

Sonora

El clima costero
Sistema hidrográfico

Los paisajes de las playas y dunas
Tipos de dunas y extensión

Tipo de arena

Flora

Estado de conservación de las dunas costeras
Los espacios protegidos y de importancia biológica

Problemática y diagnóstico
*Usos del suelo · Geomorfología, biodiversidad y vegetación · Agricultura y ganadería
Desarrollos turísticos y urbanos · Industria e infraestructura costera · Erosión
· Vulnerabilidad ante el cambio climático*

Recomendaciones y planes de manejo

Foto: Gerardo Sánchez Vigil



Foto: Gerardo Sánchez Vigil

Óscar Jiménez-Orocio
Natalia Rodríguez-Revelo
Ileana Espejel
Ma. Luisa Martínez
Dulce Infante Mata
Roberto Monroy

Se ubica en la región continental noroeste del país, en la frontera con Estados Unidos bordeando al estado de Arizona (cuyos ciudadanos son asiduos visitantes de las playas de Sonora); al sur colinda con Sinaloa. La costa es conocida por sus características desérticas y sus playas extensas y solitarias. Su capital y ciudad más grande es Hermosillo que está lejos del mar, pero en la costa se localizan ciudades como Puerto Peñasco y Bahía de Kino.

La costa de Sonora se extiende a lo largo de 1,208 km y las dunas costeras son de dos tipos principalmente: frontales y transgresivas. El norte del estado se caracteriza por las dunas del Desierto de Altar, uno de los sistemas de dunas más grandes del país. Se confunden las dunas costeras con las del desierto en donde son frecuentes las dunas de forma de estrella que son muy interesantes y existen muy pocas de este tipo en las dunas costeras del país. Sonora pertenece a la región donde se encuentra mejor conservada la vegetación de dunas en México (Seingier et al., 2009).

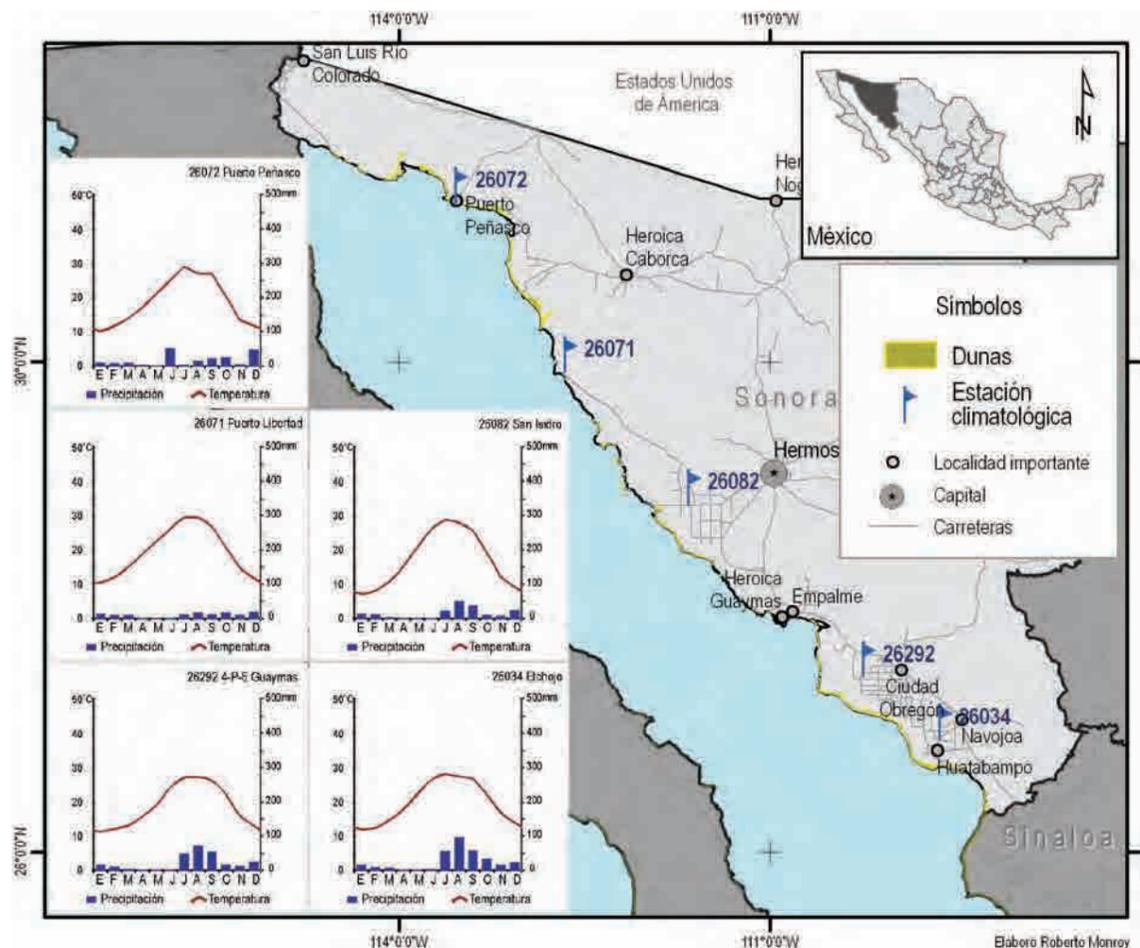
El clima costero

El clima de las costas de Sonora es predominantemente árido-cálido, con precipitaciones anuales que fluctúan entre 0.1 y 94 mm; las temperaturas máximas varían entre 28 y 29°C y las mínimas entre 10.2 y 11.9°C, aunque hay días en el verano que se alcanzan temperaturas extremas de más de 50°C (figura 1) (García, 1964). Las tormentas tropicales y los huracanes tienen un bajo impacto en las costas de este estado, ya que en 50 años ningún huracán ha hecho tierra y solamente ha recibido el impacto directo de una tormenta tropical (capítulo 4). Sin embargo, cuando llueve en el desierto, en un solo día y en unas pocas horas pueden caer los 100 mm del año y causar inundaciones desastrosas. Recientemente en Guaymas hubo un evento extraordinario y se perdieron cosechas e infraestructura urbana, portuaria, agrícola, acuícola y de pesca de gran valor. Este tipo de eventos modifica las barras arenosas que conforman las lagunas costeras.

Sistema hidrográfico

Los principales ríos con que cuenta el estado de Sonora son: el río Colorado, río Concepción, el río San Ignacio, el río Sonora, el río Mátepe, el río Yaqui y el río Mayo, Arroyo Sonoita y Arroyo la Bandera. Los cuerpos de agua más importantes son: la presa Álvaro Obregón, presa Adolfo Ruíz Cortines, presa Plutarco Elías Calles, presa Abelardo Rodríguez, y presa Lázaro Cárdenas entre otras.

Son numerosas las corrientes que se desprenden de la Sierra Madre Occidental y surcan la llanura costera, pero son ríos que por la magnitud de sus cuencas y caudales no llegan directamente al mar; por tanto, descienden hacia las tierras bajas extendiéndose



▲ figura 1. Climogramas que muestran la precipitación y temperatura a lo largo de la costa de Sonora. En este clima árido, la escasa precipitación se concentra en el verano y otoño.

se y derivando por detrás de las antiguas barras costeras, formando de este modo una amplia extensión de lagunas, esteros y planicies de inundación (Ortiz-Pérez y de la Lanza Espino, 2006). Entre ellas están Boca de En Medio, Estero las Lisas, Estero Morua, Estero la Pinta, Estero Santa Cruz, Estero Tastiota, Estero los Algodones, Estero Siuti, Estero San Francisquito, Estero Lobos, Laguna los Tanques, Estero Tobarí y Estero Agiabampo (INEGI, 2013).

A pesar de que el estado de Sonora no contiene ríos de gran caudal, la agricultura de riego en la zona costera es una actividad recurrente. Para satisfacer las necesidades de agua se han llevado a cabo exploraciones hidrológicas subterráneas comprendidas en los distritos de riego por gravedad, utilizando canales, en la costa de Hermosillo, Valle de Guaymas y Caborca-Pitiquito. En la actualidad estas zonas muestran graves niveles de abatimiento de sus mantos acuíferos (INAFED, 2010), lo cual aunado a la elevación del nivel del mar, puede resultar en la salinización de las costas.

Los paisajes de las playas y dunas

El litoral Sonorense se encuentra en la región Costa del Alto Golfo y Costa Oriental del Golfo de California. Destaca en la parte norte la desembocadura del río Colorado y desde el punto de vista geomorfológico las costas consisten de playas bajas arenosas cubriendo 952.7 km (72%) del frente costero. Se extienden entre amplias planicies de marea, deltaicas y de campos de dunas con playas que rodean casi por completo el extremo norte del Golfo. La costa rocosa solo está dispuesta en cortos trechos de salientes de puntas rocosas. La presencia de ambientes costeros lagunares y sistemas deltaicos con dominio de ambientes sedimentarios son los elementos de diferenciación regional. La parte sur del litoral consiste de una costa de planicies deltaicas antiguas e inactivas, constituidas por el complejo deltaico de los ríos Hermosillo, Yaqui, Mayo y Fuerte. Aquí actualmente existe un fuerte control hidráulico debido a las represas y las grandes obras de irrigación, lo que inhabilita los procesos de sedimentación en el frente de los deltas y promueve la erosión de las costas. En el sector sur, en cambio, los ríos no forman deltas pero su sedimentación segmenta a las lagunas y esteros que se encuentran paralelos a la costa (Gastil y Krummenacher, 1977; Ortiz-Pérez y de la Lanza Espino, 2006).

Tipos de dunas y extensión

Las dunas costeras de Sonora suman un total de 42,551 ha, y son predominantemente transgresivas (37,080 ha), aunque también cuenta con dunas frontales que cubren una superficie mucho menor (5,470 ha). A nivel nacional ocupa el octavo lugar en extensión total de dunas costeras y el segundo lugar en cuanto a extensión de dunas transgresivas. Es uno de los dos estados que cuentan con dunas en forma de barjanas (ver Capítulo 3) que suman un total de 52 ha (Cuadro 1). En México, los barjanas son exclusivos de Baja California Sur y Sonora, aunque hay unos pequeños en Tamaulipas y Veracruz que no aparecen en la escala utilizada en este trabajo. Una característica particular de las dunas costeras de Sonora es que éstas se fusionan con las dunas interiores del desierto de Sonora. Las formas de las dunas de este desierto han sido motivo de estudios por su espectacularidad geomorfológica (Merriam, 1969; Lancaster et al., 1987; Blount y Lancaster, 1990; Lancaster, 1996; Beveridge et al., 2006), una de las razones por las que hoy en día forman parte de la Reserva de Biosfera El Pinacate y Gran Desierto de Altar.



▲ a)



▲ c)



▲ b)



▲ d)

▲ figura 2. Diversos paisajes de las dunas costeras de Sonora. a) Campo de dunas embrionarias en Huatabampo; b) Campo de dunas transgresivas; c) dunas frontales en Cardonal; y d) Dunas transgresivas avanzando sobre ecosistemas continentales. (Fotos: Gerardo Sánchez Vigil).

Las dunas frontales se encuentran ubicadas en los municipios de Bâcum, Cajeme, Empalme, Guaymas, Hermosillo, Huatabampo, Pitiquito, Puerto Peñasco y San Ignacio Río Muerto. Son más abundantes en los municipios de Guaymas y en la zona conocida como costa de Hermosillo, en el municipio del mismo nombre. Estas dunas están predominantemente cubiertas de vegetación de manera total o parcial, por lo que se consideran estabilizadas o semimóviles respectivamente. La superficie con dunas frontales sin vegetación, y por lo tanto móviles, es mucho menor. Un ejemplo de una gran extensión de dunas frontales son las que se ubican al sur de Huatabampo, las cuales están cubiertas de vegetación (figura 2).

Las dunas transgresivas se ubican en los municipios de Bâcum, Caborca, Cajeme, Etchojoa, Hermosillo, Huatabampo, Pitiquito, Puerto Peñasco, San Ignacio Río Muerto y San Luis Río Colorado. Presentan su mayor superficie en Huatabampo y Puerto Peñasco. La mayoría están cubiertas por vegetación de manera total o parcial, por lo que se consideran estabilizadas o semimóviles. Sin embargo, también hay una superficie muy

extensa de dunas transgresivas sin cubierta vegetal y que por lo tanto son móviles, en especial las dunas del Gran Desierto de Altar. Las dunas transgresivas localizadas al sur de Huatabampo son móviles en la zona cercana al mar, pero tierra adentro presentan vegetación de duna costeras por lo que su movimiento es mucho menor (figura 2). En las zonas cercanas a cuerpos de agua como lagunas costeras, las dunas transgresivas están en contacto directo con manglares. También existen dunas transgresivas muy extensas y que en su mayoría están cubiertas con vegetación de dunas costeras y matorrales, como son las dunas de la costa de Hermosillo.

▼ Cuadro 1.

Superficie que ocupa cada una de los tipos de dunas del estado de Sonora. También se indica la categoría de conservación que presentan y la superficie que cubren. En el cuadro 2 se describen las categorías de conservación.

Tipo de duna	Movilidad	Estado de conservación (ha)					Total estatal
		Muy bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy malo	
Duna frontal	Estabilizada	648	1180	851	570		3,249
	Semi-móvil	870	577	35	150	85	1,718
	Móvil	345	113		47		504
TOTAL duna frontal		1,863	1,870	886	766	85	5,470
Transgresivas	Estabilizada	8,542	3,221		1,030	1,207	14,000
	Sermi-móvil	7,152	3,225		698	837	11,912
	Móvil	7,017	3,155	70		926	11,168
TOTAL transgresivas		22,710	9,601	70	1,729	2,970	37,080
TOTAL ESTATAL		24,573	11,471	956	2,495	3,055	42,551

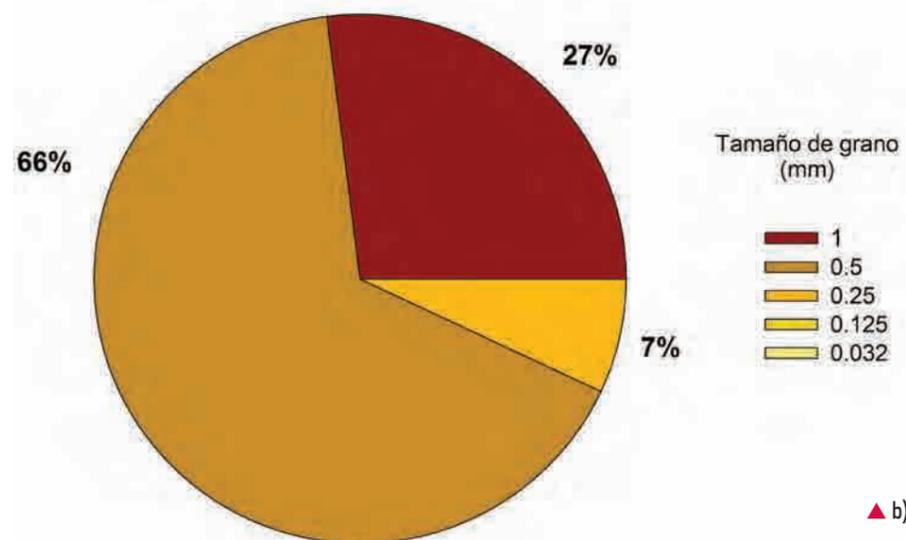
► Tipo de arena

La arena del estado de Sonora se caracteriza por tener arenas finas aunque existen lugares con sedimentos gruesos como es el caso de Bahía de Kino (figura 3a). La coloración de las arenas de la costa es gris amarillenta con restos biogénicos con presencia de carbonato de calcio. Las arenas de la playa Hutabampito (figura 3b) son muy finas, bien clasificadas. Presentan alto contenido de minerales densos. Este tipo de arena contiene alta



▲ a)

Porcentaje por tamaño de grano



▲ b)

▲ figura 3. a) Imagen de la arena y b) análisis del porcentaje de los distintos rangos de tamaño de grano de Bahía de Kino. Se observa que predominan los granos de tamaño medio. (Foto: G. Rendón-Márquez y N. Rodríguez-Revelo).

presencia de cuarzo y feldspatos. La forma de los granos son subangulosos. Se encuentra clasificada como arena fina con tamaños de granos que van desde los 0.05 a los 0.2 mm y se clasifica como bien seleccionada. La selección significa qué tan homogénea o heterogénea es la arena en cuestión al tamaño de grano, en este caso particular la arena es homogénea. Esta arena carece de limos y arcillas, y contiene escasa materia orgánica.

► Flora

La flora del desierto ha sido estudiada por Wiggins y Shreve, (1964) y Felger (1980) pero específicamente la de dunas sólo ha sido estudiada por J. Sánchez Escalante del herbario del UNISON quien colaboró en el proyecto de Espejel et al. (2013). Estos son los datos que aquí se presentan. Las principales especies de plantas pioneras fijadoras de dunas son *Atriplex barclayana* y *Sesuvium verrucosus*. Las especies de plantas de hondanadas húmedas son *Allenrolphea occidentalis*, *Suaeda nigra*, *Sesuvium verrucosum*, *Lycium brevipes*, *Atriplex linearis*, *Psoralea emoryi*, *Frankenia palmeri*, *Distichlis spicata* y *Sporobolus airoides* (figura 4).



▲ a)



▲ b)



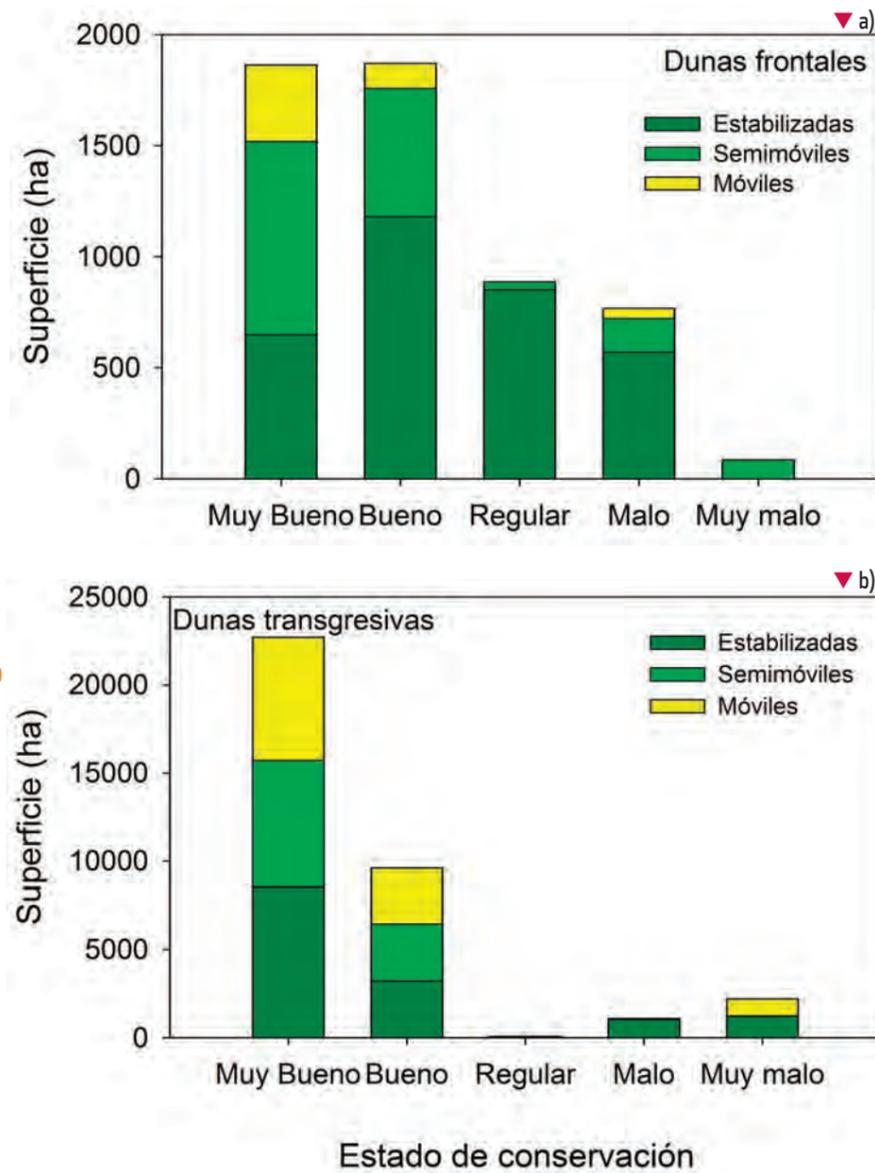
▲ c)

◀ figura 4.

Especies de las dunas costeras de Sonora, tolerantes a la sequía y al enterramiento con arena. a) *Allenrolphea occidentalis*; b) *Croton californicus*; c) *Ferocactus wislizeni* con *Jatropha cinerea*. (Fotos: Gerardo Sánchez Vigil).

Las principales especies presentes en las costas de Sonora son *Ambrosia dumosa*, *Ephedra trifurca*, *Larrea tridentata*, *Stephanomeria pauciflora*, *Atriplex canescens*, *Oenothera drummondii*, *Jatropha cuneata*, *Amaranthus palmeri*, *Atriplex barclayana sonoriensis*, *Atriplex leucophylla*, *Bajacalia crossifolia*, *Caesalpinia pannosa*, *Cylindropuntia alcahes*, *Cyrtocarpa edulis*, *Isocoma acradenia*, *Wislizenia refracta*.

Lo más singular de la flora de las dunas de Sonora, como en la península de Baja California, es la mezcla con especies del desierto. Los paisajes de cactus gigantes y arbustos de dunas son espectaculares y únicos en el noroeste del país.



▲ figura 5.
 a) Superficie, grado de estabilización y estado de conservación de las dunas frontales de Sonora;
 b) Superficie, grado de estabilización y estado de conservación de las dunas transgresivas de Sonora.

Estado de conservación de las dunas costeras

Para determinar el estado de conservación de las dunas costeras de México se hizo una clasificación cualitativa de cinco categorías (Cuadro 2) y que se describen a continuación (ver capítulo 9).

Según esta clasificación, se determinó que la mayoría de las dunas frontales semimóviles y casi todas las dunas frontales móviles de Sonora se encuentra en un estado de conservación clasificado entre muy bueno y bueno (figura 5a; Cuadro 1). Las dunas frontales estabilizadas están en diversos grados de conservación que van desde muy bueno hasta muy malo, pero las dunas frontales más degradadas son las semimóviles (figura 5a; Cuadro 1).

Las dunas transgresivas de Sonora están menos degradadas que las frontales. La mayoría fue clasificada dentro de las categorías de muy bueno y bueno. Una porción menor de dunas transgresivas está en situación clasificada como mala y muy mala (figura 5b; Cuadro 1). Casi todas las dunas transgresivas móviles y todas las semimóviles están en un estado de conservación muy bueno y bueno.

▼ Cuadro 2.

Características de los diferentes estados de conservación en que fueron clasificadas las dunas costeras de México.

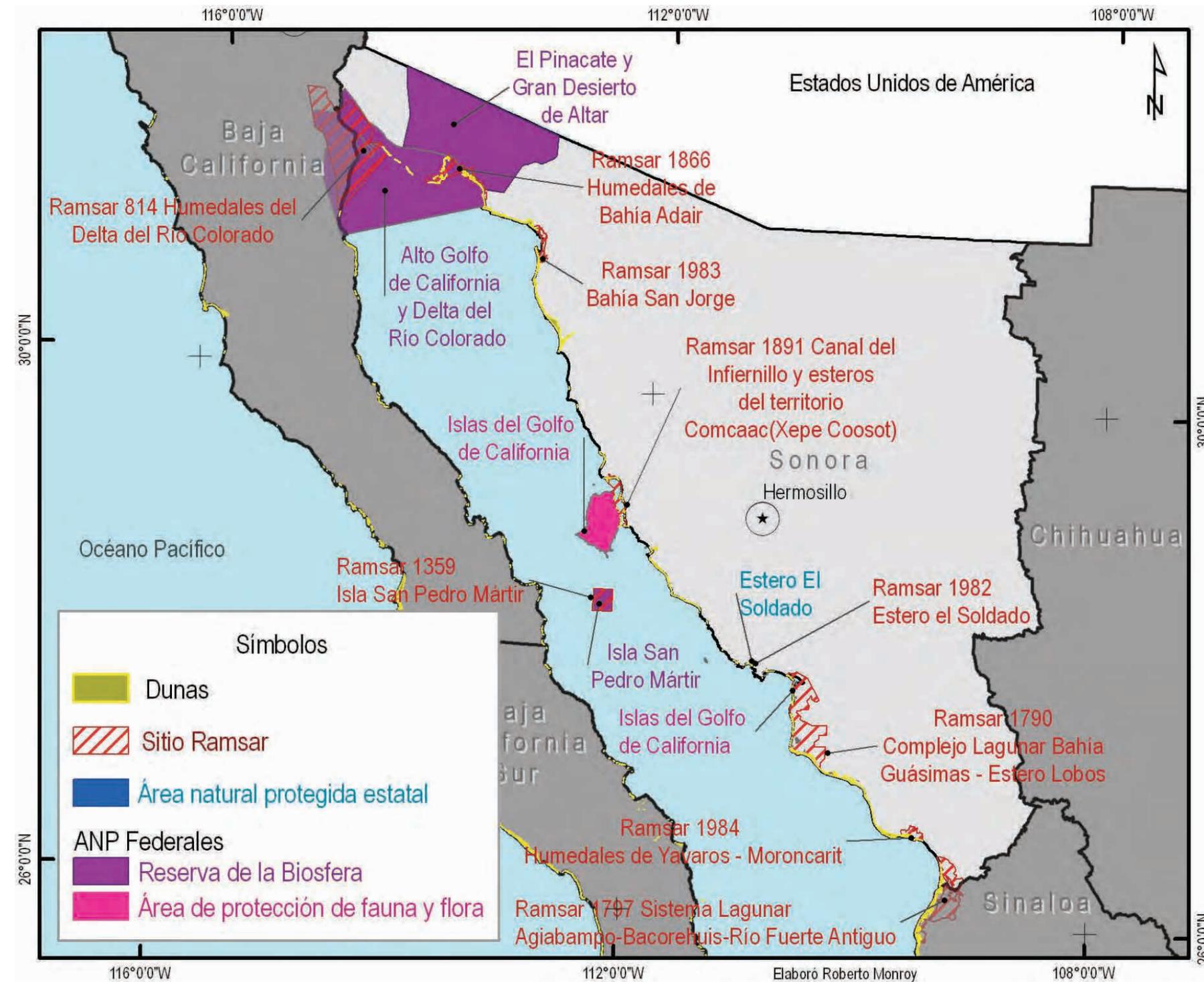
Estado de conservación	Características
Muy bueno	Natural, sin disturbios aparentes
Bueno	Fragmentado por carreteras, brechas, accesos
Regular	Presencia de actividades agropecuarias
Malo	Actividades agropecuarias acompañadas por asentamientos humanos dispersos
Muy malo	Totalmente antropizado, con asentamientos urbanos en más del 75% de la superficie

Los espacios protegidos y de importancia biológica

En la zona costera de Sonora se han declarado como Reserva de la Biosfera de Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado que se ubica en los municipios de Puerto Peñasco y San Luis Río Colorado, Sonora y en Mexicali, Baja California (SIMEC, 2013a) (figura 6). Esta reserva ha sido reconocida también como Región Marina Prioritaria Alto Golfo (RMP 14); la vegetación que se presenta es la de matorral xerófilo y vegetación hidrófila (CONABIO, 2013a) (figura 7).

Otra Reserva de Biosfera y sitio RAMSAR es la Isla San Pedro Mártir (figura 6), en la cual domina el matorral xerófilo con comunidades de *Bursera microphylla* y *Bursera hindsiana* (torotes) y *Opuntia* spp. (nopales). Con respecto a fauna se tienen registros de la tortuga prieta (*Chelonia mydas*), la perico (*Caretta caretta*), la Carey (*Eretmochelys imbricata*), la golfinia (*Lepidochelys olivacea*) y la siete filos (*Dermochelys coriacea*), serpiente marina de vientre amarillo (*Pelamis platurus*), lobos marinos (*Zalophus californianus californianus*), el cachalote (*Physeter macrocephalus*) y el delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) y como representantes de las aves sobresalen las colonias de bobo café (*Sula leucogaster brewsteri*) y bobo de patas azules (*S. neobuxii*) (SIMEC, 2013b). Y la Reserva de Biosfera Pinacate y Gran Desierto de Altar limita con la zona costera de Sonora y se localiza en los municipios de Plutarco Elías Calles, Puerto Peñasco, San Luis Río (SIMEC, 2013c). También ha sido reconocida como Región Terrestre Prioritaria 14 (CONABIO, 2013b). Comprende ecosistemas de desiertos cálidos y semidesiertos; la vegetación que se presenta es matorral xerófilo, vegetación de dunas costeras y vegetación hidrófila, pastizal y vegetación inducida. Las especies representativas son para la flora: *Opuntia* spp., *Prosopis* spp., *Larrea* spp. y *Atriplex* spp. y para la fauna berrendo (*Antilocapra americana*), borrego cimarrón (*Ovis canadensis*), monstruo de Gila (*Heloderma suspectum*), tortuga del desierto (*Gopherus agassizi*), camaleón (*Phrynosoma mcalli*) (SIMEC, 2013c).

Como Área de Protección de Flora y Fauna se reconoce a las Islas del Golfo de California, esta ANP se conforma por territorio de cuatro estados Baja California, Baja California Sur, Sinaloa y Sonora (figura 6). Protege matorral xerófilo, mezquital, selva caducifolia, selva espinosa, vegetación de dunas costeras, vegetación hidrófila y manglar (SIMEC, 2013d). Su flora está representada por *Cercidium* spp. (palo verde), *Bursera* spp. (torote; copal) y *Jatropha* spp. (lomboy), cactus del género *Opuntia* spp. (nopales), *Pachycereus pringlei* (cardón o sahueso), *Ambrosia* spp. (huizapol), *Olneya tesota* (palo fierro) y la gobernadora (*Larrea divaricata*). Y su fauna por la gaviota de Herman (*Larus heermanni*), el charrón elegante (*Sterna elegans*), el pájaro bobo de patas azules (*Sula neobuxii*), el pájaro bobo café (*Sula leucogaster brewsteri*), el paño mínimo (*Oceanodroma microsoma*), el paño negro (*O. melania*) y gaviota patas amarillas (*Larus livens*). Por mamíferos como la liebre (*Lepus alleni*), el cacomixtle o babisuri (*Bassariscus astutus*



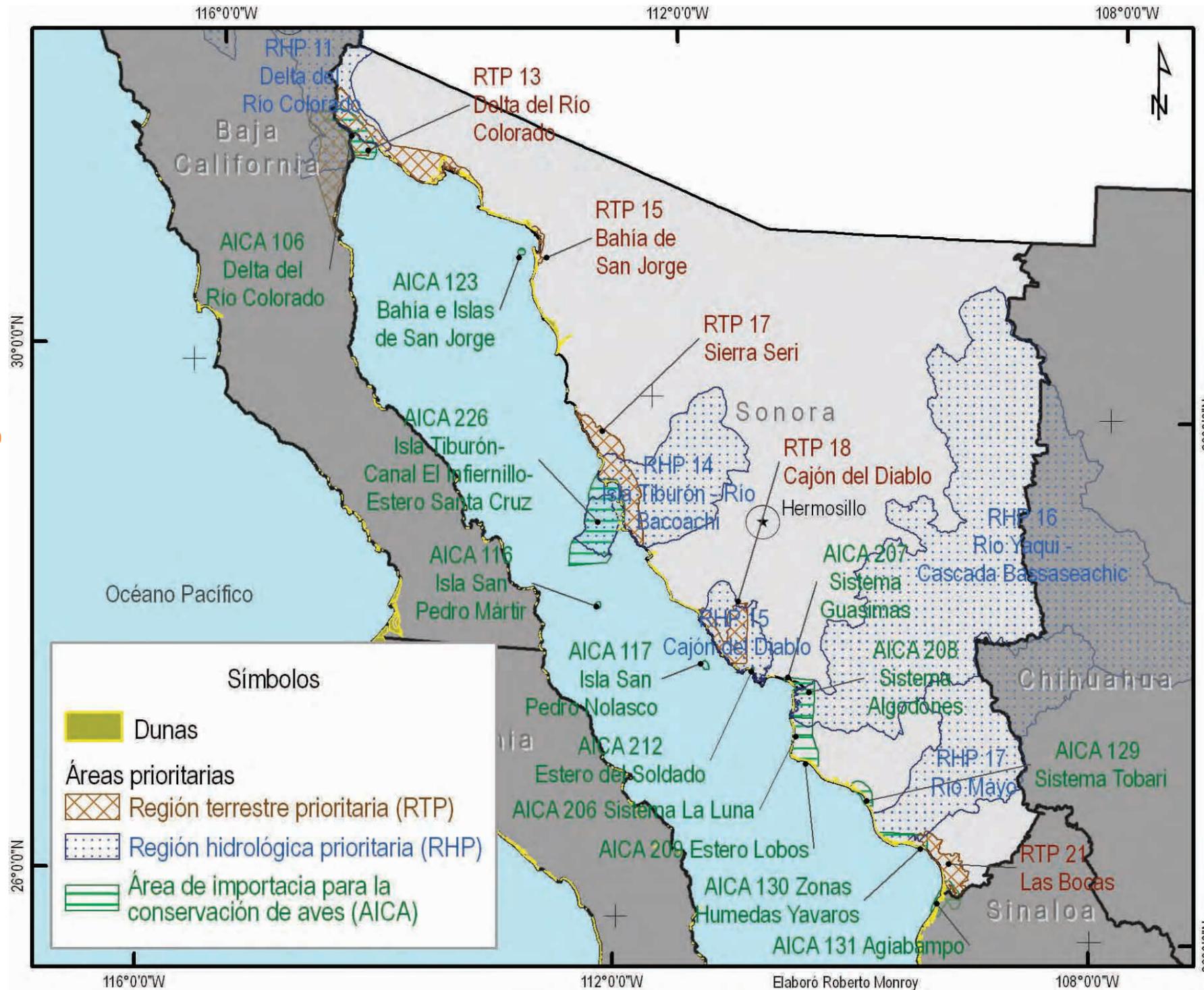
▲ figura 6. Áreas Naturales Protegidas (ANP) y sitios Ramsar para la protección en zonas donde hay dunas en el estado de Sonora.

insulicola), el coyote (*Canis latrans*), el venado bura (*Odocoileus hemionus*) y el lobo marino de California (*Zalophus californianus*) (SIMEC, 2013d).

La costa e islas de Sonora son áreas muy importantes para la anidación, alimentación y reproducción de aves (SEMARNAT, 2008; RAMSAR-CONANP, 2013, CONABIO, 2013c). Esto queda constatado en la cantidad de sitios RAMSAR que posee de los cuales varios de ellos también son reconocidos como AICAS (Figuras 6 y 7). Los humedales RAMSAR son Humedales del Delta del Río Colorado, Humedales de Bahía Adair, Estero El Soldado. Los sitios RAMSAR y AICAS son Canal del Infiernillo y esteros del territorio Comcaac (Xepe Coosot), Humedales de Yávaros-Moroncarit, Humedales de Bahía San Jorge, Complejo Lagunar Bahía Guásimas - Estero Lobos y Sistema Lagunar Agiabampo-Bacorehuis-Río Fuerte Antigo, este último también reconocido como Región Hidrológica Prioritaria. Otros sitios que han sido reconocidos como AICAS son Isla San Pedro Nolasco, Sistema Algodones, Sistema Guásimas, Sistema la Luna y Sistema Tóbari (CONABIO, 2013a). Algunos ejemplos de lo importante que es el corredor que forman estos sitios para las aves es lo reportado para las Isla del Golfo de California como áreas de anidación para el bobo café (*Sula leucogaster*) y pelícano (*Pelecanus occidentalis*) (SIMEC, 2013d). Para los el AICA de las Zonas Húmedas de Yávaros se menciona que cada año más de 50,000 individuos visitan las marismas, los bajos fangosos y el manglar de este humedal; es un lugar de invernada importante para 47,000 patos, gansos y otras aves (CONABIO, 2013d). Estero Lobos se ha considerado un lugar importante para patos, gansos y pelícanos blancos y cada año recibe más de 50,000 aves playeras (CONABIO, 2013e). La Bahía de San Jorge además de AICA fue considerada región terrestre prioritaria (RTP 15) en función a su importancia como hábitat de aves, principalmente *Sterna antillarum* e importantes colonias de *Sula leucogaster* y aves anidantes del Alto Golfo como *Myotis vivesi* y *Zalophus californianus* (CONABIO, 2013f).

Otras zonas prioritarias por su alta diversidad y por el grado de amenaza al que están sujetas son las Regiones Hidrológicas Prioritarias Subcuenca del Río Asunción, Isla Tiburón - Río Bacoachi, Río Yaqui-Cascada Bassaseachic, Río Mayo y Cajón del Diablo, este último reconocido también como Región Marina Prioritaria al igual que el Complejo Insular de Baja California y Sistema Lagunar Sur Sur de Sonora (CONABIO 2013a, CONABIO, 2013g). Finalmente la CONABIO reconoce como Región Terrestre Prioritaria a la Sierra Seri y Las Bocas (CONABIO, 2013b) (figura 7).

A nivel estatal se cuenta con el Área Natural Protegida bajo categoría de zona Sujeta a Conservación Ecológica el Estero El Soldado, que también es un sitio RAMSAR (Sitio 1982) y AICA (212) (Figuras 6 y 7). En esta zona hay vegetación acuática y subacuática, así como manglar (20 ha aprox.). Las especies que se presentan son *Avicennia germians*, *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*. A pesar de ser un humedal pequeño alberga una alta diversidad biológica que le ha valido el título de "único entre los esteros del Mar de Cortés". Se han observado más de 120 especies, de las que el 73% son aves acuáticas (CONABIO 2013c; RAMSAR-CONANP, 2013b; Gobierno de Sonora, 2006). Sonora no cuenta con playas certificadas.



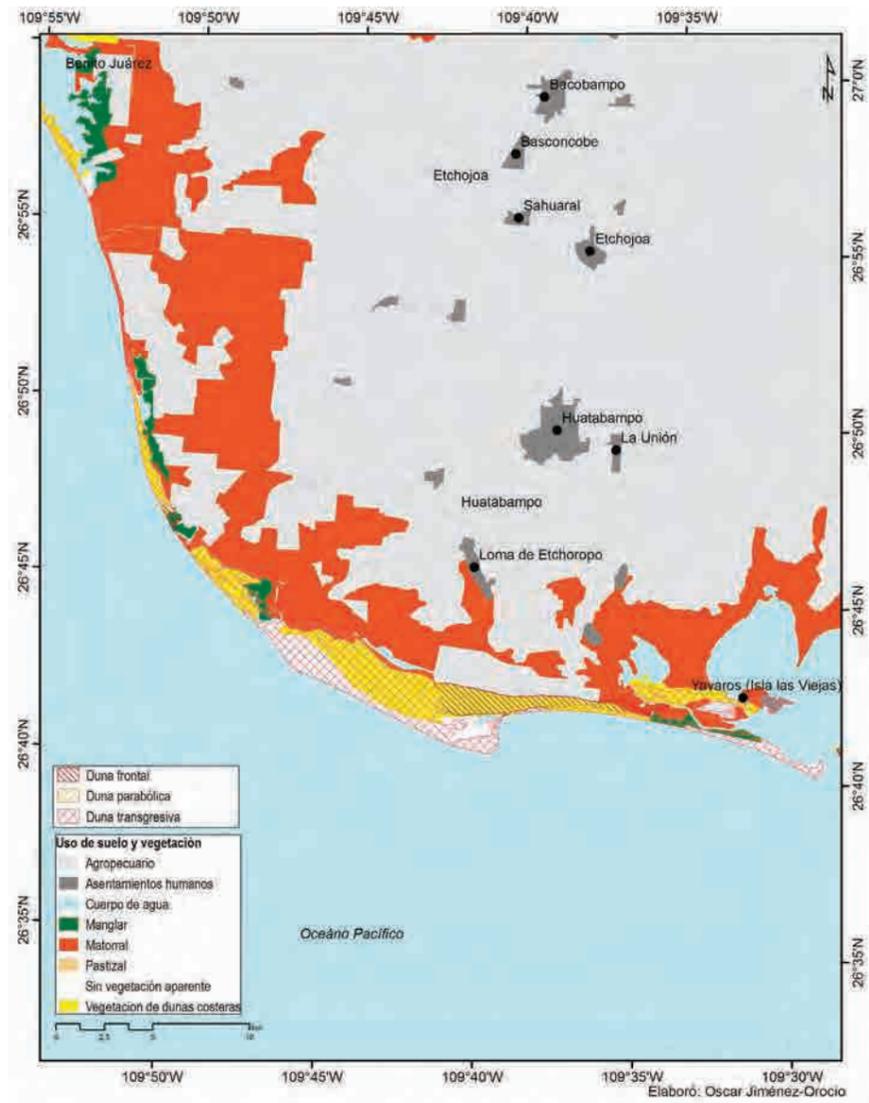
▲ figura 7.
ANP. Sitios Ramsar, AICAS y regiones prioritarias de CONABIO que protegen dunas de Sonora.

Problemática y diagnóstico

Como se ha mencionado, las principales amenazas sobre las dunas costeras de Sonora, son las granjas acuícolas y la agricultura. En el caso de las granjas camaronícolas se encuentran inmediatamente después del límite de los campos de dunas. La canalización es otro problema para las dunas costeras, ya que no solamente fragmenta e interrumpe la dinámica sedimentaria de las dunas sino que provocan erosión de la línea costera, disminuyendo el aporte de sedimentos del mar hacia la playa y dunas.

Usos del suelo

Sonora es uno de los estados con mayor extensión de dunas costeras bien conservadas del país. Debido a su extenso litoral y numerosas descargas fluviales el aporte de sedimento en estas costas es muy grande, dando paso a la formación de cordones de dunas en prácticamente toda la costa Sonorense excepto en la costa rocosa de Guaymas.

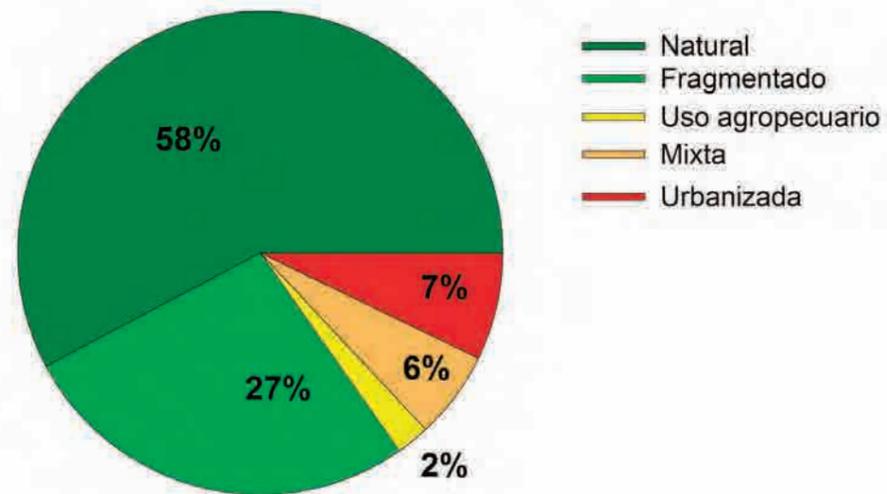


▲ figura 8. Distribución y uso de suelo de las dunas y zona costera del sur de Sonora.

Los campos de dunas ubicados al sur del municipio de Guaymas son muy diversos, pero también están muy fragmentados, principalmente por vías de acceso y canales de los campos acuícolas. La erosión y deforestación en algunos de estos campos también es evidente. Lo anterior se puede ver entre Sur (sur de Guaymas), San José (Bacúm) y Norte (Empalme) y Huatabampito (Huatabampo). En varias zonas las dunas costeras limitan con los campos agrícolas, y en otras con manglares y matorrales (figura 8).

De acuerdo con nuestros datos, más de la mitad de las dunas del estado de Sonora conserva su estado natural. En el 58% de la superficie ocupada por dunas costeras no se detectaron disturbios antropogénicos aparentes, sobre todo en la zona norte, donde convergen con las dunas continentales (figura 9). El 27% solo está fragmentado por vías de comunicación o accesos vecinales, sin embargo, la mayoría de estas dunas se

Usos de suelo sobre dunas



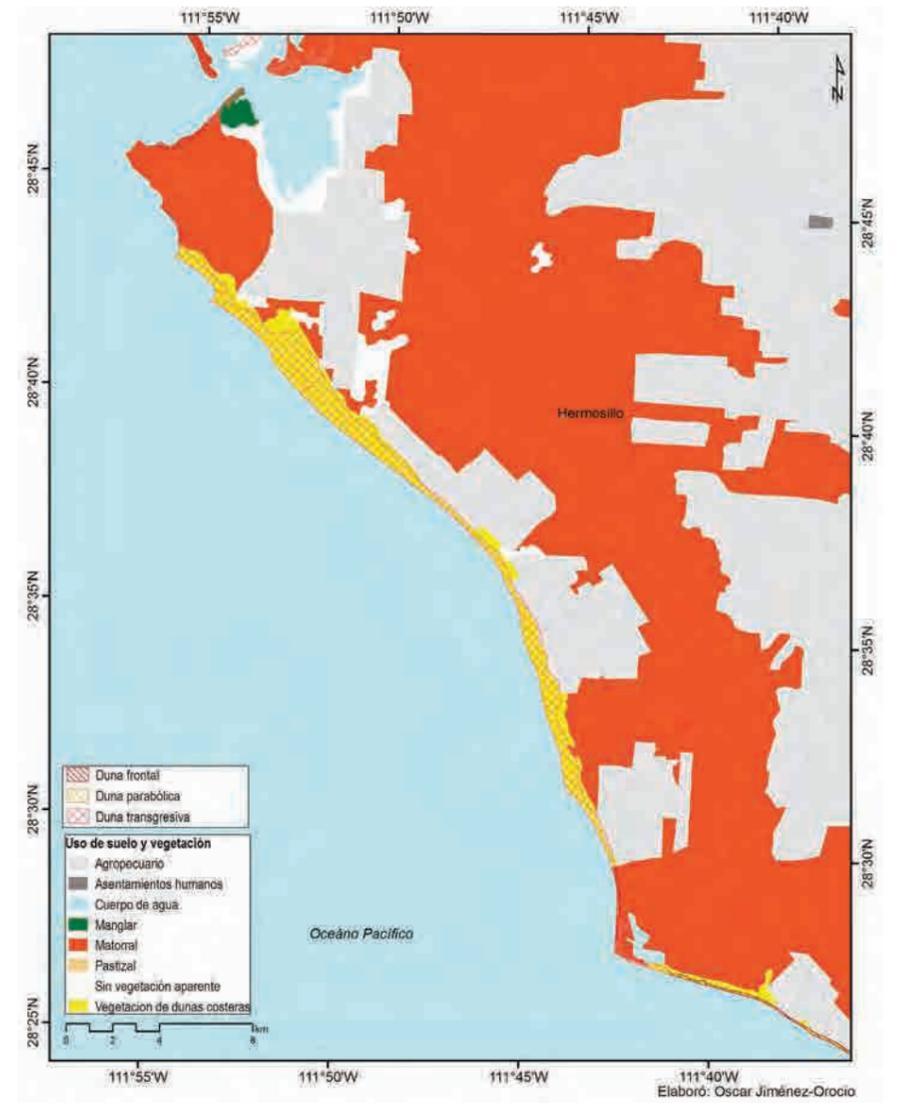
▲ figura 9. Clasificación de los usos de suelo que se desarrollan sobre las dunas costeras de Sonora.

encuentran delimitadas por uso agropecuario. Respecto a las dunas con uso agrícola o mixto (uso agropecuario más asentamientos humanos dispersos) solo el 8% del total es utilizado para este tipos de actividades. Por último, la urbanización de las dunas costeras no es muy común, ya que solo el 6% alberga grandes concentraciones de asentamientos humanos; éstos principalmente se localizan en la costa de Hermosillo y Puerto Peñasco (figura 10).

Geomorfología, biodiversidad y vegetación

En la región norte del estado, desde el delta del río Colorado hasta Bahía San Jorge, en los municipios de San Luís Río Colorado y Puerto Peñasco, se encuentran angostos cordones de dunas frontales que limitan con el Gran Desierto de Altar y del desierto de Sonora. El excesivo aporte de sedimento en estas costas permite la formación de extensas zonas de aguas someras, donde se forman amplios bancos de arena, barras y lengüetas arenosas. En Bahía de Adahir (San Luis Río Colorado) es un ejemplo de la formación de islotes de arena en zonas de marisma y campos de dunas transgresivas que siguen su camino hasta unirse con las dunas continentales. De Bahía San Jorge a Puerto Lobos (Caborca), los límites y morfología de las dunas costeras son más definidos, los cordones de dunas frontales y transgresivas están semiestabilizados por especies de plantas específicas de dunas costeras y algunos elementos de matorral xerófilo costero (figura 10).

Uno de los campos de dunas más característico se encuentra al norte de la localidad de Puerto Lobos, donde existe una lengüeta de duna transgresiva que se interna tierra adentro aproximadamente 14 km. De Puerto Lobos a Bahía de Kino (Hermosillo) las dunas son más dispersas y están representadas por cordones de dunas frontales



▲ figura 10. Distribución y uso de suelo de las dunas y zona costera del Hermosillo, Sonora.

aislados o dispuestos en barras arenosas casi perpendiculares a la línea de costa. Este tipo de dunas también se observan en Isla Tiburón. Las dunas costeras de la costa sur del municipio de Hermosillo son de las más representativas del estado. Se trata de dunas transgresivas activas o con poca presencia de especies de plantas específicas de dunas, delimitadas y seguidas, de dunas transgresivas estabilizadas con una mezcla de especies de plantas de dunas y de matorral. Alrededor del 90% de estas dunas son delimitadas tierra adentro por campos acuícolas camaronícolas, las cuales cavan canales que conectan las granjas con el océano. Estos canales son constantemente dragados y protegidos por escolleras y diques que interrumpen el acarreo natural de sedimentos; estas actividades fomentan la erosión y disminuyen la dinámica sedimentaria de las dunas costeras.

La zona costera del sur del estado, desde Empalme hasta Huatabampo, se encuentra sobre llanuras costeras, principalmente aluviales, con desembocaduras de ríos en forma de deltas que propician la formación de bancos de arena, barras e islas de barrera arenosas dispuestas en angostos cordones de dunas frontales móviles; estas dunas son muy comunes en el valle de Guaymas. A partir de Isla Lobos, al sur del municipio de Guaymas, hay una gran diversidad de geoformas, aunque las dunas transgresivas son más comunes, al igual que en el municipio de Hermosillo. Lo interesante es que en este sitio se encuentra uno de los pocos campos de dunas transgresivas en forma de barjanes sobre zonas inundables. También en estos campos de dunas se pueden ver grandes extensiones de lagos interdunarios temporales. Las dunas con mayor anchura se encuentran en la zona norte y son de hasta 5 km de ancho; en cambio, las dunas de la costa sur son más angostas, de 2.5 km de ancho. La altura es muy variada y los primeros cordones de dunas inmediatos a la línea de costa y los campos de dunas transgresivas móviles pueden alcanzar los 30 msnm (Hermosillo), mientras que algunos cordones de dunas frontales estabilizadas se encuentran entre 1 y 10 msnm.

Agricultura y ganadería

Las principales zonas agrícolas se encuentran en la parte centro-sur del estado, principalmente en el valle de Guaymas. En la zona norte solo se ven actividades agrícolas de gran magnitud en las inmediaciones de Bahía San Jorge, pero no sobre las dunas costeras sino en las inmediaciones de éstas, en las planicies sobre aluviones. El distrito de riego de Hermosillo es uno de las zonas más cultivadas sobre la planicie costera, mientras que en la costa se encuentra una de las mayores concentraciones de granjas acuícolas del Pacífico mexicano, que se extiende hasta Sinaloa, a excepción de la costa rocosa de Guaymas (SAGARPA, 2010). Como ya se mencionó anteriormente, las dunas son fragmentadas por los accesos y canales de esta industria.

Hay estudios muy interesantes sobre costras microbianas en dunas de Puerto Peñasco que las proponen con utilidad para la agricultura (Goodfriend, 1998)

Desarrollos turísticos y urbanos

Aunque el turismo no es una amenaza en todas las dunas de Sonora, en los sitios turísticos más conocidos (Puerto Peñasco, Bahía de Kino, Guaymas y Huatabampo) sí se reflejan los impactos antropogénicos tales como cambio de uso de suelo, fragmentación y actividades de recreación como uso de cuatrimotos. La población rural sobre las dunas costeras en el estado es muy poca. Se registraron 19 localidades rurales que albergan



▲ a)

▼ b)



► figura 11.

a) La basura que llega a las costas desde las zonas continentales; b) la erosión degradan los ecosistemas costeros y afectan a la infraestructura. (Fotos: Gerardo Sánchez Vigil)

488 habitantes; mientras que las localidades urbanas tienen un mayor impacto, aunque sólo se trata de cuatro localidades que albergan 70,465 habitantes. Puerto Peñasco es la ciudad costera más grande sobre dunas costeras del estado con 56,756 habitantes (INEGI, 2010).

Industria e infraestructura costera

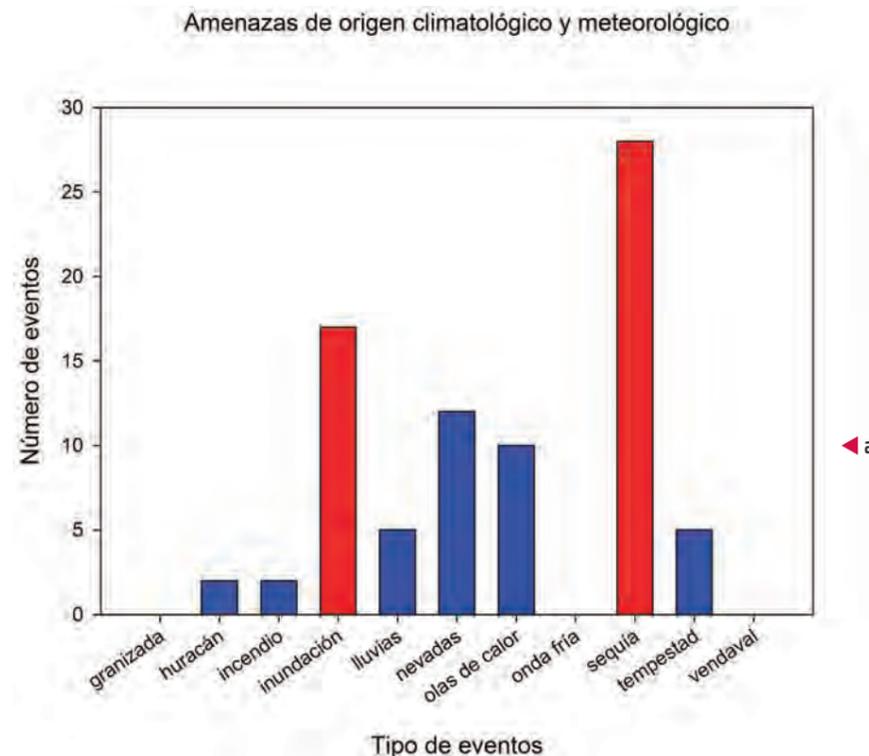
No hay industria en la costa de Sonora, excepto la pesquera. En los pueblos pesqueros hay empacadoras. En Puerto Libertad está la termoeléctrica que se ubica directamente sobre dunas costeras. No existen puertos de gran importancia comercial y/o de atraque. Las obras de infraestructura costera de protección están dirigidas a la protección de canales con rompeolas (2,195 m), espigones (824 m), escolleras (67 m), y protecciones marginales en los desarrollos turísticos (2,194 m). Yaváros y Puerto Peñasco son las localidades con mayor longitud de obras de protección (2,262 y 2,554 m respectivamente) (SCT, 2011).

Erosión

No hay estudios específicos de erosión costera. A diferencia de la costa peninsular, la costa de Sonora no presenta hundimientos. Los cambios relacionados con la acuicultura son los que han modificado más y en algunas ocasiones causado erosión y acreción no deseada (Escofet y Bravo-Peña, 2007) (figura 11).

Vulnerabilidad ante el cambio climático

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (SEMARNAT) hizo un análisis del impacto del cambio climático para cada estado de la República. Analizaron el número de veces que se presentaron eventos hidrometeorológicos en la entidad. Estos eventos se clasificaron en ocho categorías que aparecen en la figura 12a (página 274) y el análisis se realizó para el periodo comprendido entre 1980 y 2001. Muchos de estos eventos constituyen desastres hidrometeorológicos, y en el caso de Sonora los más frecuentes son las inundaciones (se registraron 17) y las sequías (se registraron 28). El Estado tiene una disponibilidad baja de agua y el grado de presión es fuerte (78%). Una buena parte del litoral de Sonora está en riesgo ante la elevación del nivel medio del mar (figura 12b), aunque las más afectadas se ubican sobre todo en las regiones norte y sur de las costas del estado (http://www2.inegob.mx/cclimatico/edo_sector/cambio_climatico.html).



◀ a)



◀ b)

Recomendaciones y planes de manejo

Aunque en general la mayoría de las dunas de Sonora está bien conservada, es importante reconocer que hay diversos tipos de problemas que necesitan ser atendidos. Por un lado están las playas y dunas que han quedado inmersas en las ciudades costeras, y que por ello han sido abatidas y destrozadas y por lo tanto sería necesario implementar acciones para su restauración y revegetación. En especial en Puerto Peñasco se están destruyendo las dunas de manera acelerada debido a las actividades recreativas con motos. Es necesario contar con programas para limitar esta actividad a una sola zona y contar con experimentos de restauración y viveros para surtir de plantas nativas para revegetar las dunas. Estos mismos podrían surtir a las acuícolas que deben cubrir los canales que construyen.

Dependiendo del riesgo de elevación del nivel del mar o de lluvias que provoquen inundaciones que afectan la infraestructura costera, será necesario implementar estrategias de manejo de dunas. En los casos de ciudades costeras como Peñasco, Kino y Guaymas, es necesario analizar la posibilidad de realizar acciones de restauración de las playas. Para ello es importante considerar si son playas erosivas o acumulativas y así definir los tipos de estrategias que se deben implementar para controlar la erosión además de restaurar las dunas. Asimismo, es necesario seleccionar los espacios que deben ser reforestados con especies nativas de las cuales se sabe muy poco. Por esto en Sonora es muy importante investigar sobre la biología de las especies para poder reproducirlas, estudiar sus tolerancias a diferentes situaciones ambientales para que sobrevivan en los experimentos de reforestación.

Las dunas del desierto en su mayoría están en áreas protegidas por lo que es importante monitorizar que no haya cambios de uso de suelo, lo que estaría en desacuerdo con los planes de manejo de estas áreas.

El patrimonio natural de las dunas costeras de Sonora, su potencial turístico y la actividad acuícola del estado requieren que los ordenamientos -sectoriales y marinos- existentes sigan vigentes y se les dé seguimiento. Es necesario mantener una planeación bajo una visión de manejo integral de la zona costera y elaborar planes de manejo específicos para los distintos ecosistemas tomando en cuenta sus particularidades (Moreno-Casasola et al., 2006). Específicamente para el manejo y conservación de los ecosistemas de playas y dunas, SEMARNAT (2013) publicó recientemente un conjunto de lineamientos a tomar en cuenta para garantizar el mantenimiento del buen estado de estos ecosistemas.

▲ figura 12.
 a) La figura muestra los desastres hidrometeorológicos entre 1980 y 2001 en el estado de Sonora, sobresaliendo las sequías y las inundaciones (en rojo) por ser los de mayor frecuencia.
 b) Se muestran las zonas de la costa de Sonora, con riesgo de inundación por aumento del nivel del mar, http://www2.inecc.gob.mx/cclimatico/edo_sector/estados/estados.html.

Referencias bibliográficas

- CONABIO (Comisión Nacional para la conservación y el uso de la Biodiversidad). 2013a. Listado Regiones Marinas Prioritarias. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Mlistado.html>
- CONABIO (Comisión Nacional para la conservación y el uso de la Biodiversidad). 2013b. Listado Regiones Terrestres Prioritarias. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Tlistado.html>
- CONABIO (Comisión Nacional para la conservación y el uso de la Biodiversidad). 2013c. Avesmx. http://avesmx.conabio.gob.mx/lista_region?tipo=aica Fecha de consulta 13 08 2013.
- CONABIO (Comisión Nacional para la conservación y el uso de la Biodiversidad). 2013d. Ficha AICA 130. Zonas Húmedas de Yávaros. Avesmx. <http://avesmx.conabio.gob.mx/verzona?tipo=aica&id=130>
- CONABIO (Comisión Nacional para la conservación y el uso de la Biodiversidad). 2013e. Ficha AICA 209. Estero Lobos. Avesmx. <http://avesmx.conabio.gob.mx/verzona?tipo=aica&id=209>
- CONABIO (Comisión Nacional para la conservación y el uso de la Biodiversidad). 2013f. Región Terrestre Prioritaria No. 15. Bahía de San Jorge.
- CONABIO (Comisión Nacional para la conservación y el uso de la Biodiversidad). 2013g. Listado Regiones Hidrológicas Prioritarias. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Hlistado.html>
- Beveridge, C., Kocurek, G., Ewing, R. C., Lancaster, N., Morthekai, P., Singhvi, A. K., y Mahan, S. A. 2006. Development of spatially diverse and complex dune-field patterns: Gran Desierto Dune Field, Sonora, Mexico. *Sedimentology* 53(6): 1391-1409.
- Blount, G., y Lancaster, N. 1990. Development of the Gran Desierto sand sea, northwestern Mexico. *Geology* 18(8): 724-728.
- Escofet, A., y Bravo-Peña, L. C. 2007. Overcoming environmental deterioration through defensive expenditures: field evidence from Bahía del Tóbari (Sonora, Mexico) and implications for coastal impact assessment. *Journal of Environmental Management* 84(3): 266-273.
- Espejel, E., Peña-Garcillán, P. y Jiménez-Orocio, O. 2013. Flora de playas y dunas de México. Informe Técnico Final Conabio HJ007.
- Felger, R. S. 1980. Vegetation and flora of the Gran Desierto, Sonora, Mexico. *Desert Plants* 2(2): 87-114.
- García, E. 1964. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Offset Larios. México D.F.
- Gastil, R. G., y Krummenacher, D. 1977. Reconnaissance geology of coastal Sonora between Puerto Lobos and Bahía Kino. *Geological Society of America Bulletin* 88(2): 189-198.
- Gobierno de Sonora, 2006. Declaratoria de Zona Sujeta a Conservación Ecológica Estero El Soldado y áreas aledañas. Órgano de Difusión del Gobierno del Estado de Sonora. Boletín Oficial. Número 40. Secc. III. Tomo CLXXVII. Hermosillo Sonora.
- Goodfriend, W. L. 1998. Microbial community patterns of potential substrate utilization: a comparison of salt marsh, sand dune, and seawater-irrigated agronomic systems. *Soil Biology and Biochemistry* 30(8-9): 1169-1176.
- INAFED (Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal). 2010. Enciclopedia de los municipios de México. Secretaría de Gobernación. <http://www.e-local.gob.mx>
- Lancaster, N. 1996. Origin of the Gran Desierto sand sea, Sonora, Mexico: Evidence from dune morphology and sedimentology. *Desert Aeolian Processes Springer Netherlands*. (pp. 11-35).
- Lancaster, N., Greeley, R., y Christensen, P. R. 1987. Dunes of the Gran Desierto Sand-Sea, Sonora, Mexico. *Earth Surface Processes and Landforms* 12(3): 277-288.
- Merriam, R. 1969. Source of sand dunes of southeastern California and northwestern Sonora, Mexico. *Geological Society of America Bulletin* 80(3): 531-534.
- Moreno-Casasola, P., Peresbarbosa E. y Travieso-Bello A.C. (eds). 2006. 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. Volumen I, II y III. (<http://www1.inecol.edu.mx/costasustentable/esp/documentos/publicacionestxt.htm#Libros>)
- Ortiz Pérez, MA y de la Lanza Espino, G. 2006. Diferenciación del espacio costero de México: un inventario regional. Serie Textos Universitarios, núm. 3, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- RAMSAR-CONANP, 2013. Humedales de México. <http://ramsar.conanp.gob.mx/lsr.php> Fecha de consulta 15 08 2013
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) 2010. Anuario estadístico del estado de Sinaloa 2010. Servicio de información Agroalimentaria y Pesquería.
- SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes). 2011. Anuario estadístico estatal 2011, Sector Comunicaciones y Transportes. SCT-DGP.
- Seingier G., Espejel, I. y Fermán-Almada, J.L. 2009. Cobertura vegetal y marginación en la costa mexicana. *Investigación Ambiental* 1(1): 54-69.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2008. Estrategia para la Conservación y Manejo de la Aves Playeras y su Hábitat en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Dirección General de Vida Silvestre. http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=2&ved=OCC8QFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.semarnat.gob.mx%2Ftemas%2Fgestionambiental%2Fvidasilvestre%2FDocuments%2FPreps%2FAves_playeras.pdf&ei=AplDUv2MEIPM9gTZqoAY&usg=AFQjCNE2TAXZZqd3U7fHfq87V6jofKzOMA&sig2=LHxLGHUrzoRZQjDbBBvEbQ&bvm=bv.53217764,d.eWU
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2013. Manejo de Ecosistemas de Dunas Costeras, Criterios Ecológicos y Estrategias. México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Dirección de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial. Autores: Pedroza, D., Cid, A., García, O., Silva-Casarín, R., Villatoro, M., Delgadillo, M.A., Mendoza, E., Espejel, I., Moreno-Casasola, P., Martínez, M.L. e Infante Mata, D. http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janiumbin/janium_login_opac.pl?find&ficha_no=225712
- SIMEC (Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación). 2013a. Ficha Reserva de Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado https://simec.conanp.gob.mx/Info_completa_ext.php?id_direccion=14
- SIMEC (Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación). 2013b. Ficha Reserva de Biosfera Isla San Pedro Mártir https://simec.conanp.gob.mx/Info_completa_ext.php?id_direccion=16
- SIMEC (Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación). 2013c. Ficha Reserva de Biosfera Pinacate y Gran Desierto de Altar https://simec.conanp.gob.mx/Info_completa_ext.php?id_direccion=15
- SIMEC (Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación). 2013d. Ficha Área de Protección de Flora y Fauna Islas del Golfo de California https://simec.conanp.gob.mx/Info_completa_ext.php?id_direccion=196
- Wiggins, I. L., y Shreve, F. 1964. Vegetation and flora of the Sonora desert. Stanford University Press.

Colaboradores de la ficha

Jesús Sánchez Escalante

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo brindado en campo a
Neftali Ochoa Avelar
y Christian Samuel Castillo Flores.