

Informe final* del Proyecto JM027
Patrones de distribución de la vegetación costera en el Golfo de México y mar Caribe *

Responsable: Dra. María Luisa Martínez Vázquez
Institución: Instituto de Ecología AC
División de Vegetación y Flora
Departamento de Ecología Vegetal
Dirección: Carretera antigua a Coatepec # 351, El Haya, Xalapa, Ver, 91070 , México
Correo electrónico: marisa.martine@inecol.edu.mx
Teléfono/Fax: Tel: 01(28)42 1800 ext 3501, 3502 Fax: 01(28)18 7809
Fecha de inicio: Junio 15, 2012.
Fecha de término: Mayo 12, 2015.
Principales resultados: Base de datos, cartografía, informe final.
Forma de citar el informe final y otros resultados:** Mendoza-González, G., Martínez, M. L. y O. Rojas-Soto. 2015. Patrones de distribución de la vegetación costera en el Golfo de México y mar Caribe. Instituto de Ecología A.C. **Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. JM027.** Ciudad de México.

Resumen:

En este trabajo se establecerá la distribución geográfica de 24 especies de plantas ubicadas en las playas y primer cordón de dunas costeras del Golfo de México y mar Caribe. Se explorará la fracción geográfica en donde ocurre el nicho fundamental de cada especie (es decir que fracción geográfica en donde se presentan las condiciones bióticas y abióticas para cada especie). Esta información permitirá identificar las zonas más diversas y que requieren mayor atención para planificar la conservación de las áreas prioritarias donde se pueda conservar la mayor biodiversidad costera posible.

Para lograr esto, se eligieron especies en algún grado co-distribuidas en las que la probabilidad de extinción se encuentra geográficamente correlacionada (Safi & Pettorelli, 2010). Es decir cuando alguna perturbación natural o humana modifica una región, (ej. cambio climático, inundaciones, deforestación, actividad volcánica, cambio de uso de suelo para cultivos) aumentan las probabilidades de extinción.

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

INFORME FINAL DEL PROYECTO
“Patrones de distribución de la vegetación costera en el
Golfo de México y mar Caribe”
Convenio Núm. FB1586/JM027/12

Responsable:

Dra. María Luisa Martínez Vázquez – Instituto de Ecología, A.C.
(marisa.martinez@inecol.mx)

Participantes:

Dr. Octavio Rafael Rojas Soto (Instituto de Ecología, A.C.)

Dra. Gabriela Mendoza González (Instituto de Ecología, A.C.)

Junio 2014

INDICE

RESUMEN EJECUTIVO 3

MODELACION 4

Obtención y depuración de registros. Control de calidad de datos 4

Descripción y selección de las variables ambientales 5

Criterios para la selección de la región de estudio M 6

Algoritmos de modelación de nicho. Descripción de parámetros utilizados en la modelación 6

Evaluación del modelo 9

Resultados 12

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 15

LITERATURA CITADA 16

ANEXOS

ANEXO I. Catálogo de especies

ANEXO II. Número de registros por especie

ANEXO III. Mapas de registros de especies

ANEXO IV. Calidad de información

RESUMEN EJECUTIVO

Se modeló la distribución potencial de 23 especies de plantas de playas y primer cordón de dunas costeras del Atlántico Mexicano. El objetivo del proyecto fue estimar la distribución potencial de las especies utilizando como datos geográficos los registros obtenidos del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de CONABIO (SNIB) y del Herbario del Instituto de Ecología, A.C. (IE-XAL). Se utilizaron 19 variables climáticas obtenidas del Global Climate Data (WorldClim) a una resolución espacial de 1 km². Para generar el modelo utilizamos el software MaxEnt 3.3 y Desktop GARP Ver 1.1.6. Posteriormente realizamos un mapa binario en el programa ArcView 3.2 (ESRI 2005) para cada una de las especies con los resultados de los dos algoritmos. Para Maxent se ocupó como límite de corte el "minimum training presence" y para Garp realizamos un mapa consenso de los diez mejores modelos, para posteriormente realizar un mapa binario con un límite de corte definido por los puntos de validación coincidentes con la predicción de la presencia de la especie.

Para el modelado de nicho ecológico se realizaron análisis estadísticos de las variables usadas para la realización de los modelos de manera individual y cada mapa cuenta con sus respectivos metadatos y sus respectivas validaciones. Finalmente consideramos que los productos de este proyecto podrían contribuir directamente con la mejora de las estrategias para la conservación de las áreas prioritarias de conservación de playas y dunas costeras?

MODELACIÓN:

Obtención y depuración de registros. Control de calidad de datos.

Los mapas generados para modelar la distribución potencial de las especies se elaboraron a partir de la depuración de las bases de datos obtenidas del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de CONABIO (SNIB) y del Herbario del Instituto de Ecología, A.C. (IE-XAL). Debido a que los puntos de registro de las especies pueden estar sesgados hacia los caminos y otras vías de acceso mostrando autocorrelación espacial, las bases de datos fueron revisadas cuidadosamente para que cada registro coincidiera con la distribución geográfica conocida de la especie. Se eliminaron los registros que no tenían ubicación geográfica, así como los duplicados entre las bases de datos. Posteriormente se eliminaron los registros que se encontraban fuera del área de interés, el Atlántico Mexicano. Además se eliminaron aquellos registros que eran inconsistentes con la distribución de la especie (P/e: registros tierra adentro o registros fuera del ámbito de su distribución). Este proceso se realizó a partir de la eliminación de los registros ubicados a más de 10 km (tierra adentro) sobre la línea de costa, considerando que las especies en estudios son costeras. Así mismo, se trabajó sólo con registros únicos, eliminando información redundante, para evitar sesgar la modelación hacia una sola región geográfica. Del total de registros disponibles se realizó una selección aleatoria del 70 al 80% para puntos de entrenamiento para correr con ellos el modelo y una selección aleatoria del 20 a 30% para utilizarlos como puntos de validación. Estos archivos (revisados y depurados) se guardaron en formato .csv (delimitado por comas) para la posterior modelización en MaxEnt y GARP.

Descripción y selección de las variables ambientales

Para caracterizar el nicho ecológico de las especies se utilizaron 19 variables ambientales en formato *raster* con una resolución espacial de 30 segundos (0.0083°), con equivalencia aproximada de 1 km². Estas coberturas climáticas son variantes de temperatura y precipitación, y fueron obtenidas de WorlClim (Cuadro 1).

Para utilizar las variables climáticas en la predicción del modelado, Merow et al. (2013), recomiendan analizar la correlación entre ellas, usando un análisis de reducción de dimensionalidad, cuando se desee la recolección de predictores biológicamente plausibles. Sin embargo, si lo que se desea es la proyección de la distribución de las especies en función de sus condiciones climáticas, los algoritmos realizan una ponderación de la importancia de las variables que se utilizan, (Phillips et al. 2006, Elith et al. 2011).

Cuadro 1. Variables bioclimáticas usadas para el modelado de nicho (tomadas de Hijmans et al. 2005).

Variable bioclimática	Explicación
BIO1	Temperatura media anual
BIO2	Oscilación diurna de la temperatura (media del mes (temp max - temp min)
BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (* 100)
BIO4	Estacionalidad de la Temperatura (desviación estándar *100)
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)
BIO8	Media de la temperatura del cuarto más húmedo
BIO9	Media de la temperatura del cuarto más seco
BIO10	Media de la temperatura del cuarto más cálido
BIO11	Media de la temperatura del cuarto más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación del mes más húmedo
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de Variación)
BIO16	Precipitación del cuarto más húmedo

BIO17	Precipitación del cuarto más seco
BIO18	Precipitación del cuarto más cálido
BIO19	Precipitación del cuarto más frío

Criterios para la selección de la región de estudio (M)

Con base en lo sugerido por Barve et al. (2011), Peterson et al. (2011) y Stockwell y Peterson (2002) se estableció a priori el tamaño del área de accesibilidad o área de distribución histórica (M). Así que antes de correr los modelos de distribución, se editaron las variables climáticas, intentando incorporar aspectos históricos y bióticos de las especies (Soberón y Nakamura 2009) de la siguiente forma: se utilizó un buffer costero de 10 km, el cual es el espacio geográfico costero estimado donde existe el área invadible para la distribución de las especies de este trabajo, el cual está determinado por las condiciones del sustrato arenoso, dado que las dunas costeras en general no abarcan más allá de 10 km a partir de la línea de costa. Con este buffer, se recortaron las variables climáticas, para así disminuir los errores de sobrepredicción del modelo (llamados también errores de comisión) al no considerar aspectos bióticos ni de accesibilidad de la especie, es decir, que el algoritmo prediga la presencia de la especie donde está ausente.

Algoritmos del modelado de nicho. Descripción de los parámetros utilizados en la modelación.

Existen diferentes algoritmos que se han usado en el análisis de los nichos ecológicos de las especies (Elith et al. 2006). Sin embargo, son dos los más utilizados en los últimos años por su desempeño y aplicabilidad, mismos que fueron los

implementados en el presente proyecto: el Algoritmo Genético de Producción de Conjuntos de Reglas (GARP por sus siglas en inglés; Stockwell y Peters 1999) y el algoritmo de Máxima Entropía (MaxEnt; Phillips et al. 2006). Ambos algoritmos funcionan fundamentalmente con base en dos tipos de información: 1) puntos de registro de la especie, en combinación con 2) coberturas digitales de variables ambientales. Los modelos generados por ambos algoritmos se procesaron en un sistema de información geográfica (ArcGis Ver. 9.1; ESRI 2005).

GARP.- es un algoritmo de inteligencia artificial que funciona de una manera iterativa con base en reglas (atómicas, de rangos y regresiones logísticas) producto de la relación existente entre las localidades y las variables ambientales. Estas reglas son evaluadas y probadas y posteriormente, son incorporadas o rechazadas aleatoriamente al modelo de manera iterativa, hasta producir un conjunto de reglas que describen el nicho ecológico que posteriormente puede ser proyectado al espacio geográfico, produciendo así una predicción potencial de presencia (Stockwell y Noble 1992, Stockwell y Peters 1999). Se utilizó la versión Desktop GARP para PC. Los valores de los parámetros: límite de convergencia y número máximo de iteraciones, fueron dejados los default, que incluyen 0.01 y 1000 respectivamente. Además se dejaron como reglas a usar a los cuatro tipos de reglas (atómicas, de rango, de rango negado, y logísticas). Los puntos seleccionados de manera aleatoria como de entrenamiento se utilizaron al 100% para después evaluar el modelo con los puntos de entrenamiento seleccionados con anterioridad. Se obtuvieron los 10 mejores modelos (*Best subsets*) que correspondieron a los modelos con valores de omisión de un 10% y más próximos a la mediana en el eje de la comisión (Anderson et al. 2003). A partir de estos, se generó un mapa consenso con valores de 0 a 10, donde el 1 representa los píxeles

donde un modelo predice presencia, 2 representa los píxeles donde dos modelos predicen presencia y así sucesivamente hasta 10, correspondiendo a los píxeles donde todos los modelos coinciden en predecir la presencia. Finalmente a partir de este mapa consenso se generó un mapa binario (presencia-ausencia) usando como umbral el valor mínimo contenido en los registros de presencia o puntos de entrenamiento.

MAXENT.- se utilizó la versión MAXENT 3.3. Este algoritmo estima la distribución potencial del nicho ecológico de la especie con base en la localización de la distribución de máxima entropía (más cercana y uniforme), considerando que los valores esperados para cada una de las características analizadas bajo esta distribución estimada, coincidan en su valor empírico promedio (Phillips et al. 2006). El algoritmo es de tipo determinístico, lo cual garantiza la convergencia hacia la óptima probabilidad de distribución (Phillips et al. 2006). Los valores que se generan por medio del MaxEnt fluctúan entre 0 y 1, e indican la probabilidad de encontrar las condiciones apropiadas para la especie en un área geográfica determinada. Su resultado expresa el valor de idoneidad del hábitat para la especie como una función de las variables ambientales. Así, se obtuvieron mapas de idoneidad con valores de probabilidad donde las especies pueden distribuirse geográficamente como salidas automatizadas por el algoritmo MaxEnt. Para la obtención del modelo de nicho ecológico se utilizó del 70 al 80% de los puntos de registro separados anteriormente como de entrenamiento (dependiendo del total de puntos por especie) y el resto como puntos de validación. Los valores en la parametrización fueron los de default con un valor máximo de iteraciones de 1000 con un límite de convergencia en 0.00001 y un valor de regularización en 1. Se seleccionaron localidades únicas, eliminando la opción de *Clamping* y *Extrapolate*. La predicción obtenida (en términos probabilísticos entre 0

y 1) se transformó a un mapa binario (0 ausencia y 1 presencia) con un valor de corte correspondiente con el valor mínimo de presencia de entrenamiento o “*minimum training presence*”, que incluye al 100% del total de registros usados para modelar.

Evaluación del modelo

GARP es un algoritmo que automáticamente genera una evaluación del desempeño de los modelos a través de una Ji cuadrada; sin embargo, este medio de validación ha sido criticado por la sensibilidad hacia la elevada significancia que tiene a una mayor extensión de las coberturas utilizadas para la realización de los modelos. Por su parte MaxEnt, también como parte del proceso de modelado, genera automáticamente una evaluación del modelo pero usando una curva ROC (Receiver Operating Characteristic por sus siglas en inglés) con valores de AUC (área bajo la curva), la cual también ha sido criticada por la equitatividad con que mide los errores de omisión y de comisión, y también de una sensibilidad hacia la extensión de las coberturas, entre otras críticas (Lobo et al. 2008, Peterson et al. 2008, Peterson et al. 2011). Debido a lo anterior, se empleó el método AUC parcial como método de evaluación global de los modelos por medio del análisis ROC parcial (Partial Receiver Operating Characteristic; Peterson et al. 2008). El análisis ROC parcial se llevó a cabo usando el paquete estadístico Tool for Partial ROC desarrollado por Barve (2008), donde los modelos producidos son comparados con expectativas nulas (modelos generados de manera aleatoria). Dicho paquete se configuró para realizar 1000 repeticiones y se estableció un umbral 1-E de 0.95 para el eje y (Peterson et al. 2008, Saupe et al. 2011). El valor de Ratio obtenido indica un pobre desempeño si el valor es

igual o menor que uno, y un buen desempeño conforme el valor se aleja de uno y se acerca a dos (Cuadro 2)

Cuadro 2. Especies de estudio distribuidas en el Golfo de México, Caribe Mexicano, o en toda la extensión del Atlántico Mexicano. Se muestran puntos de entrenamiento y validación para cada especie, así como los valores generados en la evaluación de los modelos.

Especie	# de puntos de entrenamiento	# de puntos de validación	GARP (ROC parcial)		MAXENT (ROC parcial)	
			Media Ratio	Valor p	Media Ratio	Valor p
<i>Amaranthus greggii</i> S. Watson	70	20	1.405	< 0.001	1.449	< 0.001
<i>Batis marítima</i> L.	95	30	1.11	0.012	1.231	< 0.001
<i>Cakile lanceolata</i> (Willd.) O. Shultz	49	15	1.374	< 0.001	1.8	< 0.001
<i>Canavalia rosea</i> (Sw.) DC.	59	20	1.119	0.018	1.608	< 0.001
<i>Chamaecrista chamaecristoides</i> (Colladon) Greene	50	20	1.607	< 0.001	1.17	< 0.001
<i>Chrysobalanus icaco</i> L.	91	25	1.271	< 0.001	1.371	< 0.001
<i>Coccoloba uvifera</i> L.	128	30	1.268	< 0.001	1.328	< 0.001
<i>Croton punctatus</i> Jacq	129	40	1.202	< 0.001	1.253	< 0.001
<i>Erigeron myrionactis</i> Small	14	5	1.303	< 0.001	1.743	< 0.001
<i>Erithalis fruticosa</i> L.	43	10	1.811	< 0.001	1.837	< 0.001

<i>Ernodea littoralis</i> Sw.	41	10	1.536	< 0.001	1.49	< 0.001
<i>Ipomoea pes-caprae</i> (L.) R. Br.	128	30	1.163	< 0.001	1.108	< 0.001
<i>Iva asperifolia</i> Less.	11	5	1.855	< 0.001	1.91	< 0.001
<i>Oenothera drummondii</i> Hook.	25	10	1.523	< 0.001	1.241	< 0.001
<i>Okenia hypogaea</i> Schldl. & Cham.	44	15	1.211	< 0.001	1.222	< 0.001
<i>Palafoxia lindenii</i> A.Gray	65	20	1.242	< 0.001	1.897	< 0.001
<i>Palafoxia texana</i> DC.	52	15	1.396	< 0.001	1.362	< 0.001
<i>Pithecellobium keyense</i> Britton	102	25	1.282	< 0.001	1.253	< 0.001
<i>Sesuvium portulacastrum</i> L.	184	50	1.106	< 0.001	1.212	< 0.001
<i>Sporobolus virginicus</i> (L.) Kunth	63	20	1.23	< 0.001	1.345	< 0.001
<i>Taliparitti tiliaceum</i> (L.) Fryxell (Arruda)	34	10	1.287	< 0.001	1.298	0.001
<i>Tournefortia gnaphalodes</i> (L.) R.Br. ex Roemer & Schultes	65	20	1.114	< 0.001	1.743	< 0.001
<i>Uniola paniculata</i> L.	20	5	1.18	0.007	1.709	< 0.001

Resultados.

Modelos obtenidos por medio de GARP. Los modelos generados se encuentran en los datos entregados, en la carpeta GARP en datos binarios 1: presencia, 0: ausencia. Para el presente informe se realizó una compilación de la distribución de las especies, para definir las áreas de mayor riqueza de especies donde los esfuerzos de conservación deben maximizarse. Se obtuvieron los siguientes mapas:

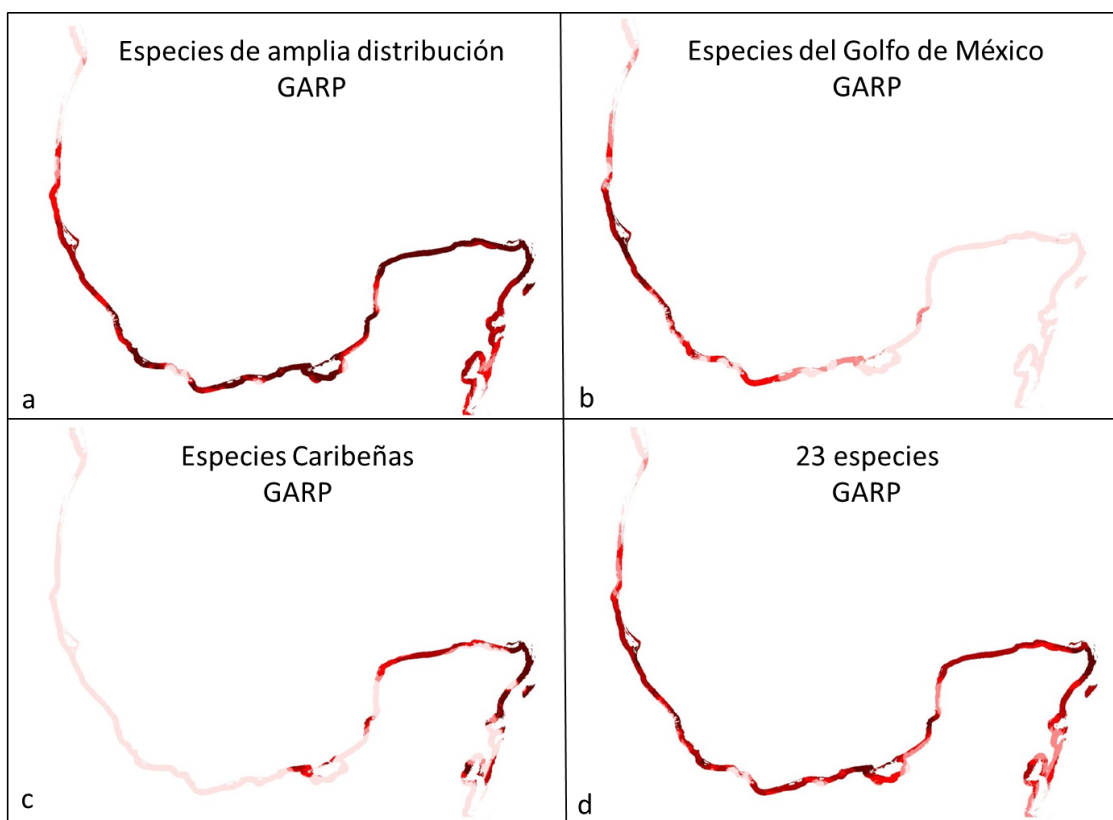


Figura 1. Compilación de los mapas de distribución de especies obtenidos con GARP. a) amplia distribución (*Batis maritima*, *Amaranthus greggii*, *Sporobolus virginicus*, *Sesuvium portulacastrum*, *Okenia hypogaea*, *Ipomoea pes-caprae*, *Chrysobalanus icaco*, *Croton punctatus*, *Coccoloba uvifera*, *Canavalia rosea*), b) del Golfo de México (*Uniola paniculata*, *Taliparitti tiliaceum*, *Palafoxia texana*, *Palafoxia lindenii*, *Oenothera drummondii*, *Iva asperifolia*, *Erigeron myrionactis*, *Chamaecrista chamaecristoides*), c) del Caribe (*Tournefortia gnaphalodes*, *Pithecellobium keyense*, *Ernodea littoralis*, *Erithalis fruticosa*, *Cakile lanceolata*) y d) todas las anteriores. Intensidad de rojo hacia el mayor número de especies.

Modelos obtenidos por medio de MaxEnt.- Los modelos generados se encuentran en los datos entregados, en la carpeta GARP en datos binarios 1: presencia, 0: ausencia.

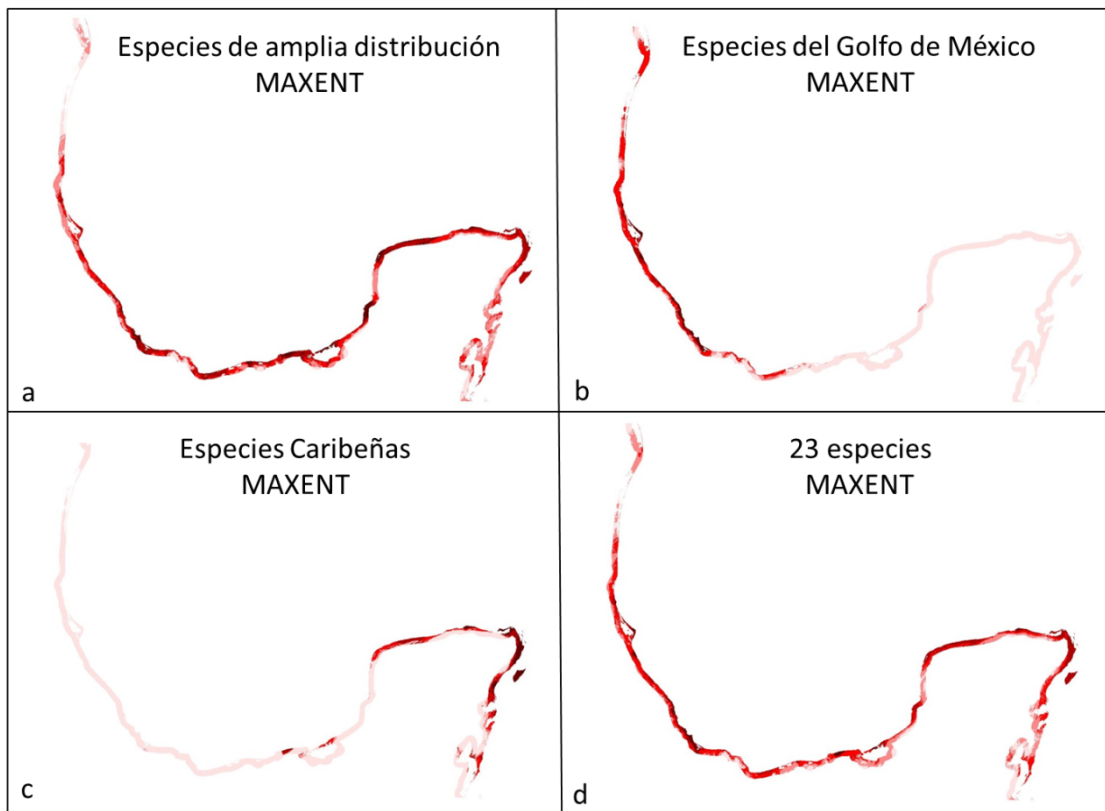


Figura 2. Compilación de los mapas de distribución de especies obtenidos con MAXENT. a) amplia distribución (*Batis maritima*, *Amaranthus greggii*, *Sporobolus virginicus*, *Sesuvium portulacastrum*, *Okenia hypogaea*, *Ipomoea pes-caprae*, *Chrysobalanus icaco*, *Croton punctatus*, *Coccoloba uvifera*, *Canavalia rosea*), b) del Golfo de México (*Uniola paniculata*, *Taliparitti tiliaceum*, *Palafoxia texana*, *Palafoxia lindenii*, *Oenothera drummondii*, *Iva asperifolia*, *Erigeron myrionactis*, *Chamaecrista chamaecristoides*), c) del Caribe (*Tournefortia gnaphalodes*, *Pithecellobium keyense*, *Ernodea littoralis*, *Erithalis fruticosa*, *Cakile lanceolata*) y d) todas las anteriores. Intensidad de rojo hacia el mayor número de especies.

Aunque en general los modelos predictivos que genera GARP tienden un poco a la sobrepredicción y por el contrario, MaxEnt al sobreajuste, los modelos entre los algoritmos para cada una de nuestras especies de estudio son muy parecidos en la tendencia de predicción de presencia/ausencia. Con excepción los modelos predictivos

para *Batis maritima* y *Taliparitti tiliaceum*, donde la predicción de GARP es mayor que la que genera Maxent.

La compilación de los modelos de distribución muestran que las condiciones ambientales propicias para las especies de amplia distribución (*Batis maritima*, *Amaranthus greggii*, *Sporobolus virginicus*, *Sesuvium portulacastrum*, *Okenia hypogaea*, *Ipomoea pes-caprae*, *Chrysobalanus icaco*, *Croton punctatus*, *Coccoloba uvifera* y *Canavalia rosea*) (Figs. 1a y 2a), ocurren principalmente en el centro del Golfo de México, en particular en las costas de Veracruz y al este del Golfo de México en el centro de las costas de Campeche. Así mismo se identifica una coincidencia de especies de amplia distribución en la costa noroeste y este de la Península de Yucatán, y a lo largo de las costas del estado de Quintana Roo, principalmente en el norte. En cuanto a las especies que se distribuyen en el Golfo de México (*Uniola paniculata*, *Taliparitti tiliaceum*, *Palafoxia texana*, *Palafoxia lindenii*, *Oenothera drummondii*, *Iva asperifolia*, *Erigeron myrionactis* y *Chamaecrista chamaecristoides*) (Figs. 1b y 2b), la mayor coincidencia ocurrió principalmente en las costas del sur de Tamaulipas y del norte al centro del estado de Veracruz. En el caso de las especies Caribeñas (*Tournefortia gnaphalodes*, *Pithecellobium keyense*, *Ernodea littoralis*, *Erithalis fruticosa* y *Cakile lanceolata*) (Figs. 1c y 2c), la mayor concurrencia en su distribución ocurre en el norte y centro de las costas de Quintana Roo, incluyendo las costas de la isla de Cozumel. También, para esta región geográfica, se encuentra una coincidencia de especies en la costa norte de la Península de Yucatán. Finalmente, al realizarse un mapa consenso con las 23 especies de estudio (Figs. 1d y 2d), las zonas de mayor riqueza de especies coinciden con la descrita anteriormente. En el sur de la costa de Campeche, donde confluye la Laguna de Términos con el sistema deltaico Grijalva-

Mexcapala-Usumacinta, se registra una coincidencia de especies entre las que se encuentran en el Golfo de México y la Península de Yucatán, que no se registran al ser analizadas las regiones separadamente (Golfo de México vs Península de Yucatán). En cuanto a la Península de Yucatán, la mayor concurrencia de especies de amplia distribución a lo largo del Atlántico Mexicano coincide en el norte de la Península y del norte al centro del Caribe, incluyendo la isla de Cozumel.

Conclusiones y recomendaciones.

Las regiones de mayor riqueza de especies predichas por los modelos, concuerdan con los hallazgos de otros estudios (Castillo y Moreno-Casasola 1998; Moreno-Casasola y Espejel 1986; Castillo et al. 1991). A lo largo de la costa existe una gran diversidad de plantas que crecen en suelos arenosos, entre las que podemos encontrar especies de amplia distribución, especies restringidas al Golfo de México o al Caribe y especies endémicas (Castillo y Moreno-Casasola 1998).

A partir de este trabajo se generó información que es de utilidad para identificar las zonas donde es recomendable incrementar los esfuerzos de conservación. En este caso serían: las costas del sur de Tamaulipas y del norte al centro del estado de Veracruz, el este de Tabasco y sur de la costa de Campeche, el norte del litoral de la Península de Yucatán y centro del Caribe, incluyendo la isla de Cozumel.

LITERATURA CITADA

- Anderson R.P., Lew D. y Peterson A.T. 2003. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling* 162: 211-232.
- Barve N., Barve V., Jiménez-Valverde A., Lira-Noriega A., Maher S.P., Peterson A.T., Soberón J. y Villalobos F. 2011. The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Modelling* 222: 1810-1819.
- Barve N. 2008. *Tool for Partial-ROC* (Biodiversity Institute, Lawrence, KS). V. 1.0.
- Castillo S. y Moreno-Casasola P. 1998. Análisis de la flora de dunas costeras del Litoral Atlántico de México. *Acta Botánica Mexicana* 45: 55-80.
- Castillo S., Popma, J. y Moreno-Casasola, P. 1991. Coastal sand dune vegetation of Tabasco and Campeche, Mexico. *Journal of Vegetation Science* 2: 73-88.
- Elith J., Graham, H., Anderson C.P., Dudik R., Ferrier M., Guisan S., Hijmans A.J., Huettmann R., Leathwick F.R., Lehmann J., Li A., Lohmann G.J., Loiselle L.A., Manion B., Moritz G., Nakamura C., Nakazawa M., McC Overton Y., Peterson AT., Phillips S., Richardson K., Scachetti-Pereira R., Schapire R., Soberon J., Williams S.S., Wisz M. y Zimmermann N. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129-151.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). 2005. ArcView GIS, V. 9.1. ESRI Inc. California, USA.
- Hijmans R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones P.G., y Jarvis A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- Lobo J.M., Jiménez-Valverde A. y Real R. 2008. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology Biogeography* 17: 145-151.
- Merow C., Smith M.J. y Silander J.A. 2013. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography* 36: 1058-1069.
- Moreno-Casasoa 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.
- Peterson A.T. Papes M. y Soberón J. 2008. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling* 213: 63-72.
- Peterson A.T., Soberón J., Pearson R.G., Anderson R.P., Martínez-Meyer E., Nakamura M. y Bastos M. 2011. *Ecological niches and geographic distribution*. Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- Phillips S.J., Anderson R.P. y Schapire R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.
- Saupe E.E., Papes M., Selden P.A., y Vetter R.S. 2011. Tracking a medically important spider: climate change, ecological niche modeling, and the brown recluse (*Loxosceles reclusa*). *PloS one* 6(3): e17731.

- Soberón J.M., Nakamura N. 2009. Niches and distributional areas: concepts, methods, and assumptions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106: 19644-19650.
- Stockwell D.R. y Noble I.R. 1992. Induction of sets of rules from animal distribution data: a robust and informative method of data analysis. *Mathematics and Computers in Simulation* 32: 249-254.
- Stockwell D. y Peters D.P. 1999. The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographic Information Systems* 13: 143-158.
- Stockwell D. y Peterson A.T. 2002. Effects of sample size on accuracy of species distribution models. *Ecological Modelling* 148: 1-13.