coccoloba uvifera</i>	Arbustivo	CD
		<i>Anacardiaceae</i>	<i>Metopium brownei</i>	Arbóreo	DP
		<i>Amaryllidaceae</i>	<i>Hymenocallis littoralis</i>	Rara	CD
	5	<i>Arecaceae</i>	<i>Thrinax radiata</i> ***	Regeneración, herbáceo arbustivo, arbóreo	CD y DP
		<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Euphorbia mesembrianthemifolia</i>	Herbáceo	DF y CD
		<i>Amaranthaceae</i>	<i>Alternanthera ramosissima</i>	Herbáceo	CD
		<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Euphorbia blodgettii</i>	Herbáceo	CD
		<i>Anacardiaceae</i>	<i>Metopium brownei</i>	Herbáceo, arbóreo	DP
		<i>Arecaceae</i>	<i>Cocos nucifera</i>	Arbóreo	DP
Sur	6	<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Euphorbia mesembrianthemifolia</i>	Herbáceo	DF
		<i>Poaceae</i>	<i>Sporobolus virginicus</i>	Herbáceo	DF
		<i>Brassicaceae</i>	<i>Cakile lanceolata</i>	Herbáceo	DF

Zona	Sitio	Familia	Especie	Estrato registrado	Ubicación en las zonas de la duna (DF, CD y DP)**
		<i>Asteraceae</i>	<i>Ambrosia hispida</i>	Herbáceo	CD y DP
		<i>Leguminosae</i>	<i>Canavalia rosea</i>	Herbáceo	CD y DP
		<i>Sin identificar</i>	<i>SI-01 (ZS) *</i>	Herbáceo	CD
		<i>Amaryllidaceae</i>	<i>Hymenocallis littoralis</i>	Herbáceo, rara	CD y DP
		<i>Surianaceae</i>	<i>Suriana maritima</i>	Arbustivo	DF y CD
		<i>Boraginaceae</i>	<i>Tournefortia gnaphalodes</i>	Arbustivo	DF y CD
		<i>Verbenaceae</i>	<i>Lantana involucrata</i>	Arbustivo	CD
		<i>Arecaceae</i>	<i>Cocos nucifera</i>	Arbustivo	DP
		<i>Arecaceae</i>	<i>Thrinax radiata ***</i>	Arbustivo	DP
		<i>Arecaceae</i>	<i>Thrinax radiata ***</i>	Regeneración	DP
	7	<i>Leguminosae</i>	<i>Canavalia rosea</i>	Herbáceo	DF, CD y DP
	7	<i>Asteraceae</i>	<i>Ambrosia hispida</i>	Herbáceo	DF, CD y DP
	7	<i>Poaceae</i>	<i>Panicum amarum</i>	Herbáceo	CD y DP
	7	<i>Surianaceae</i>	<i>Suriana maritima</i>	Arbustivo	DF
	7	<i>Verbenaceae</i>	<i>Lantana involucrata</i>	Arbustivo	CD y DP
	7	<i>Sapotaceae</i>	<i>Pouteria campechiana</i>	Arbustivo	DP
	7	<i>Arecaceae</i>	<i>Cocos nucifera</i>	Arbóreo	DP
	8	<i>Poaceae</i>	<i>Sporobolus virginicus</i>	Herbáceo	DF y CD
	8	<i>Poaceae</i>	<i>Panicum amarum</i>	Herbáceo	CD
	8	<i>Convulvolaceae</i>	<i>Ipomoea imperati</i>	Herbáceo	CD y DP
	8	<i>Amaryllidaceae</i>	<i>Hymenocallis littoralis</i>	Herbáceo	DP
	8	<i>Leguminosae</i>	<i>Canavalia rosea</i>	Herbáceo	DP
	8	<i>Solanaceae</i>	<i>Solanum erianthum</i>	Herbáceo	DP
	8	<i>Sin identificar</i>	<i>SI-02 (ZS) *</i>	Herbáceo	CD

Zona	Sitio	Familia	Especie	Estrato registrado	Ubicación en las zonas de la duna (DF, CD y DP)**
		<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Euphorbia mesembrianthemifolia</i>	Herbáceo	DF
		<i>Boraginaceae</i>	<i>Tournefortia gnaphalodes</i>	Herbáceo, arbustivo	DF, CD y DP
		<i>Sapotaceae</i>	<i>Bumelia obtusifolia</i>	Herbáceo, arbustivo	CD y DP
		<i>Surianaceae</i>	<i>Suriana maritima</i>	Arbustivo	DF
		<i>Polygonaceae</i>	<i>Coccoloba uvifera</i>	Arbustivo	DP
		<i>Areaceae</i>	<i>Thrinax radiata</i> ***	Arbustivo	DP
		<i>Boraginaceae</i>	<i>Cordia sebestena</i>	Arbustivo	DP
	9	<i>Areaceae</i>	<i>Cocos nucifera</i>	Regeneración	CD
		<i>Poaceae</i>	<i>Sporobolus virginicus</i>	Herbáceo	DF
		<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Euphorbia mesembrianthemifolia</i>	Herbáceo	DF, CD y DP
		<i>Aizoaceae</i>	<i>Sesuvium portulacastrum</i>	Herbáceo	DF y CD
		<i>Poaceae</i>	<i>Panicum amarum</i>	Herbáceo	DP
		<i>Poaceae</i>	<i>Cenchrus incertus</i>	Herbáceo	DP
		<i>Boraginaceae</i>	<i>Tournefortia gnaphalodes</i>	Arbustivo	CD y DP
	10	<i>Areaceae</i>	<i>Thrinax radiata</i> ***	Regeneración	DP
		<i>Convolvulaceae</i>	<i>Ipomoea pes capre</i>	Herbáceo	DF
		<i>Asteraceae</i>	<i>Ambrosia hispida</i>	Herbáceo	DF, CD y DP
		<i>Poaceae</i>	<i>Sporobolus virginicus</i>	Herbáceo	DF
		<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Euphorbia blodgettii</i>	Herbáceo	DF
		<i>Rubiaceae</i>	<i>Ernodea littoralis</i>	Herbáceo	CD y DP
		<i>Boraginaceae</i>	<i>Tournefortia gnaphalodes</i>	Arbustivo	DF
<i>Areaceae</i>	<i>Cocos nucifera</i>	Arbustivo, arbóreo	CD y DP		

* Morfo-especies por Zona no identificadas, organismos herbáceos empleados solo para el análisis de la información en este trabajo.

** DF: Duna Frontal; CD: Cresta de Duna y DP: Duna Posterior.

Zona	Sitio	Familia	Especie	Estrato registrado	Ubicación en las zonas de la duna (DF, CD y DP)**
------	-------	---------	---------	--------------------	---

*** Amenazada, No endémica dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010.

