



Acta Universitaria

ISSN: 0188-6266

actauniversitaria@ugto.mx

Universidad de Guanajuato

México

Aragón-Noriega, E. Alberto; Castillo-Vargasmachuca, Sergio G.; Ponce-Palafox, Jesús T.;
Cruz-Vásquez, Rolando; Rodríguez-Domínguez, Guillermo; Pérez-González, Raúl
Distribución potencial de almeja de sifón Panopea globosa del Golfo de California en un
escenario de cambio climático

Acta Universitaria, vol. 27, núm. 3, mayo-junio, 2017, pp. 28-35

Universidad de Guanajuato

Guanajuato, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41652062004>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Distribución potencial de almeja de sifón *Panopea globosa* del Golfo de California en un escenario de cambio climático

Potential distribution of Geoduck clam *Panopea globosa* of the Gulf of California in a climate change Model

E. Alberto Aragón-Noriega^{*♦}, Sergio G. Castillo-Vargasmachuca^{**}, Jesús T. Ponce-Palafox^{**}, Rolando Cruz-Vásquez^{**}, Guillermo Rodríguez-Domínguez^{***}, Raúl Pérez-González^{***}

RESUMEN

El cambio climático ha roto el equilibrio natural y se ha modificado el estado de salud de las diferentes especies comerciales como la almeja de sifón. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue pronosticar la distribución de almeja de sifón *Panopea globosa* del Golfo de California en el año 2050 ante un escenario de cambio climático. Se usó el modelo de máxima entropía (MaxEnt) utilizando 12 variables ambientales que afectan la distribución desde el punto de vista térmico, químico y biológico. El modelo de MaxEnt predijo el hábitat potencial adecuado para *P. globosa* con altas tasas de éxito (Area Under the Curve [AUC] = 0.995). El hábitat más favorable de *P. globosa* se encuentra en Guaymas, Sonora, debido a la surgencia de nutrientes que benefician la producción de clorofila-a. Para el año 2050, el modelo MaxEnt pronosticó que en Sonora se presentará una reducción hacia la costa sur. En Santa Rosalía e Isla San Marcos, Baja California Sur, las probabilidades disminuyen de 0.70 a 0.04. Los actuales sitios de captura se notarán alterados con posibles afectaciones sociales y económicas en las comunidades litorales. La conclusión es que el estudio resulta importante para la administración de recursos pesqueros, ya que en un escenario de cambio climático los sitios de captura pueden modificarse.

ABSTRACT

Climate change has broken the natural equilibrium and has modified the state of health of different commercial species such as the geoduck clam. Therefore, the objective of the present study was to predict the distribution of the geoduck clam *Panopea globosa* of the Gulf of California to the year 2050 using a climate change model. We applied the maximum entropy model (MaxEnt), which considered 12 environmental variables that affect thermal, chemical, and biological distribution. The MaxEnt model predicted the potential habitat suitable for *P. globosa* with high success rates (Area Under the Curve [AUC] = 0.995). The most favorable habitat of *P. globosa* is located of Guaymas, Sonora, mainly due to the upwelling of nutrients that promotes the production of chlorophyll-a. In the year 2050, MaxEnt forecasted southward reduction towards the south coast of Sonora, of Santa Rosalía and San Marcos Island in Baja California Sur the presence probability decreased from 0.70 to 0.04. Current clam harvesting sites were observed to have been altered by the social and economic conditions of coastal communities. We conclude that this study is important for fisheries resource management purposes because the fisheries harvesting sites could be affected by climate change.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los desafíos más complejos de comienzos de nuestro siglo. Ningún país está inmune. Ningún país puede, por sí solo, afrontar los desafíos interconectados que plantea el cambio climático, entre los que se incluyen decisiones políticas controvertidas, un cambio tecnológico y consecuencias mundiales de gran alcance. El cambio climático está alterando la estructura y funcionalidad del ecosistema que afecta la disponibilidad de recursos ecológicos, interacciones entre ecosistemas y el clima, así como la economía que depende de los ecosistemas. Es difícil comprender el efecto de la variabilidad del cambio climático y el cambio que sufren los ecosistemas, la oferta de bienes y servicios, las consecuencias de las acciones humanas hacia el ambiente.

Recibido: 24 de febrero de 2016

Aceptado: 24 de marzo de 2016

Palabras clave:

Cambio climático; Golfo de California; modelo de máxima entropía; *Panopea globosa*; pesca; variables ambientales.

Keywords:

Climate change; environmental variability; Gulf of California; maximum entropy model; fishery; *Panopea globosa*.

Cómo citar:

Aragón-Noriega, E. A., Castillo-Vargasmachuca, S. G., Ponce-Palafox, J. T., Cruz-Vásquez, R., Rodríguez-Domínguez, G., & Pérez-González, R. (2017). Distribución potencial de almeja de sifón *Panopea globosa* del Golfo de California en un escenario de cambio climático. *Acta Universitaria*, 27(3), 28-35. doi: 10.15174/au.2017.1245

* Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Unidad Sonora, km 2.35 Camino al Tular, Estero de Bacoichampo, Guaymas, Sonora, México, C.P. 85454. Tel.: 52 622 221 2237. Fax +52 622 221 2238. Correo electrónico: aaragon04@cibnor.mx

** Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela km 9, Xalisco, Nayarit, México, C.P. 63780.

*** Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar. Paseo Claussen S/N. Col. Los Pinos, Mazatlán, Sinaloa, México, C.P. 82000

♦ Autor de correspondencia.

El Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (PICC, 2014) menciona que en los últimos 100 años la temperatura superficial global promedio se ha incrementado entre 0.65 °C y 1.6 °C. Por lo que la temperatura superficial podría ascender entre 0.3 °C y 4.8 °C para finales de siglo, (PICC, 2014). Como resultado, se han reportado cambios en la distribución y composición de comunidades de especies marinas en zonas templadas y subtropicales (Albouy, Guilhaumon, Araujo, Mouillot & Leprieur, 2012; Ayala-Bocos, Reyes-Bonilla, Calderón-Aguilera, Herrero-Pérezrul & González-Espinosa, 2016; Perry, Low, Ellis & Reynolds, 2005; Pont, López, Carrel, Rogers & Haidvogel, 2015). Incluso en ese informe del PICC se lee textualmente que “Muchas especies terrestres, dulceacuícolas y marinas han modificado sus áreas de distribución geográfica, actividades estacionales, pautas migratorias, abundancias e interacciones con otras especies en respuesta al cambio climático en curso” (PICC, 2014).

El cambio climático ha roto el equilibrio natural y se ha modificado el estado de salud de las diferentes especies comerciales como los pargos (*Lutjanus guttatus*, *L. peru* y *L. colorado* principalmente), botete (*Sphoeroides annulatus*), roncacho (*Haeuropsis leuciscus*), curvina (*Cynoscion* sp.), robalo (*Eucinostomus* sp.). Por lo anterior, es importante evaluar causas y efectos del cambio climático sobre la incidencia y prevalencia de los eventos interanuales en su fase cálida como El Niño y su fase fría como La Niña, el cambio en las condiciones ambientales de las corrientes oceánicas, así como del hábitat, que ha repercutido además en una disminución de las pesquerías de importancia comercial y en producciones acuícolas.

El Golfo de California es la zona pesquera más importante de México, aproximadamente 80% de las capturas pesqueras del Pacífico mexicano se generan, o al menos se desembarcan, en costas de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit. El Golfo de California cuenta con la mayor población de pescadores ribereños y el mayor número de organizaciones pesqueras ribereñas del Pacífico mexicano. En este mar inició, en 2002, la pesquería de almeja de sifón *Panopea* spp. con una producción de 49 t y para 2014 las capturas declaradas fueron de 6951 t (Conapesca, 2016), que comprende ambas especies *P. generosa* y *P. globosa*. Sin embargo, *P. globosa* contribuye con más del 85% de las capturas totales. A pesar de su importancia comercial son pocos los trabajos publicados de esta especie: Aragón-Noriega, Alcántara-Razo, Calderón-Aguilera & Sánchez-Fourcade (2012) presentaron una revisión del conocimiento generado hasta ese momento y hacen mención a la necesidad de explorar nuevas áreas de pesca. Por esa

razón la motivación de este trabajo fue, primeramente, la de localizar las áreas de distribución potencial de la especie con fines de explotación en el Golfo de California y posteriormente evaluar el efecto del cambio climático sobre su distribución futura partiendo de herramientas como evaluación de hábitat favorable.

En los últimos años se ha generalizado una herramienta que permite analizar objetivamente los patrones espaciales de presencia de organismos: los modelos de distribución de especies. Estos modelos se basan en procedimientos estadísticos y cartográficos que, partiendo de datos reales de presencia, permiten inferir zonas potencialmente idóneas en función de sus características ambientales. La idoneidad no es más que la relación matemática o estadística entre la distribución real conocida y un conjunto de variables independientes que se usan como indicadores. Estas variables suelen ser térmica, química y biológicas y condiciones batimétricas, se espera que con algunas de ellas, individualmente o en combinación, se puedan definir los parámetros ambientales que delimiten las condiciones favorables para la presencia de la especie. Uno de ellos es el modelo propuesto por Phillips, Anderson & Schapire (2006) de máxima entropía (MaxEnt). Este modelo estima la distribución potencial del hábitat de la especie con base en la localización de la distribución de MaxEnt (más cercana y uniforme), considerando que los valores esperados para cada una de las características analizadas bajo esta distribución estimada, coinciden en su valor empírico promedio. Sin embargo, el modelo no tiene en cuenta las interacciones biológicas entre las especies, tales como los fenómenos de competencia o sinergia. No considera la posibilidad de la especie de llegar a todos los sitios donde podría vivir (no incluye, por ejemplo, parámetros que describan la capacidad de dispersión).

El estudio se inició con las siguientes preguntas: ¿Cuál es la probabilidad de presencia de *Panopea globosa* en el Golfo de California? ¿El cambio climático afectará la distribución de *Panopea globosa* en el Golfo de California? Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue estimar el efecto del cambio climático en la distribución futura (al año 2050) de *Panopea globosa* en el Golfo de California.

MÉTODOS

Distribución de *Panopea globosa*

Para determinar el hábitat potencial se utilizaron los datos provenientes de pesca comercial de *P. globosa* en el Golfo de California (San Felipe, Puerto Peñasco y la

parte central de Sonora) y los registros de la lista de verificación de la macrofauna del Golfo de California (Aragón-Noriega *et al.*, 2012; Hendrickx, Brusca & Findley, 2005). La figura 1 presenta sitios donde existen actualmente permisos de pesca comercial o de fomento de las dos especies de almeja de sifón. Para *P. generosa* básicamente en el Pacífico mexicano y para *P. globosa* en el interior de Bahía Magdalena y el Golfo de California. Los sitios de pesca representan importancia social y económica ya que es una especie de alto valor comercial y que genera importantes empleos directos e indirectos (Aragón Noriega *et al.*, 2012).

Datos ambientales

Se seleccionaron las variables ambientales por la importancia que puede tener en la de distribución de *P. globosa* y con sujeción a la disponibilidad de los datos. Por lo tanto, se usaron 12 variables ambientales que representaban las condiciones térmicas, químicas, biológicas y batimétricas derivadas de diferentes fuentes (tabla 1). Se obtuvieron cuadrículas que representan el promedio total de la temperatura máxima y mínima de la superficie del mar por medio de imágenes de satélite mensuales de 2006 a 2008 con una resolución espacial de un grado. Para una mayor resolución se remuestrearon los datos ambientales en una red de 1 km, con un modelo de interpolación bilateral.

Modelado con MaxEnt

Para el desarrollo del modelado alternativo con base en el hábitat favorable se utilizó el programa MaxEnt 3.2.1. (Phillips *et al.*, 2006). Para el desarrollo de este tipo de modelos se utilizan una serie de registros espaciales (latitud-longitud) en combinación con una serie de características ambientales. Para el modelado de la distribución de las especies, las localidades con presencia sirven como los puntos de muestreo, la región geográfica de interés es el espacio donde la distribución será definida y las características son las variables ambientales (Phillips *et al.*, 2006). Este algoritmo calcula la distribución de probabilidad de presencia de la especie que más se extendió teniendo en cuenta las limitaciones derivadas de los datos disponibles y expresa la idoneidad del hábitat para las especies en función de variables ambientales (Phillips *et al.*, 2006). El modelo proporciona una superficie de probabilidad en el espacio que representa un nicho ecológico (la idoneidad del hábitat). Los valores de logística de salida van desde 0 (hábitat inadecuado) a 1 (hábitat óptimo), cuando el valor de la función de distribución es > 0.5 indica que las condiciones son favorables para la presencia de la especie, valores contrarios (< 0.5)

significan que la celda no produce condiciones necesarias para el establecimiento de las especies (Pearson, Raxworthy, Nakamura & Townsend-Peterson, 2007; Phillips & Dudík, 2008). Algunas de las ventajas de MaxEnt son que requiere datos de presencia ambientales por separado (Phillips *et al.*, 2006).

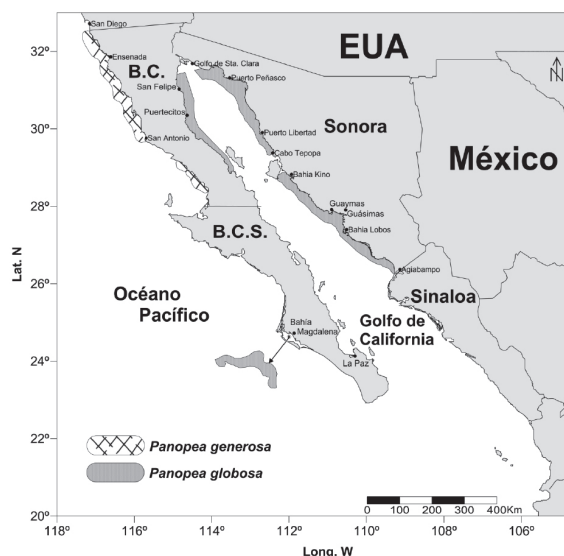


Figura 1. Distribución geográfica de almeja *Panopea* spp. en México. Fuente: Elaborado a partir de información de Conapesca.

Tabla 1.

Variables ambientales utilizadas para predecir el hábitat favorable de *Panopea globosa*.

Variable	Unidad	Fuente
Temperatura superficial del mar	°C	National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
Temperatura máxima	°C	National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
Temperatura mínima	°C	National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
Concentraciones de Clorofila- α	mg/m ³	National Geophysical Data Center (NASA)
Salinidad	Pss	World Ocean Atlas (WOA)
Alcalinidad	$\mu\text{mol/kg}$	Ocean Data View (ODV)
Carbono inorgánico disuelto	$\mu\text{mol/kg}$	World Ocean Atlas (WOA)
Nitrato	$\mu\text{mol/L}$	World Ocean Atlas (WOA)
Fosfatos	$\mu\text{mol/L}$	World Ocean Atlas (WOA)
Silicatos	$\mu\text{mol/L}$	World Ocean Atlas (WOA)
Oxígeno disuelto	mL/L	World Ocean Atlas (WOA)
Batimetría	m	General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO)

Fuente: Elaboración propia.

Efecto incremento de temperatura sobre la distribución

Para evaluar si el aumento en la temperatura superficial del mar tiene algún efecto en los nichos ecológicos y distribución potencial de *P. globosa*, se incorporaron al modelo MaxEnt mapas de tendencias de temperatura estimadas para 2050. Para mejorar la coherencia entre los datos de entrada y resultados, se ajustaron los parámetros y las constantes del modelo (Rykiel, 1996). Salida de logística, un valor iteración máximo de 1000 y el modelo por defecto se usan los parámetros (un umbral de convergencia de 10 – 5 y regularización automática con un valor de 4.10). Estos ajustes han logrado mostrar un buen rendimiento (Phillips & Dudik, 2008) y, en general, la reciente comparación entre varias técnicas de predicción de la distribución de especies muestra que MaxEnt fue uno de los métodos más eficaces con un ajuste particularmente bueno cuando el conjunto de datos analizados cuenta con un número pequeño de registros de presencia, como en este caso (Pearson *et al.*, 2007).

Para estimar la velocidad de cambio en la temperatura superficial del Golfo de California, se utilizaron registros satelitales generados por la Agencia Nacional Oceanográfica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA, por sus siglas en inglés). Como línea base, se seleccionaron registros del 1984 al 2008 el cual es empleado por la NOAA y otras agencias para evaluar efectos del calentamiento sobre corales arrecifales y

otros organismos (Eakin, Lough & Heron, 2009). Con un análisis de regresión lineal simple y tomando como factor el año, se estimó la tasa anual de cambio termal (equivalente a la pendiente de la recta). La información generada se incluyó en un sistema de información geográfica y se interpoló usando la extensión Geostatistical Analyst del programa ArcMap 9.3 para construir mapas prospecto de las tendencias de elevación de temperatura en 2050.

RESULTADOS

Distribución actual

El modelo de MaxEnt predijo un hábitat potencial adecuado para *P. globosa* con altas tasas de éxito (*Area Under the Curve* [AUC] = 0.995) que indica un buen ajuste del modelo. Las curvas de respuesta para cada una de las variables y los rangos óptimos de distribución de las especies (figura 2a-c) ilustran la predicción de logística de las mejores condiciones del hábitat o áreas donde es más probable que se encuentre la especie. Los resultados muestran una relación positiva entre *P. globosa* en aguas poco profundas (<100 m) y las áreas productivas con altas concentraciones de clorofila-a (>8 mg/m³) y nitrato (1.5 – 2. Mol/l). Estas son las condiciones típicas del Alto Golfo de California y el Golfo de California. De las 12 variables, la batimetría muestra la información más útil porque si la excluimos disminuye la ganancia total del modelo (figura 2d).

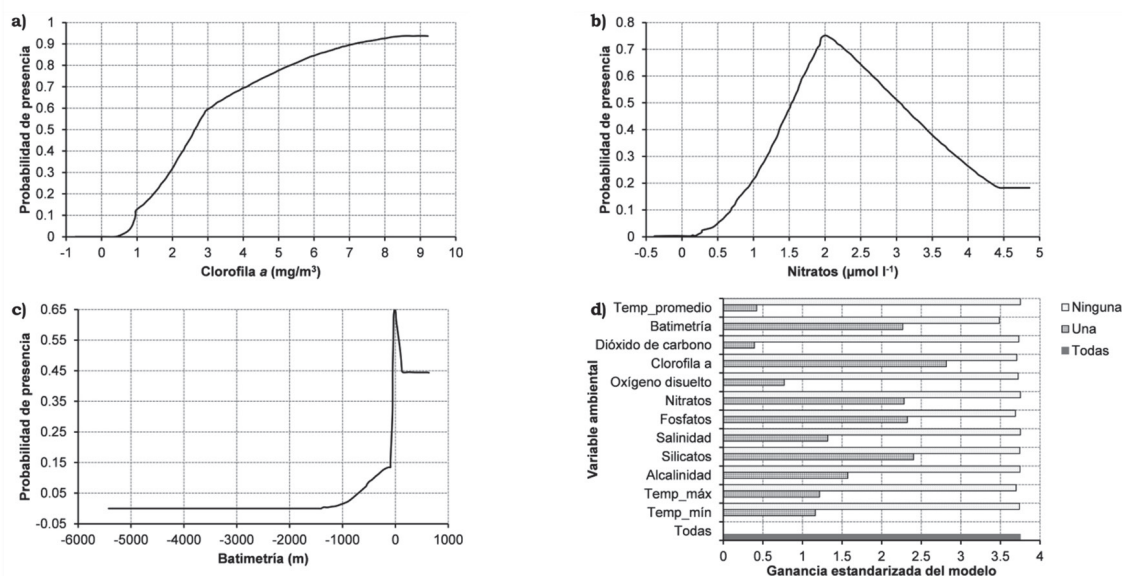


Figura 2. Curvas de respuesta entre las variables de mayor contribución y la probabilidad de ocurrencia de *P. globosa* (A-C). Resultados de la prueba "jack-knife" para estimar la importancia de cada variable (D).

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del modelo indican que el hábitat más adecuado para *P. globosa* está restringido dentro del Golfo de California y asociado a las áreas de alta productividad; por lo tanto se esperaría que el hábitat más adecuado se encuentre en las zonas del Alto Golfo de California, Guaymas, Sonora y la costa de Santa Rosalía y la Isla San Marcos en Baja California Sur.

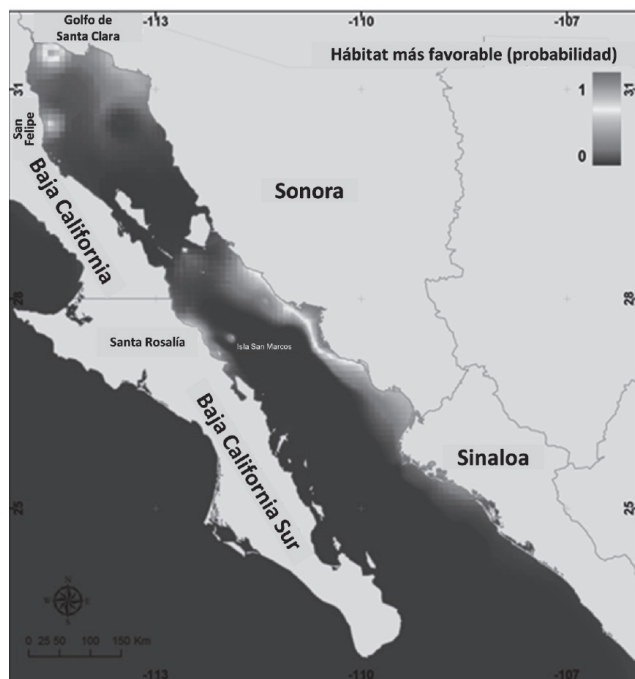


Figura 3. Distribución potencial del hábitat más favorable para *P. globosa* en el año 2050.
Fuente: Elaboración propia.

Distribución en 2050

El cambio de la temperatura del mar en el Golfo de California no es homogénea; Bahía de Banderas y la porción Sur de Sonora presentan tasas de aumento de temperatura >0.2 °C al año, mientras que en el Alto Golfo de California la tasa de cambio es más estable con tendencia a disminuir la temperatura promedio en el año 2050. Bajo el supuesto del modelo empleado para estimar las tendencias de temperatura en los próximos años (2050), la diferencia de la temperatura superficial del mar en el Golfo de California con respecto a la actual podrá ser de más de 1 °C. Al comparar las curvas de respuesta de la temperatura promedio (obtenida del primer modelo) y la temperatura en 2050, se observa que el aumento de temperatura

reduce el rango óptimo de mayor probabilidad de presencia de la especie hacia zonas más cálidas (24.5 °C – 25.8 °C). Estos resultados se observan también en el mapa de hábitat favorable (figura 3) donde la distribución de *P. globosa* se restringe un poco más al norte del Golfo de California y desaparece en la porción norte de Sinaloa. En el Alto Golfo hay un aumento en la probabilidad de ocurrencia principalmente en el Golfo de Santa Clara y San Felipe (0.80 y 0.60 respectivamente). En San Felipe es donde se ha instalado mayor infraestructura pesquera de la especie y por tanto mayor beneficio social y económico. Los sitios de mayor probabilidad de ocurrencia en Sonora se reducen ligeramente hacia la costa sur y en Santa Rosalía e Isla San Marcos en donde las probabilidades disminuyen de 0.70 a 0.04.

DISCUSIÓN

Los estudios de distribución espacial de especies ha generado una gran cantidad de modelos de distribución de especies (Pont *et al.*, 2015). Estos modelos dependen de las relaciones estimadas entre las condiciones ambientales presentes y presencia-ausencia de especies. Se han utilizado con éxito para pronosticar los cambios de distribución de especies causadas por el calentamiento global (Ayala-Bocos *et al.*, 2016; Perry *et al.*, 2005). Se han convertido en la base de estudios de macroecología y biogeografía ya que son parte del estudio de nicho ecológico o condiciones habitables de la especie en el ambiente (Martínez-Meyer, Díaz-Porras, Peterson & Yáñez-Arenas, 2013; Schwartz, 2012), reconociendo esto es pertinente dejar en claro que la discusión sobre los diferentes modelos para el estudio de nicho ecológico no es la prioridad en el presente estudio, sino la aplicabilidad para pronosticar los cambios en la distribución de la especie bajo estudio ante efectos del cambio climático.

La modelación de la distribución de especies representa un área científica importante (Martínez-Meyer *et al.*, 2013) que merece la atención de la comunidad académica ya que presenta algunos retos interesantes. Este trabajo muestra cómo usar MaxEnt para predecir la distribución de la almeja de sifón, MaxEnt solo requiere de muestras positivas y en el presente estudio mostró un buen desempeño. Los modelos generados por MaxEnt tienen una interpretación probabilística natural, dando una progresión suave de más a menos condiciones adecuadas. También se ha demostrado que los modelos pueden ser interpretados fácilmente, una propiedad de gran importancia práctica. Mientras MaxEnt aborda el problema de modelación de

distribución de especies de manera eficaz, hay muchas otras técnicas que podrían ser utilizadas como campos aleatorios de Markov o modelos de mezcla. Es de destacar que MaxEnt (así como otros modelos de nicho ecológico) se han aplicado con mucho éxito en el medio terrestre (Andrén, 1994), pero en el medio acuático su uso ha sido más limitado. Esta limitación se ha adjudicado a la falta de información ambiental (Ibarra-Montoya, *et al.*, 2012). Sin embargo, estos autores pudieron aplicar MaxEnt exitosamente (*Area Under the Curve* [AUC] = 0.90) para predecir el hábitat favorable de una cianobacteria en la presa Aguamilpa.

Para el caso del presente estudio los resultados del modelo MaxEnt muestran que la zona de San Felipe, en Baja California, no se encontró como la más adecuada para la distribución de almeja de sifón y es actualmente donde mayor captura se obtiene. En cambio en la región oriental del Golfo, particularmente la parte central, el hábitat es el más adecuado, pero la explotación es aún incipiente. La explicación a esto es que la zona central del Golfo de California (que incluye Guaymas) aún se encuentra subexplotada. Las razones las explican Aragón-Noriega *et al.* (2012) y entre otras discuten razones de mercado. Por esa razón las capturas comerciales no se deben considerar como evidencia de mayor presencia por hábitat favorable para la especie. Un estudio de densidad para cada zona aclararía mejor si Guaymas es mejor como hábitat para la especie bajo estudio en comparación con la zona de San Felipe.

Los resultados del modelo sugieren que menos de la mitad del área total incluida en el estudio presenta sitios con calidad de hábitat óptimo para la presencia de la especie (figura 3). Los sitios con mayor probabilidad de presencia de *P. globosa* se localizan en Guaymas (0.83) el Alto Golfo de California (0.69) y en la costa de Santa Rosalía e Isla San Marcos (0.70). Estos resultados sugieren que la distribución de *P. globosa* está restringida hacia el interior del Golfo de California, ya que a pesar de incluir registros del sur de Sinaloa en el análisis, la probabilidad de que esta especie se distribuya cerca de la boca del Golfo de California o habite en la región de Bahía Magdalena (siendo simpátrica con *P. generosa* en el oeste de Baja California) es extremadamente baja (0.005). Aquí es importante señalar que a pesar de que el análisis arrojó baja probabilidad de presencia de *P. globosa* en Bahía Magdalena, Suárez-Moo *et al.* (2013) demostraron que la especie que se captura en ese cuerpo de agua es *P. globosa*. Es importante destacar que la zona central del Golfo de California se ve favorecida por eventos de surgencia (Hamman, Nevárez-Martínez & Green-Ruiz, 1998) lo que la hacen una zona de alta productividad primaria y al ser *P. globosa* una especie filtradora la zona es un hábitat favorable.

Al pronosticar el cambio en la distribución de *P. globosa* bajo un escenario de elevación de temperatura oceánica del Golfo de California, por efecto del cambio climático, se observa que su distribución se restringe al norte del Golfo de California cerca de las costas de Guaymas, Golfo de Santa Clara, Sonora y San Felipe, Baja California. Estos resultados deben ser tomados con cautela ya que las demás variables incluidas en el modelo se mantuvieron constantes lo que puede provocar resultados incompletos. Es importante destacar que los efectos del cambio climático en especies sésiles como son las almejas que viven adheridas al fondo marino puede ser más abrupto que en especies de peces que pueden migrar hacia zonas donde el clima es más favorable. Perry *et al.* (2005) y Pont *et al.* (2015) señalan que hay suficiente evidencia para afirmar que la respuesta de las principales especies de peces ante el calentamiento global es migrar hacia los polos, hacia aguas más profundas o hacia arriba, en términos de elevación, donde encuentran condiciones térmicas más adecuadas a su hábitat preferido. Perry *et al.* (2005) hacen una advertencia acerca del impacto que está causando la elevación de la temperatura del mar en las pesquerías comerciales del mar del norte por los continuos cambios en la distribución y alteraciones en las interacciones de la comunidad de peces. Su estudio lo hicieron en 25 especies de peces tanto comerciales como no comerciales.

Los pescadores que basan su economía en la explotación de recursos como las almejas (que es el caso de la especie objeto de estudio en el presente trabajo) serán los más directamente afectados ante un escenario de elevación de la temperatura promedio del Golfo de California, derivada de efectos del calentamiento global, por las razones arriba mencionadas. Al ser la explotación de este recurso administrada por bancos y cuotas (Aragón-Noriega *et al.*, 2012) otorgadas a solicitantes que viven en las zonas aledañas de la distribución conocida de la especie, el resultado de este estudio es de importancia para prevenir los posibles cambios en la distribución ante el escenario de cambio climático. También es motivo para recomendar estudios como el presente para otros recursos pesqueros del Golfo de California y poder prever los potenciales cambios en distribución del resto de recursos pesqueros.

CONCLUSIÓN

Los resultados del presente estudio indican que es posible generar mapas de predicción de distribución

potencial de la almeja de sifón a partir de registros de presencia (ya sea derivados de la pesca comercial o de estudios científicos) en combinación con variables ambientales. Esto tiene un enorme potencial para la biología de la conservación y para la administración de recursos pesqueros ya que se identifican áreas críticas de distribución de las especies de importancia comercial (como la del presente estudio *P. globosa*). El modelado de nicho ecológico ha demostrado ser una herramienta útil para predecir la distribución potencial de las especies en el contexto del cambio climático global. En este estudio se utilizó el modelo MaxEnt para pronosticar la distribución de la almeja de sifón del Golfo de California con la idea de proyectar su distribución potencial bajo los efectos del cambio climático que se espera ocurran en el año 2050. Si bien los estudios de nicho ecológico son útiles para elucidar los factores que influyen en la distribución de *P. globosa*, sería interesante continuar con la investigación explorando también registros de captura y posibles sitios de sobreexplotación tomando en cuenta que, en un escenario de cambio climático, los sitios de captura pueden modificarse.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto fue financiado por Programa para el Desarrollo Profesional Docente (Prodep), para el Tipo Superior (Proyecto Efectos del Cambio Climático en la Pesca y Acuicultura del Pacífico Mexicano). E. Alberto Aragón-Noriega recibió apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) (proyecto 250520) para estancia sabática en Nayarit y ser parte de este estudio. Edgar Alcántara-Razo del laboratorio de Ecología Aplicada y Pesquerías (CIBNOR Unidad Sonora) editó las figuras. Rolando Cruz-Vázquez agradece al Conacyt por la beca otorgada para realizar sus estudios de posgrado.

REFERENCIAS

- Albouy, C., Guilhaumon, F., Araujo, M. B., Mouillot, D., & Leprieux, F. (2012). Combining projected changes in species richness and composition reveals climate change impacts on coastal Mediterranean fish assemblages. *Global Change Biology*, 18(10), 2995-3003. doi: 10.1111/j.1365-2486.2012.02772.x
- Andrén, H. (1994). Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscape with different proportions of suitable habitat: a review. *Oikos*, 71(3), 355-366. doi: 10.2307/3545823
- Aragón-Noriega, E. A., Alcántara-Razo, E., Calderon-Aguilera, L. E., & Sánchez-Fourcade, R. (2012). Status of Geoduck clam fisheries in Mexico *Journal of Shellfish Research*, 31(3), 733-738.
- Ayala-Bocos, A., Reyes-Bonilla, H., Calderón-Aguilera, L. E., Herrero-Perezrul, M. D., & González-Espinosa, P. C. (2016). Proyección de cambios en la temperatura superficial del mar del Golfo de California y efectos sobre la abundancia y distribución de especies arrecifales. *Revista de Investigaciones Marinas y Costeras*, 8(1), 29-40.
- Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (Conapesca). (2016). *Consulta específica por especie*. Recuperado el 11 de enero de 2016 de <http://www.conapesca.gob.mx>
- Eakin, C. M., Lough, J. M., & Heron, S. F. (2009). Climate Variability and Change: Monitoring data and evidence for increased coral bleaching stress. In M., Van Oppen & J. M., Lough (Eds.). *Coral Bleaching: Patterns, Processes, Causes and Consequences. Ecological Studies 205*. Berlin: Springer.
- Hammann, M. G., Nevarez-Martinez, M. O., & Green-Ruiz, Y. (1998). Spawning habitat of the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) in the Gulf of California: egg and larval distribution 1956-1957 and 1971-1991. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*, (39), 169-179.
- Hendrickx, M. E., Brusca, R. C., & Findley, L. L. T. (2005). *Listado y Distribución de la Macrofauna del Golfo de California, México. Parte 1, Invertebrados*. Arizona Sonora Desert Museum, Tucson.
- Ibarra-Montoya, J. L., Rangel-Peraza, G., González-Farías, F. A., Anda, J., Martínez-Meyer, E., & Macías-Cuellar, H. M. (2012). Uso del modelado de nicho ecológico como una herramienta para predecir la distribución potencial de *Microcystis* sp. (cianobacteria) en la Presa Hidroeléctrica de Aguamilpa, Nayarit, México. *Ambi-Agua*, 7(1), 218-234.
- Martínez-Meyer, E., Díaz-Porras, D., Peterson, A. T., & Yáñez-Arenas, C. (2013). Ecological niche structure and rangewide abundance patterns of species. *Biology Letters*, (9), 20120637. doi: 10.1098/rsbl.2012.0637.
- Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M., & Townsend-Peterson, A. (2007). Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34(1), 102-117.
- Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (PICC). (2014). Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad-Resumen para responsables de políticas. In Field, C. B., V. R., Barros, D. J., Dokken, K. J., Mach, M. D., Mastrandrea, T. E., Bilir, M., Chatterjee, K. L., Ebi, Y. O., Estrada, R. C., Genova, B., Girma, E. S., Kissel, G. L., L. E., & M. (Eds.). *Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra.
- Perry, A. L., Low, P. J., Ellis, J. R., & Reynolds, J. D. (2005). Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science*, 308(5730), 1912-1915.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190 (3-4), 231-259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>

- Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161-175. doi: 10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x
- Pont, D., López, M., Carrel, G., Rogers, C., & Haidvogel, G. (2015). Historical change in fish species distribution: shifting reference conditions and global warming effects. *Aquatic Science*, 77(3), 441-453. doi:10.1007/s00027-014-0386-z
- Rykiel, E. J. Jr. 1996. Testing ecological models: the meaning of validation. *Ecological Modeling*, 90(3), 229-244.
- Suárez-Moo, P. J., Calderon-Aguilera, L. E., Reyes-Bonilla, H., Díaz-Erales, G., Castañeda-Fernandez-de-Lara, V., Aragón-Noriega, E. A., & Rocha-Olivares, A. (2013). Integrating genetic, phenotypic and ecological analyses to assess the variation and clarify the distribution of the Cortes geoduck (*Panopea globosa*). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 93(3), 809-816.
- Schwartz, M. W. (2012). Using niche models with climate projections to inform conservation management decisions. *Biological Conservation*, (155), 149-156. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.06.011>