

Informe final* del Proyecto MM003
Situación actual del pez endémico *Holacanthus clarionensis* (Ángel Clarión), y perspectivas de conservación en México

Responsable: Dr. Héctor Reyes Bonilla
Institución: Universidad Autónoma de Baja California Sur
Área Interdisciplinaria de Ciencias del Mar
Departamento de Biología Marina
Dirección: Carretera al Sur Km 5.5, Mezquito, La Paz, BCS, 23081 , México
Correo electrónico: hreyes@uabcs.mx
Teléfono/Fax: Tel: 01(612)123 8800 ext 4160 Fax: 01(612)123 8819
Fecha de inicio: Octubre 15, 2014.
Fecha de término: Noviembre 8, 2018.
Principales resultados: Cartografía, ficha de especie, informe final.
Forma de citar el informe final y otros resultados:** Reyes-Bonilla, H. 2016. Situación actual del pez endémico *Holacanthus clarionensis* (Ángel Clarión), y perspectivas de conservación en México. Universidad Autónoma de Baja California Sur. **Informe final SNIB-CONABIO, Proyecto No. MM003.** Ciudad de México.

Resumen:

El Ángel Clarión, *Holacanthus clarionensis* Gilbert, 1891, es un pez endémico del occidente de México que solo tiene poblaciones establecidas en la porción sur de la Península de Baja California, las Rocas Alijos, y el Archipiélago Revillagigedo. La especie presenta una coloración notablemente llamativa y ello le otorga alto valor en el mercado del acuarismo (superando los \$500 dólares por individuo). Por esa situación ha sido objeto de pesca legal e ilegal desde hace un par de décadas, pero desafortunadamente la condición actual de sus poblaciones y por ende el status que la especie puede tener bajo la óptica de diversas agencias de conservación, son desconocidas. El presente estudio tiene como finalidad evaluar el estado actual de *H. clarionensis* con base en diversas fuentes de información incluyendo datos de campo, bibliografía técnica (libros, artículos, tesis, reportes), información de agencias gubernamentales, y entrevistas a los responsables de los predios de aprovechamiento. Además se usarán modelos de nicho ecológico y distribución potencial para estimar su área de distribución y su población total. Por último se empleará toda la información para evaluar la inclusión de este pez a los apéndices I o II de CITES, así como cuál sería su clasificación adecuada dentro de la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, y en la Norma Oficial Mexicana NOM-ECOL-059-2010.

-
- * 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.



Situación actual del pez endémico *Holacanthus clarionensis* (Ángel Clarión), y perspectivas de conservación en México

Investigador responsable: Dr. Héctor Reyes Bonilla. Universidad Autónoma de Baja California Sur.

Técnico: Biol. María Martínez Torres. Universidad Autónoma de Baja California Sur.

Colaboradores principales:

M.C. Francisco J. Fernández Rivera Melo. Comunidad y Biodiversidad, A.C.

Biol. Arturo Ayala Bocos. Universidad Autónoma de Baja California Sur.

M.C. Sara M. Melo Merino. Consultora independiente.

Dr. R. Andrés López Pérez. Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco.

Dr. Eduardo F. Balart Páez. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.

Dr. Pedro Medina Rosas. Universidad de Guadalajara.

Dr. Amílcar L. Cupul Magaña. Universidad de Guadalajara.

Dr. Fabián A. Rodríguez Zaragoza. Universidad de Guadalajara.

Noviembre 25, 2015

INTRODUCCION

La captura de peces e invertebrados de ornato representa una industria cuyo valor es casi de 400 millones de dólares, y que se va incrementando debido al mayor interés de la población por contar con acuarios caseros. Debido a ello, el esfuerzo de pesca sobre estos organismos ha aumentado sensiblemente, y la situación es tal que investigadores y organizaciones dedicadas a la conservación, han alertado que la continua extracción de peces arrecifales (los más relevantes dentro del tráfico), puede tener efectos negativos en esos ecosistemas, ya afectados por fenómenos tales como la contaminación, la destrucción de hábitats y el cambio climático global. No obstante ello, un comercio bien regulado de los peces e invertebrados de ornato puede traer beneficios económicos importantes para comunidades pesqueras ribereñas en países en desarrollo, y por ello es fundamental tratar de congeniar estas dos necesidades.

En México, la captura de organismos de ornato inició en los 1980s pero se volvió común hasta la siguiente década. De acuerdo con la Base Mundial de Especies de Acuario (Global Marine Aquarium Database) de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), México exportó cantidades superiores a los 1,000 individuos entre 1998 y 2002, y una buena parte de la atención se centró en el pez Angel Clarión (*Holocanthus clarionensis* Gilbert, 1890). Este teleósteo es endémico de México, y sus poblaciones se encuentran básicamente distribuidas en un área pequeña que incluye las Islas Revillagigedo y el sur de la Península de Baja. La atractiva coloración de los individuos y su facilidad de adaptación a los acuarios hacen que su precio sea muy alto (mayor a 1,000 dólares al menudeo en los Estados Unidos), y ello ha dado como consecuencia su explotación, tanto legal como ilegal.

En el presente proyecto se realizó una revisión exhaustiva de la información sobre la biología, ecología, manejo, conservación y comercialización del Angel Clarión, con el fin de ofrecer a las autoridades federales, y en específico a la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), los insumos requeridos para evaluar la posición del pez ante tres agencias relacionadas con la conservación: La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Lista Roja de la Unión UICN, y la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES).

OBJETIVO GENERAL

Obtener información sobre el estado de conservación, uso, gestión y comercio, así como el cumplimiento de los criterios de inclusión a los Apéndices de la CITES establecidos en la Resolución Conf. 9.24 (Rev. CoP16) para la especie *Holacanthus clarionensis* Gilbert, 1891 (pez Ángel Clarión).

Objetivos particulares

1. Documentar el estado de conservación, uso, gestión y comercio en toda el área de distribución de la especie.
2. Evaluar la pertinencia de incluirla en los Apéndices de la CITES, empleando los criterios de los Anexos 1, 2a, 2b de la Resolución Conf. 9.24 (Rev. CoP16) de la CITES y la información obtenida.
3. Evaluar la pertinencia de reubicarla o eliminarla de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, empleando el Método de Evaluación de Riesgo de Extinción (MER) de la citada Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.
4. Evaluar si es pertinente reubicarla o incluirla dentro de la Lista Roja, utilizando los criterios de la UICN.

METODOLOGIA

Búsqueda de información base

La primera fase del estudio consistió en revisar detalladamente la literatura sobre la especie, a partir de la consulta de publicaciones técnicas, libros, páginas de internet patrocinadas por instituciones académicas o de gobierno, y tesis de diversos grados académicos. El fin era encontrar la mayor cantidad de datos biológicos y de conservación, así como detalles de la normatividad que rige el aprovechamiento legal de la especie en México. Las búsquedas se efectuaron en las bibliotecas de la Universidad Autónoma de Baja California Sur, el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional, del Centro de Investigaciones Biológicas del

Noroeste (todas en La Paz, B.C.S.), del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, de la Universidad Autónoma de Baja California (Ensenada), y de la Universidad de California en San Diego (San Diego, Estados Unidos). Además, los investigadores que colaboran en el estudio proporcionaron bibliografía conseguida en sus centros de trabajo ubicados en las ciudades de Puerto Vallarta, Guadalajara y el D.F.

La segunda fuente de información fue el contacto por medio electrónico o escrito con personal de la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS) de SEMARNAT, quienes nos facilitaron datos que incluyen la localización de los polígonos de captura y las cuotas actuales e históricas, y también nos comunicamos con miembros del staff del Sistema Nacional de Información sobre la Biodiversidad (SNIB) de la CONABIO quienes apoyaron con datos de ocurrencia de la especie en los mares mexicanos. Además se hizo uso del portal del Instituto Federal de Acceso a la Información y Protección de Datos (IFAI) para conocer datos de otras agencias (en especial la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente; PROFEPA) sobre autorizaciones de aprovechamiento en los predios federales y permisos de exportación. También se consultaron diversas fuentes de internet, entre las cuales estaba la ficha sobre la especie publicada por la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza; entre ellas se incluyen avisos del gobierno federal de los Estados Unidos sobre decomisos y detenciones de vendedores ilegales, compradores mayoritarios de la especie, reproducción en cautiverio, ventas en acuarios, y literatura gris como notas de divulgación científica. Finalmente, por medio de comunicaciones escritas y mensajes electrónicos se trató de obtener información sobre la especie resguardada por la Administración Central de Normativa Aduanera (Secretaría de Hacienda y Crédito Público); desafortunadamente la respuesta de dicha agencia fue negativa, lo cual se vio como una dificultad importante para el proyecto dado que el personal de Aduanas es el único que puede informar los números de individuos realmente exportados de México hacia el extranjero.

En tercer lugar, se incluyeron datos generados en campo por visitas a las Islas Revillagigedo (Socorro, San Benedicto y Roca Partida) por miembros del Laboratorio de

Sistemas Arrecifales en los años 2010, 2012, 2014 y 2015; estos datos también se emplearon en el análisis de distribución potencial del Ángel Clarión.

En la propuesta original se mencionaba el interés de entrevistar directamente a los permisionarios y responsables técnicos que tienen a cargo predios de aprovechamiento del Ángel Clarión en la actualidad, con el fin de tener información complementaria. Sin embargo, no se pudo llevar a cabo esta actividad ya que no fue posible contactar con ninguno permisionario que trabajara con esta especie.

Relativo con los programas de conservación del Ángel Clarión, se consultaron documentos oficiales de DGVS, SEMARNAT y de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), incluyendo los Programas de Manejo de las áreas protegidas con presencia de *H. clarionensis*. La idea es confirmar si el pez es un objetivo específico de conservación en las mismas, o está presente en alguna zona designada como núcleo o hábitat crítico.

Por último, para iniciar las discusiones que desembocaran en el examen definitivo sobre la situación del Ángel Clarión ante las agencias de conservación de interés (CITES, IUCN y SEMARNAT), se planteó un cuestionario basado en los reactivos de la NOM-059-SEMARNAT-2010, y que también integraba reactivos relativos a puntos en discusión para las evaluaciones de IUCN y CITES. Estas preguntas se enviaron a 35 especialistas en ictiología de zonas tropicales del Pacífico oriental, a manejadores de áreas protegidas, a miembros de organizaciones de la sociedad civil, y a tres de los evaluadores del Ángel Clarión ante la UICN: Richard Pyle (Berenice P. Bishop Museum, Honolulu), Luiz Rocha (California Academy of Sciences, San Francisco) y Ross Robertson (Smithsonian Tropical Research Institute, Panamá); el otro evaluador de la especie, Ransom Myers, falleció en 2007. De todos los especialistas consultados, solo se recibió respuesta de 17, cuya colaboración y opinión fue incluida en las fichas de evaluación a presentarse por separado de este informe. Además de lo anterior, en Mayo de 2015 se tuvo contacto con los investigadores asistentes al VIII Congreso Nacional de Arrecifes Coralinos, desarrollado en Puerto Vallarta, Jal. En dichas pláticas se discutieron los resultados preliminares de las diversas evaluaciones, y se confirmó que había congruencia entre su opinión y la posición relativa de la especie de interés que nosotros proponemos para los listados CITES, IUCN y NOM.

Análisis geográfico

En paralelo a todo lo anterior, se construyó una base de datos de registros georreferenciados de *H. clarionensis*, los cuales se utilizaron para la modelación de su distribución potencial, y como insumos para estimar el tamaño poblacional total de la especie. Los registros citados fueron tomados de información original de campo producto de investigaciones desarrolladas entre 2010 y 2014 por los participantes en el estudio, así como datos de publicaciones, y de compilaciones nacionales e internacionales, abarcando a Fishbase (<http://www.fishbase.org/search.php>), Fishnet2 (<http://www.fishnet2.net/>), Global Biodiversity Information Facility (GBIF; <http://www.gbif.org/>), Ocean Biogeographic Information System (OBIS; <http://www.iobis.org/es>), Shorefishes of the tropical eastern Pacific del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (SFTEP; <http://biogeodb.stri.si.edu/sftep/es/pages>), REEF (<http://reef.org>), y Vertnet (<http://vertnet.org/>). Dichas fuentes contienen datos originales y además conjuntan registros sobre *H. clarionensis* tomados de 15 instituciones: Canadian Museum of Nature (Fish Collection), United States National Museum (Collection of Fishes), Harvard University (Museum of Comparative Zoology), Field Museum of Natural History (Fish Collection), Oregon State University, California Academy of Sciences (Department of Ichthyology), Santa Barbara Museum of Natural History (Vertebrate Zoology Collection), Los Angeles County Museum of Natural History (Ichthyology Collection), Scripps Institution of Oceanography (Vertebrate Collection), Colección Ictiológica del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Colección Nacional de Peces en la Universidad Nacional Autónoma de México, la Colección de Peces del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, la base del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB), de la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO) y por último, datos de campo tomados directamente por investigadores en el archipiélago de Revillagigedo particularmente en Isla Socoro y San Benedicto.

Debido a que los datos recopilados de las diversas fuentes pueden contener errores, se llevó a cabo una revisión detallada de la información. No todos los registros

incluidos en las distintas bases de datos contaban con georreferenciación, por lo que se seleccionaron únicamente aquellos que cumplieran con este requisito. Dado a que los datos presentaran posibles errores de georreferenciación se mapearon en un sistema de información geográfica (SIG) de esta de esta forma se identificaron los puntos ubicados en tierra; al respecto, los registros que se encontraban en pixeles que compartían una porción de tierra y una de agua fueron conservados, por el contrario aquellos que se encontraban completamente en tierra fueron excluidos.

Una vez obtenidos los datos con las referencias geográficas correctas se procedió a identificar aquellos con coordenadas únicas, de manera que se eliminaran registros redundantes. Esto suele ocurrir porque algunas de las bases de datos consultadas pueden tomar información de otras, por lo que muchos datos pueden estar repetidos. Para realizar esto, se aplicó un procedimiento en el programa Excel que consistió en aplicar filtros de donde se seleccionaron solamente aquellas líneas del catálogo con pares de coordenadas únicas. Una vez escogidos los registros, estos fueron ordenados en una base de datos con terminación .CSV que contenía tres columnas con la información requerida por el programa de modelado MaxEnt: Nombre de la especie, longitud y latitud en ese orden. Este archivo se entrega a la CONABIO como parte de los resultados finales del trabajo.

Modelo de nicho ecológico y de distribución potencial: datos fuente

Para la creación del mapa que describe el área total de distribución posible del pez ángel, el marco geográfico para el análisis ("M", según Peterson et al. 2011) estuvo formado por los límites de 29°N a 10°N y de 119°W a 105°W, un cuadrante que incluye la totalidad del área de distribución conocida para la especie (Robertson y Allen 2014). Todos los parámetros oceanográficos utilizados en la modelación estuvieron restringidos a estas dimensiones espaciales.

En relación a esto último, se tomaron en cuenta las siguientes variables ambientales para realizar el análisis (valores promedio anuales, máximos y mínimos mensuales, y rangos). Para la temperatura (°C), radiación fotosintéticamente activa (PAR; Einstein/m²), concentración de clorofila a (mg/m³) y transparencia del agua (kd; 1/m) se consultaron las imágenes del satélite MODIS-Aqua entre 2002 y 2012

(http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/qui.cgi?instance_id=ocean_month). Los valores de los nutrientes (fosfatos, nitratos y silicatos; μmol) y de salinidad (UPS) se obtuvieron del Atlas Mundial de los Océanos 2009 de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (WOA09, NOAA; <https://www.nodc.noaa.gov/OC5/SELECT/woaselect/woaselect.html>). La batimetría (m) se obtuvo de la Carta Batimétrica Global de los Océanos (www.gebco.net) y el tipo de sustrato en la zona costera (variable binomial: rocoso u otro) del trabajo de Moreno Casasola et al. (1998). La productividad primaria integrada ($\text{mg C/m}^2/\text{día}$) se obtuvo del Programa de Productividad Oceánica de la Universidad Estatal de Oregon (www.science.oregonstate.edu/ocean.productivity/index.php). El pH fue calculado con el programa CO2SyS (http://cdiac.ornl.gov/ftp/co2sys/CO2SYS_calc_XLS_v2.1/) utilizando como datos de entrada los valores de temperatura, nutrientes, salinidad y la concentración de CO_2 atmosférico actual.

Debido a que las variables citadas se encuentran a distintas resoluciones espaciales en sus fuentes de origen, se recurrió a un sistema de información geográfica con la finalidad de homogenizarlas a una escala común de $9 \times 9 \text{ km}$ (0.08333°) mediante el método de interpolación inverso a la distancia. Todas las variables fueron transformadas a formato ASCII, el cual es requerido por el software MaxEnt.

El conjunto final de los factores oceanográficos generados estuvo conformado por 36 variables, sin embargo no es recomendable utilizar un gran número de ellas en los procesos de modelación ya que los resultados pueden ser imprecisos (Peterson et al. 2011). Por lo anterior, para reducir el número de variables a ser incorporadas en el estudio y evitar la autocorrelación entre ellas, se realizó un análisis de componentes principales llevado a cabo mediante una rutina de "R", donde se seleccionaron aquellas variables con mayor peso para caracterizar el ambiente en los puntos de muestreo, y que se comportaran de manera ortogonal entre ellas. La selección final incluyó un total de 13 variables (Fig. 1): temperatura promedio y rango, los valores promedio de fosfatos, nitratos, silicatos, oxígeno disuelto, radiación fotosintéticamente activa, pH, productividad primaria, profundidad de zona eufótica y salinidad, además de la batimetría y tipo de costa (única variable categórica incluida en el modelo).

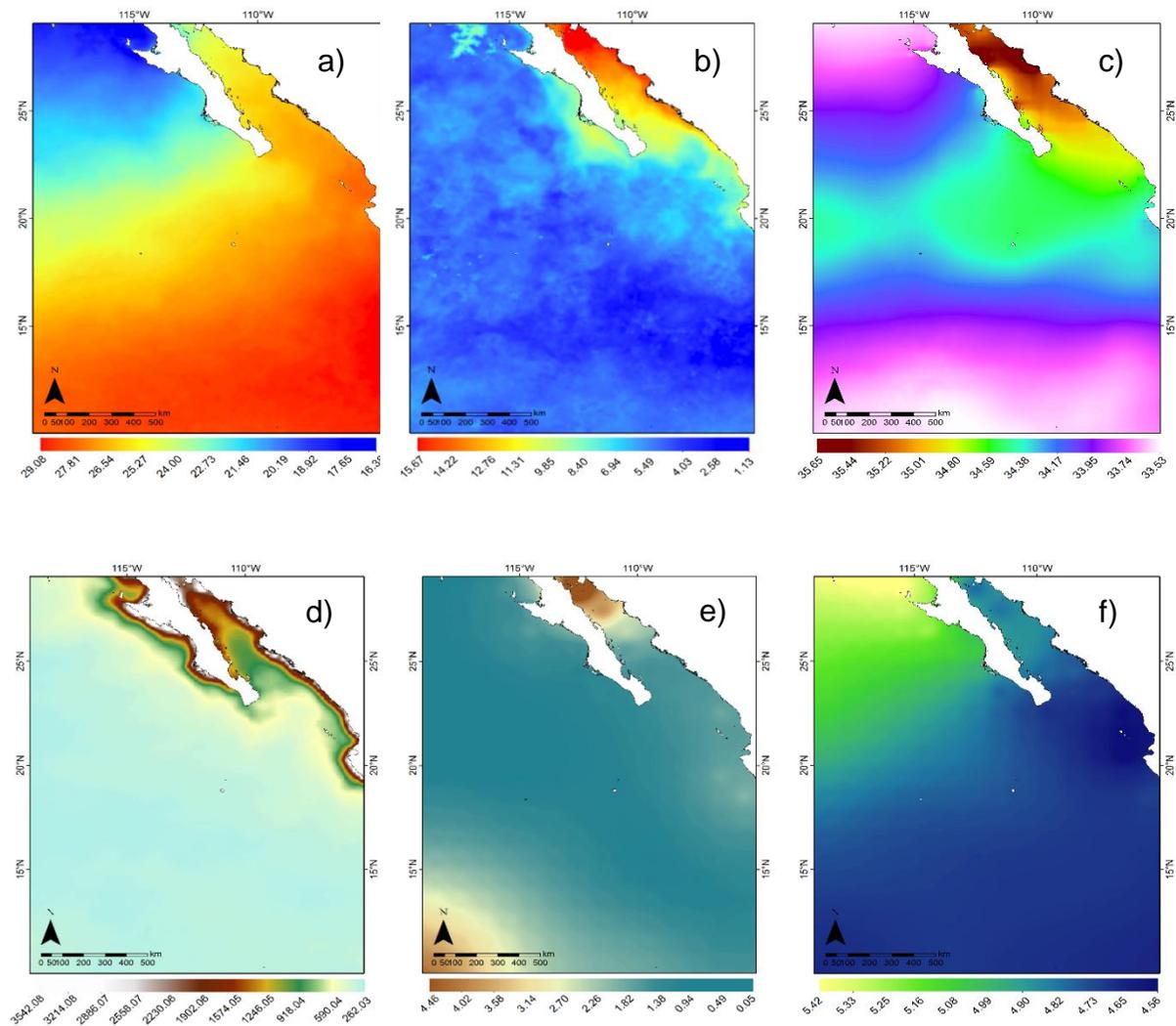


Figura 1. Mapas representativos de los valores de algunas de las variables utilizadas en la modelación. a) Temperatura promedio (C), b) rango de temperatura (C), c) salinidad promedio (UPS), d) productividad primaria promedio (mg/m^3), e) nitratos promedio (μmol), y f) oxígeno disuelto promedio (mg/L).

Modelo de nicho ecológico y de distribución potencial: procedimiento de cómputo

Para conformar los mapas de posible ocurrencia del ángel clarión, las bases de datos con la información oceanográfica sin valores autocorrelacionados, y los registros de ocurrencia limpios de repeticiones, fueron incorporados al programa MaxEnt que se

basa en un algoritmo de máxima entropía para estimar de manera empírica las preferencias de las especies dentro del gradiente que presenta cada factor ambiental (“curvas de nicho”, por ejemplo, para la temperatura promedio), siempre dentro de la región de interés (“M”). Luego, el programa combina estos patrones en un modelo multidimensional con el que sea posible hacer esa información espacialmente explícita en forma de mapas de distribución potencial (Peterson et al. 2011).

Para la ejecución de la rutina informática, se utilizó el 25% de los registros de ocurrencia seleccionados al azar por el mismo programa como valores de prueba, y el restante 75% como registros de entrenamiento (Franklin 2010); la idea es estimar la eficiencia del modelo tratando de predecir estos últimos a partir de los primeros. Los valores originales que arroja MaxEnt representan probabilidades de ocurrencia de la especie en cifras absolutas, pero para una mejor interpretación se eligió el formato logístico de salida, el cual asigna valores de probabilidad de ocurrencia de la especie en cada uno de los píxeles dentro del área de estudio en una escala que va de 0 a 1 denotando la idoneidad de las condiciones ambientales para la ocurrencia de la especie, lo cual es interpretado como su probabilidad de ocurrencia en dicho píxel (Peterson et al. 2011). La evaluación estadística del desempeño del modelo se llevó a cabo mediante el análisis de la curva de características operativas (ROC), que muestra la proporción de ocurrencias predichas correctamente comparada con la obtenida en un modelo al azar, y que se toma como una medida de la habilidad del modelo para discernir correctamente una presencia de una ausencia, o de la distribución aleatoria de los datos (Elith et al. 2010). Cabe señalar que tanto la curva de características operativas como los valores de AUC son generados automáticamente por el programa.

Para una adecuada visualización de los resultados del modelo de *H. clarionensis*, se realizaron mapas representativos de la probabilidad de ocurrencia de la especie en cada píxel de 9 km dentro de la región de interés (Fig. 1), y cinco mapas de ocurrencia de la especie, obtenidos luego de transformar el raster con los valores de probabilidad en valores binomiales (0 indicando ausencia del pez, y 1 mostrando posible presencia); en este caso se consideraron como nivel de corte las probabilidades mayores o iguales a 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 y 0.9. Aunque normalmente se toma el nivel umbral de 0.5 como indicador de presencia (la especie en cuestión ocurre en píxeles con valores de

probabilidad > 0.5), en este caso se pensó entregar esta variedad de opciones tomando en cuenta que las autoridades que eventualmente usarán esta información, deben tener un marco de referencia amplio para tomar decisiones.

Estimación del tamaño poblacional del Angel Clarión

Contando con toda la información anterior, consideramos factible emitir un estimado de la abundancia total de la especie en el Pacífico mexicano y Golfo de California. Esta información se generó de manera original para el estudio, y por ello se dará una explicación de cómo fue obtenida.

Para el análisis se emplearon como insumos los valores de probabilidad de ocurrencia arrojados por MaxEnt, y adicionalmente información sobre la densidad poblacional de los individuos de la especie, registrados en censos de campo. En este caso se contaron todos los organismos de *H. clarionensis* dentro de transectos de banda de 100 m² de superficie, recorridos en dirección paralela a la costa y los cuales fueron conducidos en zonas arrecifales de la Bahía de La Paz (24.5°N), Cabo Pulmo (23.5°N), Cabo San Lucas (22.9°N), y Bahía Magdalena (24.2°N) en Baja California Sur, y en tres de las islas Revillagigedo (Socorro, San Benedicto y Roca Partida).

La estimación del tamaño poblacional se hizo de dos formas: inicialmente se multiplicó la densidad poblacional promedio de todos los censos (0.00007 ind/m²; N= 803) por el área de presencia arrojada por el modelo de distribución potencial (número de pixeles de 81 km² donde se cumple el umbral de 0.5 para definir la presencia del pez, que equivale a 165). La cifra obtenida fue de 1.1 millones de individuos, el cual es un valor extremadamente alto porque las densidades de la especie muestran diferencias notables entre regiones (siendo muy altas en las Revillagigedo y muy bajas en Baja California), y eso genera un sesgo positivo. Cabe señalar que un procedimiento similar y obviamente incorrecto (multiplicar la densidad promedio de peces en cada censo, por la superficie total del polígono de aprovechamiento) es el que se emplea para definir la cuota de captura de peces de ornato y de pepino de mar en México.

Considerando lo anterior se procedió a generar un segundo estimador considerado por nosotros como más preciso y conceptualmente basado en un muestreo estratificado (Krebs 1999). Para ello se tomaron las posiciones de los sitios

mencionados antes y donde se habían realizado censos en campo. El paso siguiente consistió en promediar los datos de los transectos por sitio (de 13 en Roca Partida, a 320 en Bahía Magdalena), y posteriormente, a partir del modelo MaxEnt se obtuvo la probabilidad de ocurrencia del Angel Clarión en los pixeles donde se efectuaron los conteos. Al final se realizó una regresión no lineal (Zar 2009) con 7 datos (regiones de censo), en la cual el modelo potencial que fue el de mejor ajuste ($r^2 = 0.9424$). La gráfica y la ecuación resultante se presentan en la Fig. 2. Esta estimación además permitió tener un intervalo de confianza asociado al estimador total, el cual también puede ser útil para análisis posteriores (error típico de la ordenada al origen= 1.7415; error típico de la pendiente= 0.2409).

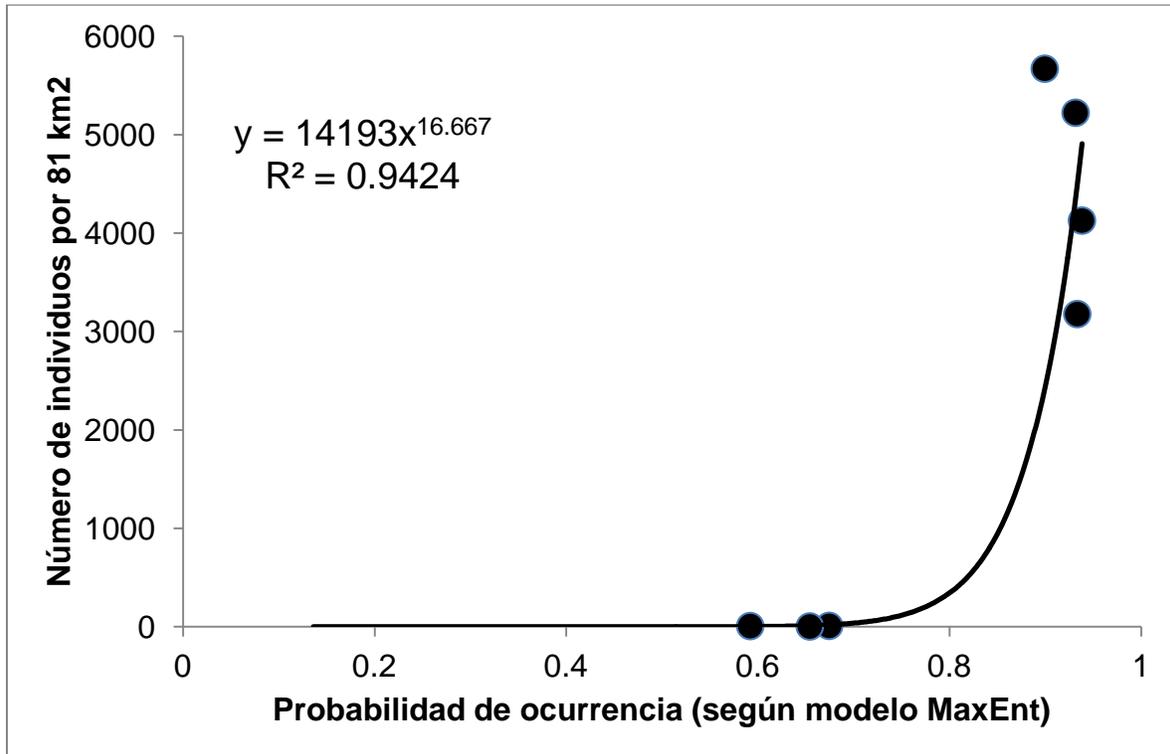


Figura 2. Modelo para estimar la abundancia del pez Angel Clarión en toda su región de ocurrencia, combinando datos de campo (803 censos en 8 localidades) y el modelo de distribución potencial generado.

A partir de este análisis, sumando todos los pixeles de la región de ocurrencia según el modelo de distribución potencial la abundancia total de *H. clarionensis* es de

60,703 individuos; de ellos, 10,669 están en la Península de Baja California, y el resto (50,035) habitan las Islas Revillagigedo. Estos valores son optimistas, ya que si se emplea un nivel de corte para determinar la presencia el cual sea mayor a 0.5, la superficie esperada de aparición del pez disminuye, y con ello su tamaño poblacional esperado.

RESULTADOS

Descripción de la información obtenida en las búsquedas bibliográficas

Se encontró un total de 92 registros de información sobre *H. clarionensis*, en los que se incluyen 12 páginas de internet consultadas; 5 tesis tanto de licenciatura como maestría; 16 fuentes de información bibliográfica no arbitrada (“literatura gris”); 58 artículos científicos formales; y el Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Archipiélago de Revillagigedo (Fig. 3).

En las diversas fuentes consultadas existe información variada sobre la especie de interés, pero particularmente se detallan las características fenotípicas del pez (talla, coloración en adultos y juveniles; Thomson et al. 2000), morfología funcional (Aguilar Medrano y Calderón Aguilera 2015), aspectos de su distribución batimétrica y geográfica (Robertson y Allen 2014), análisis taxonómicos y filogenéticos donde se incluye a la especie como parte de la Familia Pomacanthidae (Alva Campbell et al. 2010), cuestiones sobre conservación y amenazas (Wood 2001), la posible ocurrencia de híbridos con la especie *H. passer*, común en el Golfo de California (Sala et al. 1999), e incluso su genoma mitocondrial completo (Shen et al. 2015). En contraste, hay una notable falta de información acerca de aspectos biológicos básicos el Angel Clarión, incluyendo ausencia de datos sobre su reproducción, estructura de tallas, y diversidad of flujo genético entre localidades. Además, por el nivel de control en la información disponible, la información pública carece de registros de zonas y cantidades de las capturas, así como informes sobre tasas de explotación o de exportación.

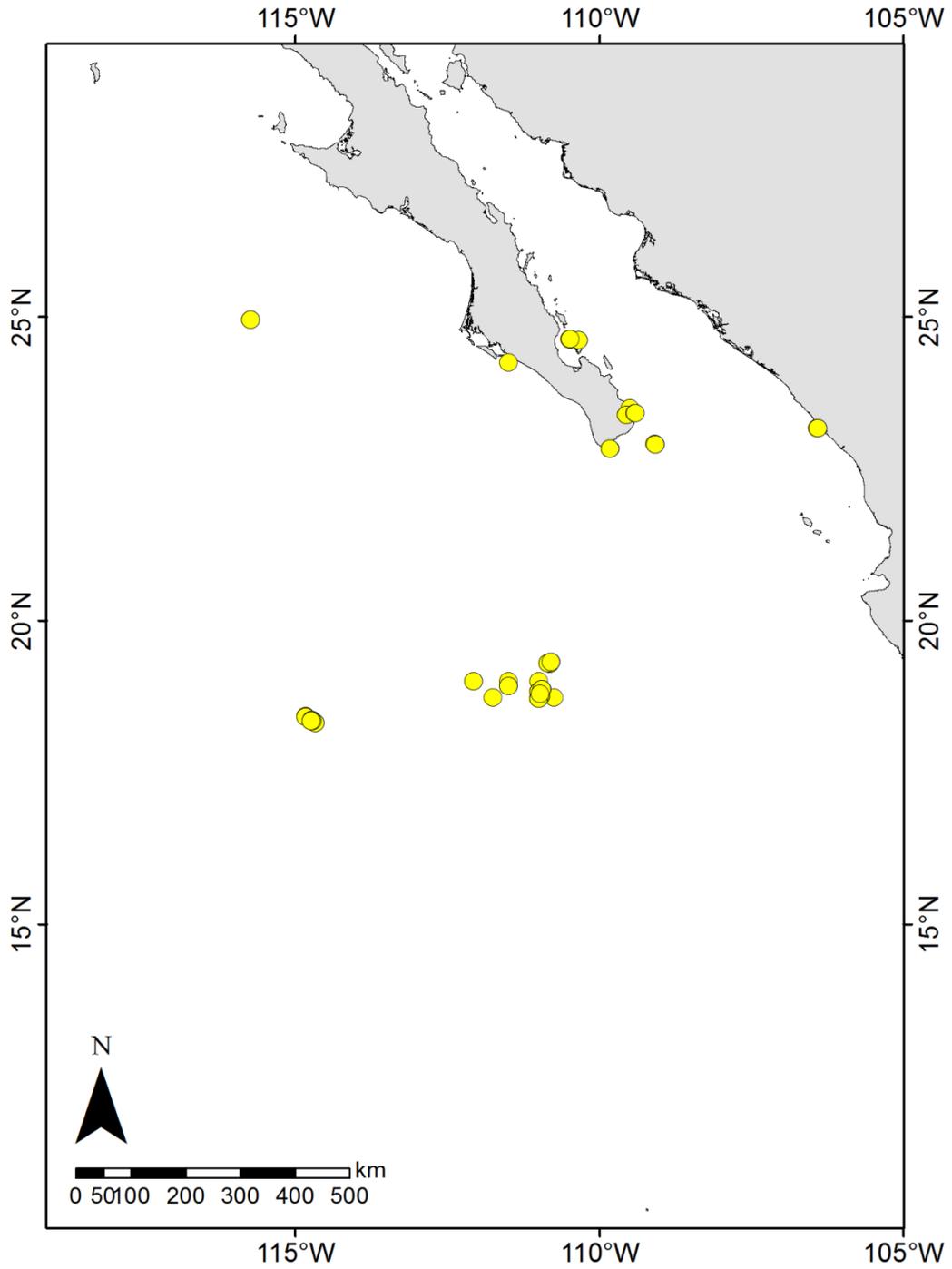


Figura 3. Mapa de sitios georeferenciados de ocurrencia de *Holacanthus clarionensis* en el Pacífico mexicano.

Análisis de nicho ecológico y distribución potencial

En la Figura 3 se presenta la totalidad de registros georeferenciados utilizados para construir el modelo de distribución de la especie (N= 89), de los cuales 21 provienen de campo y 68 de otras fuentes. Cabe señalar que en este no se tomaron en cuenta dos puntos incluidos en la base “Shorefishes of the tropical eastern Pacific” del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales; ellos se refieren a observaciones (no recolectas) de especímenes de *H. clarionensis* en la Isla Guadalupe y en el Atolón Clipperton. La razón por la que no fueron tomados en cuenta es porque pueden ser puestos en duda al no poder ser validados y estar muy lejos de la región de mayor densidad de puntos (que define el rango geográfico de la especie). Además, al incluirlos en la modelación, el área esperada de ocurrencia de la especie se expandía notablemente a zonas donde hay práctica seguridad de ausencia de la especie en la costa occidental de la Baja California.

Posteriormente, a partir del programa MaxEnt se construyó un modelo de nicho que involucró 13 factores ambientales, de los cuales aquellos que tuvieron una mayor contribución en los resultados observados fueron (en orden de importancia) la batimetría (28.7%), salinidad promedio (23.8%), el tipo de costa (23.6%) y la concentración de nitratos promedio (15.9%); que juntas contribuyen al modelo en un 92%. Las restantes 9 variables en conjunto aportaron 8% de la representatividad de la simulación, y de manera individual no cubrían más del 1%. El AUC del modelo fue muy alto (0.987), señalando su eficiencia en la detección de los sitios reales de ocurrencia en México.

El mapa final de probabilidad de ocurrencia (Fig. 4) muestra la distribución actual de la especie *H. clarionensis*, y hace evidente que su área principal de ocurrencia se encuentra en el Archipiélago de Revillagigedo. Además hay una zona en la porción su de la Península de Baja California donde las condiciones parecen ser ideales para la presencia de este pez; como era de esperarse, estas coinciden con la mayor densidad de registros georeferenciados de la especie (Fig. 3) según las bases de datos internacionales. La presencia de la coloración intensa en el sur de la península hace pensar el que pueda haber una pequeña población estable en la región de los Cabos, la cual aún no ha sido caracterizada.

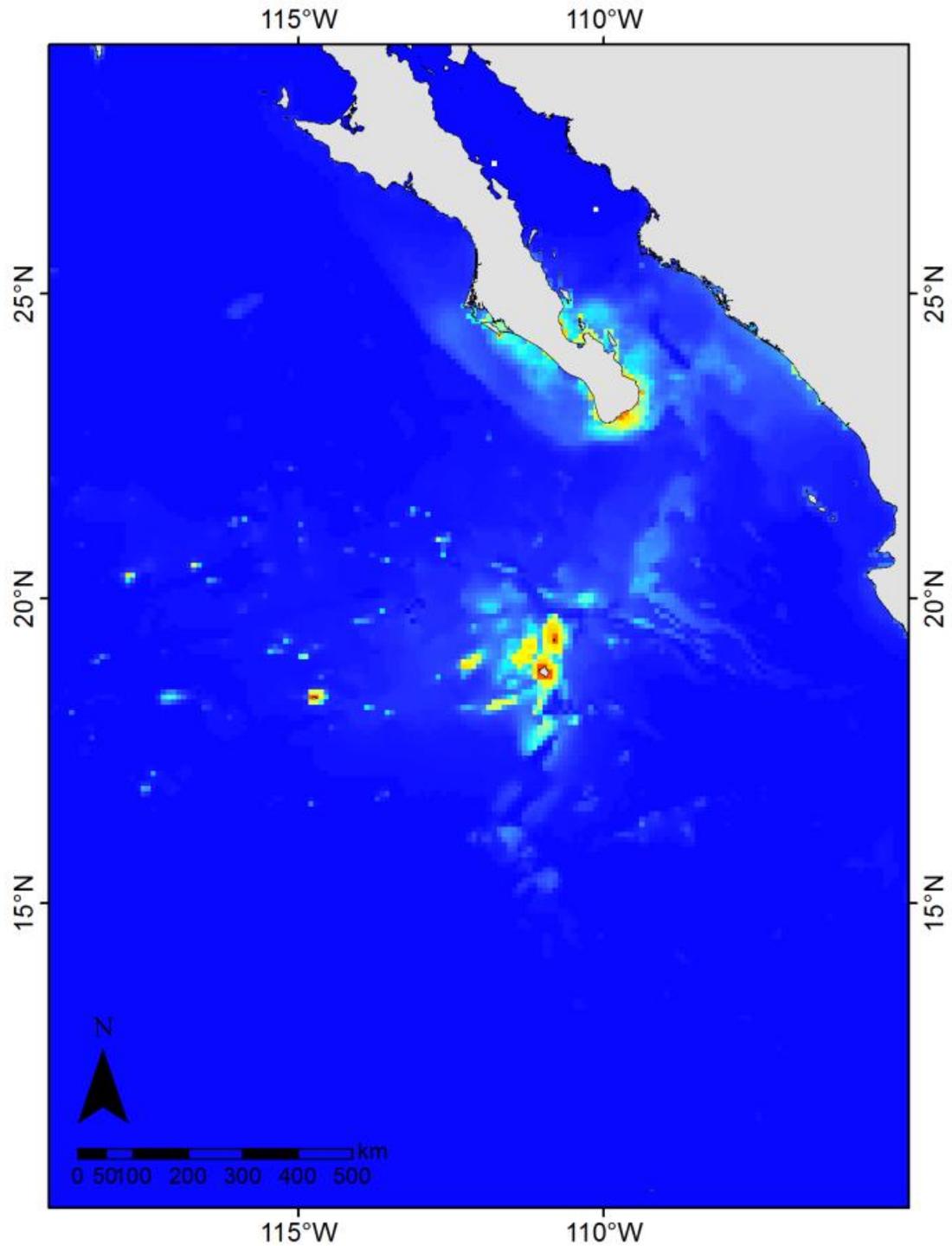


Figura 4. Mapa de probabilidad de ocurrencia actual de la especie *Holacanthus clarionensis*.

Por otra parte, los resultados en los mapas de presencia-ausencia se presentan con diferentes cortes de ocurrencia con la intención de presentar datos más finos que puedan mostrar la diferencia entre los sitios posiblemente ocasionales de ocurrencia e *H. clarionensis*, de aquellos donde las poblaciones puedan ser más numerosas y estables. Los mapas a continuación toman en cuenta los valores de probabilidad binominales (ausencia-presencia), y consideran los niveles de corte de ≥ 0.5 a ≥ 0.9 (Figs. 5 a 9). A partir de esa información podemos observar que entre más alto es el nivel de corte, menor es el área esperada de distribución de la especie. Con estos insumos podemos afirmar que la principal población de la especie parece encontrarse en el Archipiélago de Revillagigedo, tal y como lo indica la literatura y los datos de campo.

Tomando en cuenta los mapas que aparecen adelante, la superficie total ocupada por las poblaciones del Angel Clarión es de 13,365 km² (nivel de corte para ocurrencia= 0.5 o más). La cifra disminuye gradualmente si el corte de ocurrencia aumenta (Tabla 1)

Tabla 1. Estimaciones de la superficie de ocurrencia de *H. clarionensis* en su rango geográfico completo, basadas en los modelos de distribución potencial mostrados en las Figuras 5 a 9.

	Nivel de probabilidad de ocurrencia tomado como umbral para definir la presencia de la especie				
	>0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
Número de pixeles de ocurrencia esperada	165	117	46	21	10
Superficie total (km ²)	13,365	9,477	3,726	1,701	810
Población total estimada (a partir el modelo mostrado en la Figura 2)	60,701	60,642	59,579	57,482	43,547

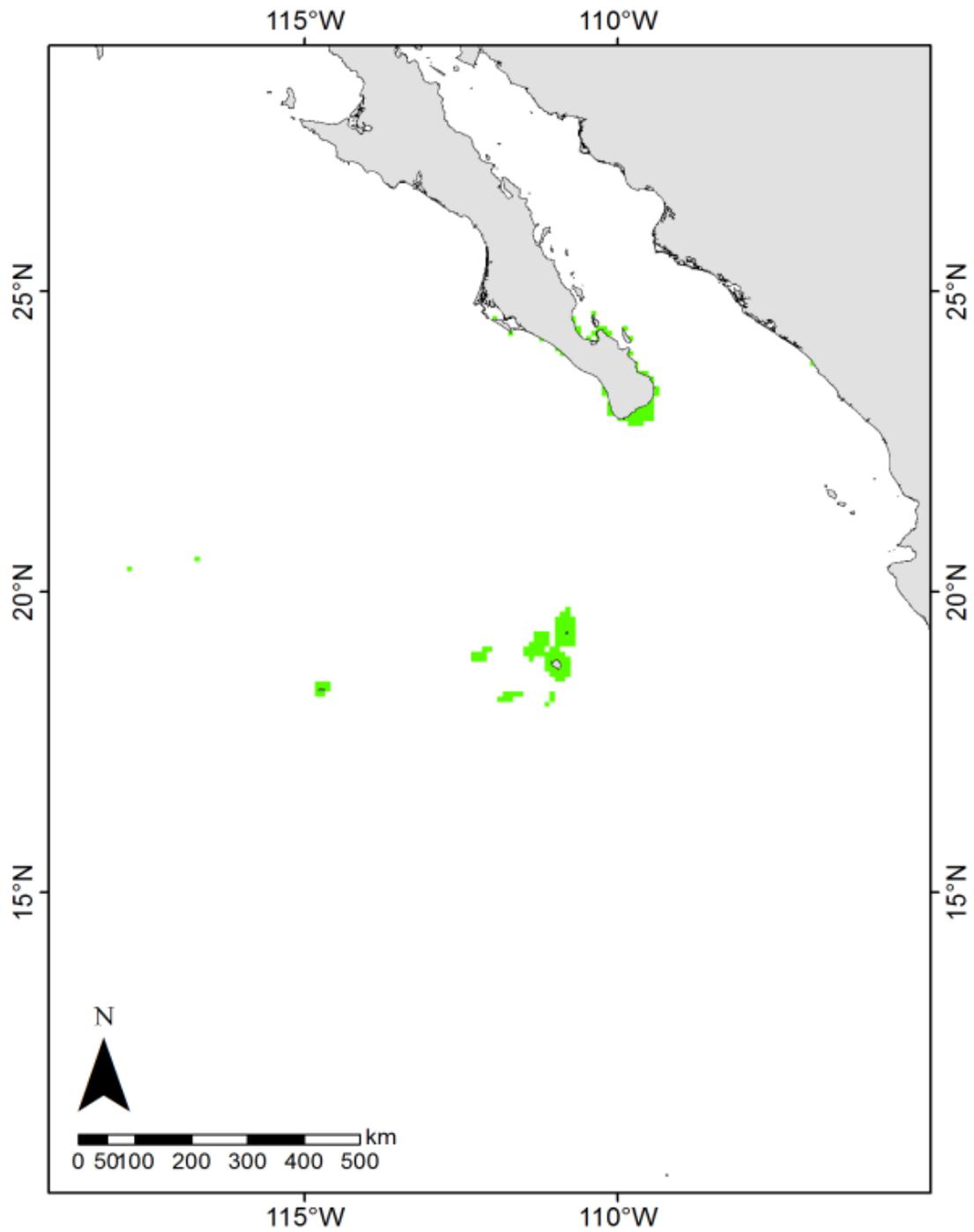


Figura 5. Mapa de probabilidad de presencia de *H. clarionensis* a un umbral de ocurrencia de 0.50 o superior.

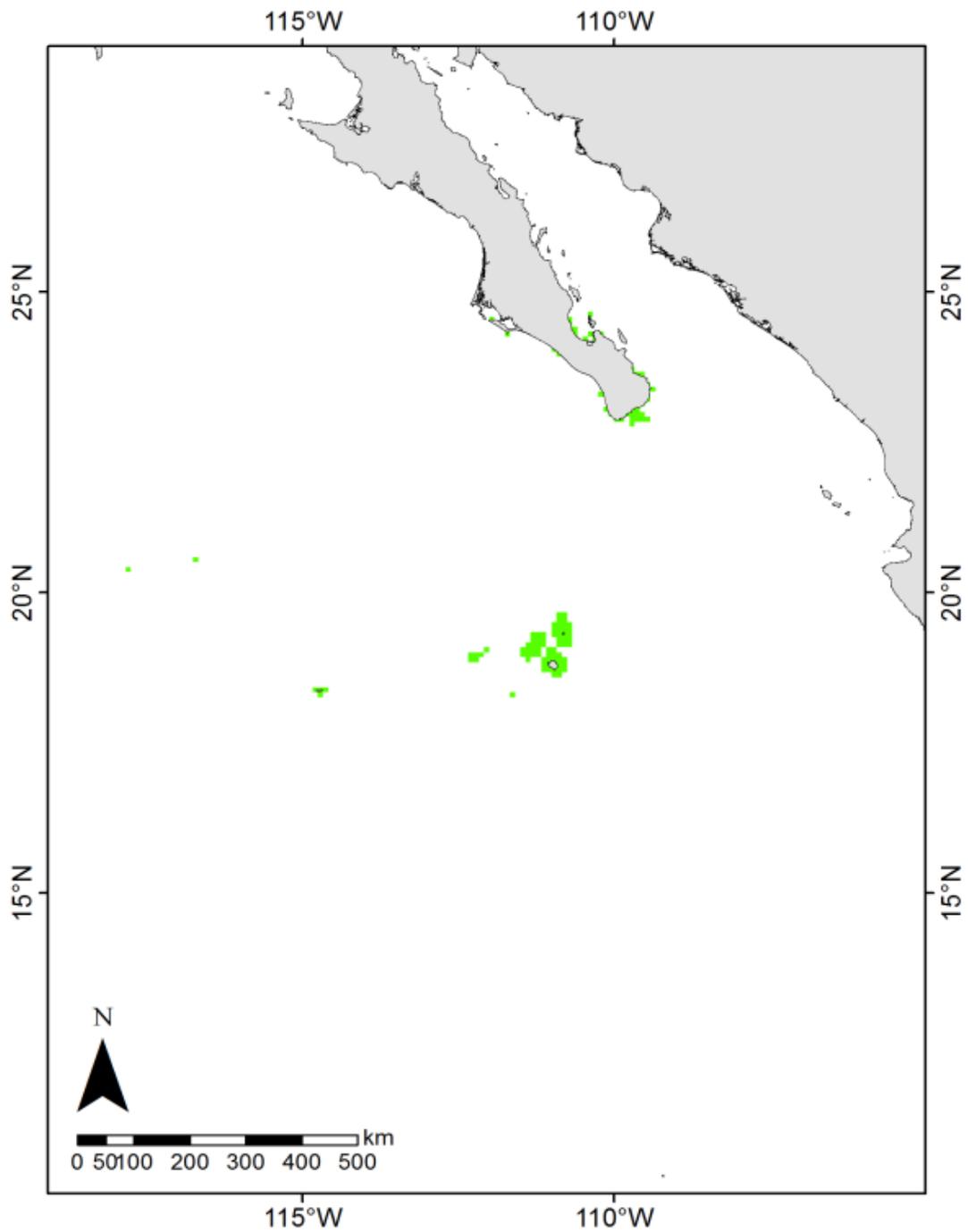


Figura 6. Mapa de probabilidad de presencia de *H. clarionensis* a un umbral de ocurrencia de 0.60 o superior.

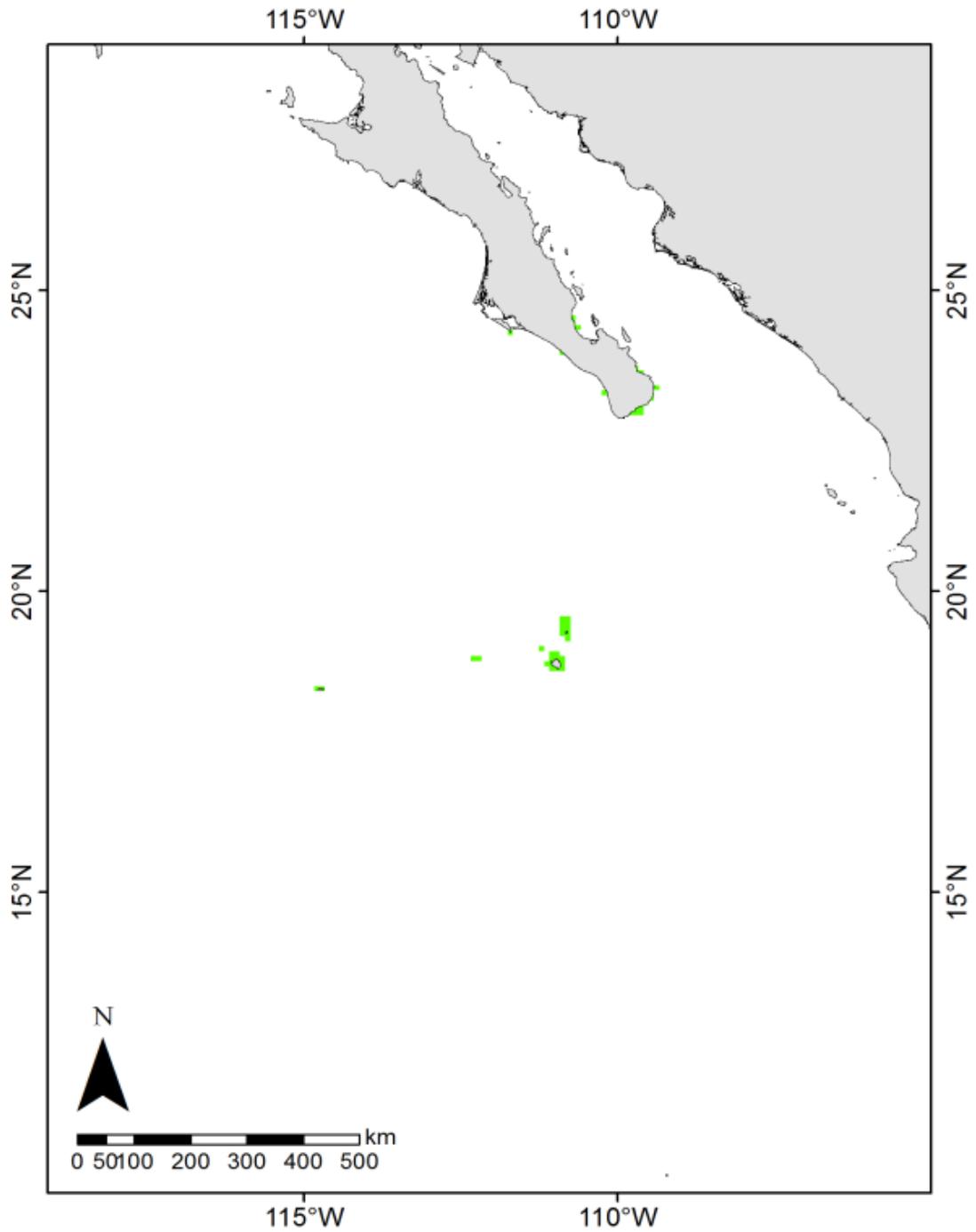


Figura 7. Mapa de probabilidad de presencia de *H. clarionensis* a un umbral de ocurrencia de 0.70 o superior.

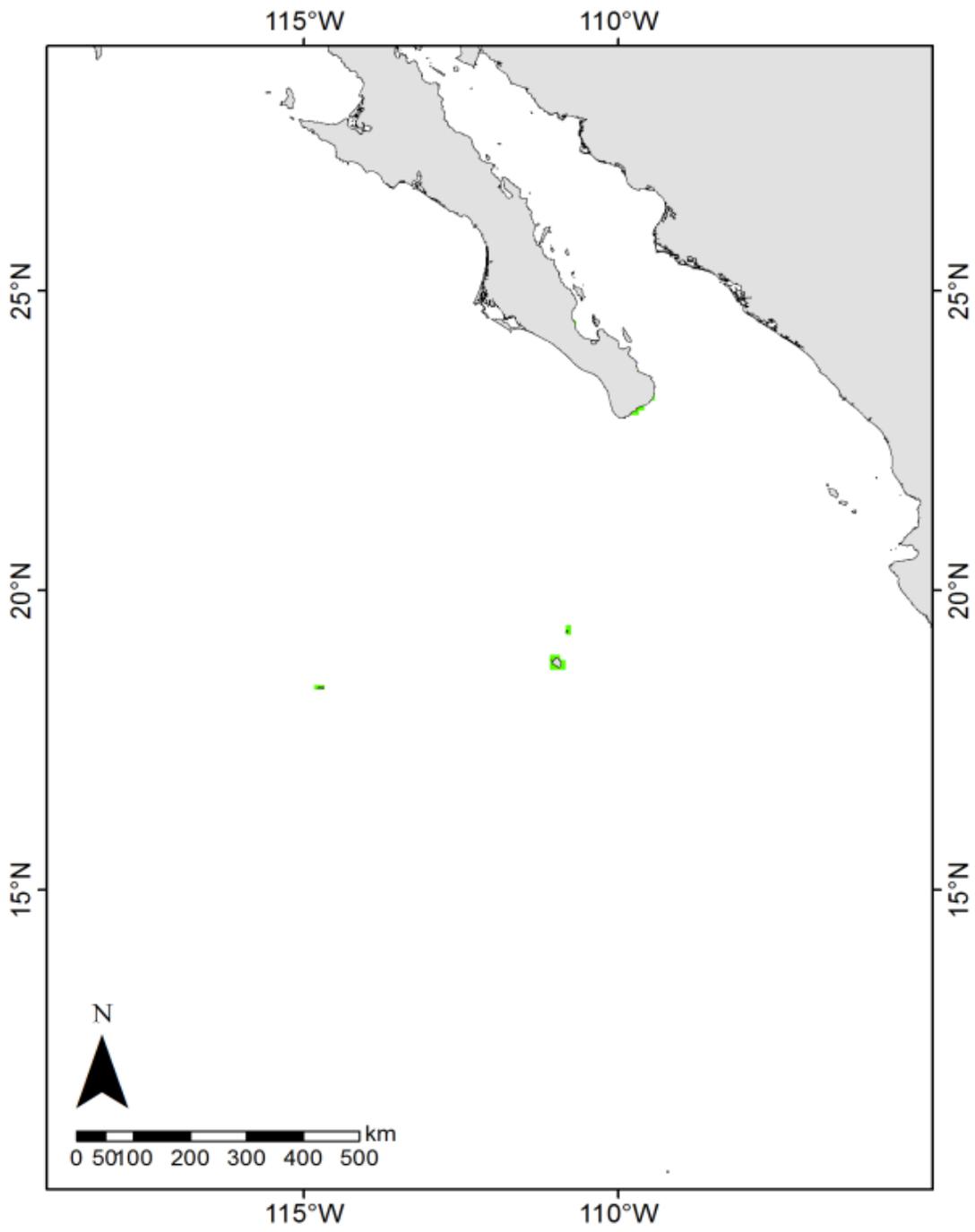


Figura 8. Mapa de probabilidad de presencia de *H. clarionensis* a un umbral de ocurrencia de 0.80 o superior.

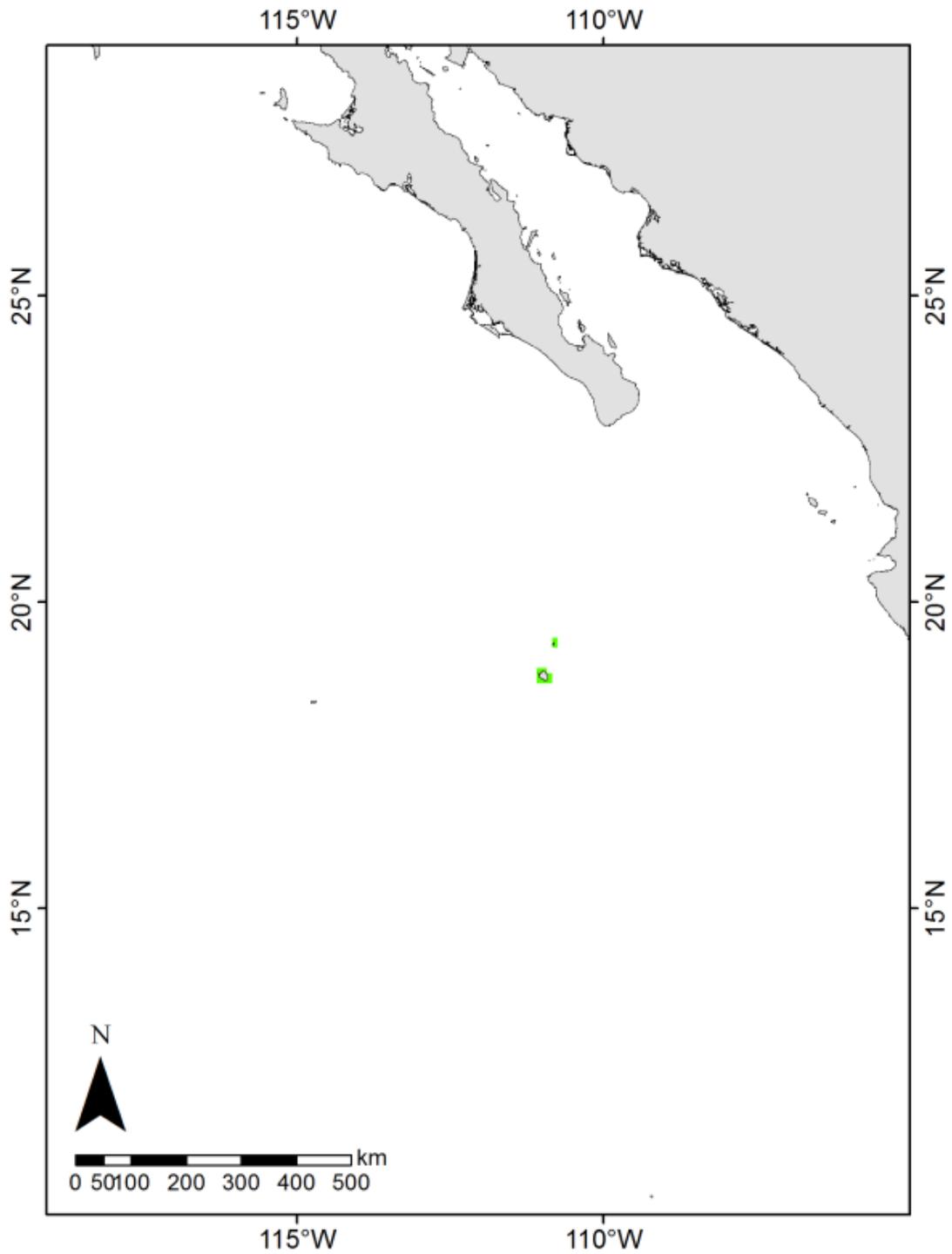


Figura 9. Mapa de probabilidad de presencia de *H. clarionensis* a un umbral de ocurrencia de 0.90 o superior.

Evaluación de la especie *Angel Clarión*, *Holacanthus clarionensis*

La información generada por la búsqueda bibliográfica y las consultas a expertos y a personal de agencias de gobierno federal, apunta a que la tasa legal de extracción del Ángel Clarión en Baja California puede estar afectando a un porcentaje elevado de la población total de la especie (unos 500 a 900 ejemplares anuales exportados en el último lustro, de un número total estimado de 10,668, según nuestra estimación). Esta cifra se magnifica si se toma en cuenta la posible mortalidad de individuos capturados durante su transporte (alrededor de un 15%, por lo que la captura real suma 920 animales); con estas cifras podemos sugerir que cada año se estaría extrayendo el 9% de la población total de los organismos en la península. El resultado de esta situación se expresa en la Figura 10, donde se grafica la abundancia esperada en una cohorte por edad del organismo (N poblacional=10,668; n reclutada anualmente=5,993), tanto en condiciones prístinas (mortalidad de 0.825, estimada como $k*1.5$, según Jensen 1996) como con una tasa de pesca del 0.075 (equivalente a capturar anualmente 800 organismos de un total de 10,668).

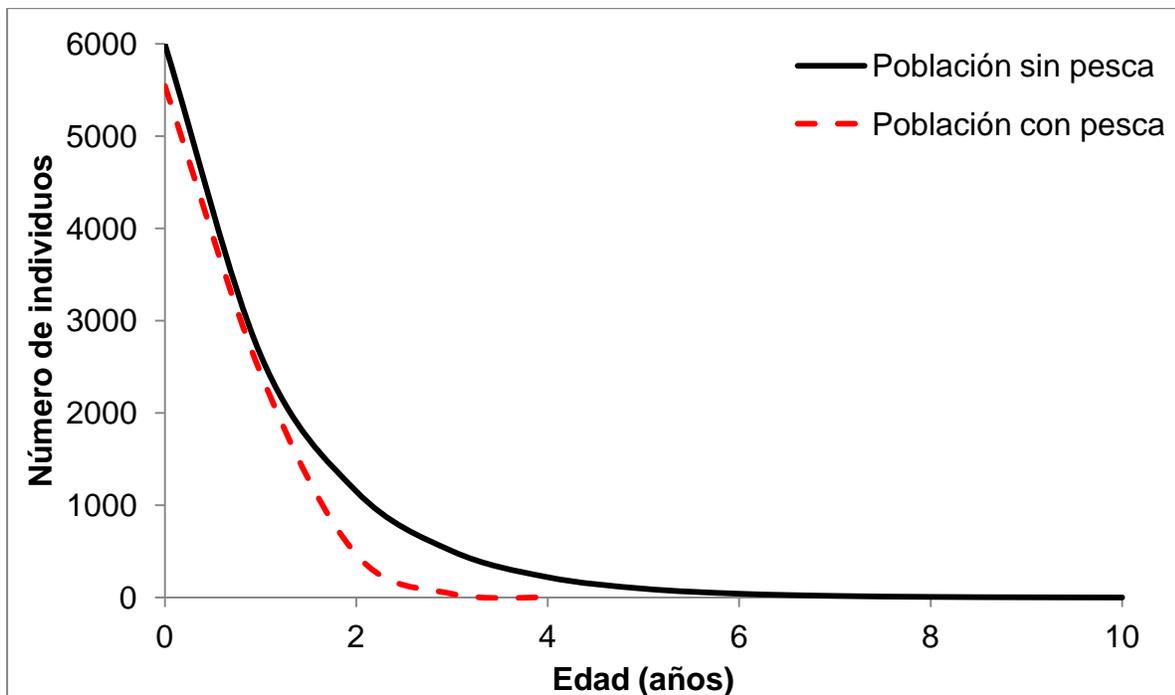


Figura 10. Tamaño de una cohorte modelo en condiciones prístinas (solo tomando en cuenta la mortalidad natural) y con pesca equivalente a la eliminación de 800 individuos de la población total (N=10,668)

En la gráfica anterior puede observarse que aunque en condiciones normales una cohorte anual de *H. clarionensis* podría vivir hasta 10 años, en el caso del nivel de pesca que se supone que se está aplicando en Baja California tendría como consecuencia que para el año 4 el grupo habría desaparecido. La consecuencia a largo plazo (datos no mostrados, y obtenidos con un modelo de población virtual); es que la población total se equilibraría en 8,480 individuos, de los cuales el 66% estaría en la edad 1; esto abre la posibilidad de un colapso poblacional en el caso que algún fenómeno natural cause mortalidades fuera de lo común en adultos, o bajo reclutamiento. Finalmente, la reducción de la longevidad hace que la talla promedio de la población baje de 10.1 cm a 7.2 cm, un déficit de casi el 30% (estos datos provienen del modelo de población virtual, combinado con la ecuación de crecimiento de Bertalanffy dada para la especie en Fishbase, donde la talla máxima es 20 cm, y la tasa de crecimiento k es 0.45). Si a todos los cálculos anteriores le sumamos la posible pesquería ilícita que puede existir (indirectamente documentada por la diferencia en la cantidad importada en Estados Unidos, y la exportada en México, según información oficial de ambos gobiernos), es perfectamente válido pensar que el nivel de extracción que se está obteniendo en Baja California, sin duda alguna pone en peligro a las poblaciones.

No obstante lo anterior, es poco probable que aun aplicando la legislación actual, el gobierno federal sea capaz de controlar la comercialización de esta especie, dado su elevado valor comercial. Los autores de esta ficha consideramos que hay que pensar en opciones alternativas que permitan mantener la explotación del recurso sin afectar su futuro, y además buscando beneficiar a una mayor cantidad de personas o grupos organizados de pescadores.

Para atacar el problema, es posible obtener una enseñanza con el historial de pesca de otra especie de alto valor económico, e incluida en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y en CITES: el pepino café, *Isostichopus fuscus*. Esta holoturia se vio beneficiada por la apertura de su pesquería luego de haber estado en veda permanente por varios

años (en los cuales las capturas continuaron pero no pudieron ser registradas, con lo que era imposible evaluar el estado de la pesquería y de las poblaciones). La reanudación del esfuerzo pesquero se dio bajo un marco regulatorio más firme, y apoyado por agencias de injerencia estatal y regional, y como resultado el recurso sigue extrayéndose en Baja California de manera exitosa.

Así, en el caso del Ángel Clarión, nuestra sugerencia es que se abra la pesca incluso dentro del Archipiélago de Revillagigedo, pero de un modo muy controlado. Para ello proponemos que además de aplicar las legislaciones existentes que determinan las condiciones de los permisos de captura, la pesca se conduzca en un viaje único al archipiélago, donde los pescadores vayan acompañados por representantes de la Reserva de la Biosfera, PROFEPA, SEMARNAT y Secretaría de Marina. Bajo la supervisión de dichas autoridades, los peces capturados podrían ser llevados directamente a Cabo San Lucas para su empaque y envío (todo bajo la vigilancia de Aduana), y todo el proceso podría conducirse aproximadamente en uno o dos meses; de este modo sería fácil detectar como ilegal la venta de cualquier organismo fuera de esa temporada. Los animales podrían ser fácilmente comercializados debido a su alto valor de mercado, de manera análoga a lo que ocurre con los Ángeles Clarión que se producen en cautiverio, los cuales se ofrecen directamente al público, y no hay espera para ser solicitados.

Otra opción es el que se busquen fuentes de financiamiento para hacer estudios con los que se logre la reproducción en cautiverio de *H. clarionensis*, los cuales deben conducirlos especialistas en el tema. Con la tecnología puesta a punto se podría sustentar un sector importante de la industria marina ornamental en México, y se evitaría la necesidad de recolectar especies en su ámbito natural. Incluso, si la condiciones de reproducción son adecuadas, el pez mismo probablemente tendría un valor más alto en el mercado, que el producto natural.

Para concluir, sugerimos que la inclusión de *H. clarionensis* en CITES ayudará notablemente a mejorar las condiciones de intercambio internacional de esta especie amenazada, y será un paso clave para su conservación en la práctica. Creemos que la especie debería ser colocada en el Apéndice II ya que de ese modo los organismos a ser exportados no solo deben haber sido capturados de manera legal, sino que además

el permiso de exportación va ligado al de importación en los Estados Unidos; de este modo el control de la venta sería muy superior al actual.

En relación con la evaluación preliminar del Método de Evaluación de Riesgo de la SEMARNAT, la conclusión es que la especie debe cambiar de categoría en la NOM, de “Sujeta a Protección” (Pr) a la categoría “Peligro de Extinción” (P). La razón fundamental de ello es que la tasa extractiva puede ser muy elevada respecto al tamaño poblacional total, y que el ámbito de residencia de *H. clarionensis* es limitado, haciendo a la especie naturalmente susceptible a daños por presión humana.

Por último, en relación con la Lista Roja, sugerimos que el status que tiene este pez se mantenga (“Vulnerable”). Hasta este momento hemos denotado que la pesca y las presiones naturales (huracanes, eventos de Oscilación Sureña de El Niño), han causado disminuciones poblacionales del Ángel Clarión, sin embargo, la tendencia poblacional no está clara. Finalmente, es posible que luego que se hagan las evaluaciones finas sobre el área total de distribución de la especie, y de su número poblacional completo, haya que modificar este último y que entonces la situación sea menos crítica que lo que en este momento se perfila.

RESULTADOS ESPERADOS

De acuerdo al proyecto sometido, los productos finales del estudio deben ser:

- a) Ficha de la especie *Holacanthus clarionensis* (pez Angel Clarión), de acuerdo con el formato del Anexo 1 de la Convocatoria. Formato MSWord.
- b) Evaluación del estado de la especie en los Apéndices CITES, que siguiendo los criterios de los Anexos 1, 2a y 2b de la Resolución Conf. 9.24 (Rev. COP16), justifique claramente los argumentos por los cuales se sugiere enlistar a la especie en dichos Apéndices.
- c) Evaluación del estado de riesgo de la especie en la NOM-059-SEMARNAT-2010 siguiendo el Método de Evaluación de Riesgo, que justifique claramente los argumentos por los cuales se sugiere eliminar o reubicarla en dicha Norma Oficial.
- d) Evaluación del estado de riesgo para la especie con base en los criterios de la UICN.

- e) Conclusiones y recomendaciones sobre la pertinencia de un cambio de estatus de la especie, en los Apéndices CITES, NOM-059-SEMARNAT-2010 y la UICN. Estos argumentos se entregan al final de cada ficha.

Todos estos productos se están entregando de manera paralela a este informe, en forma de fichas individuales. Además, en un archivo EXCEL se envían los registros encontrados sobre la especie en las diversas bases de datos internacionales (y que fueron depurados y validados por los curadores de las colecciones consultadas), así como datos de campo generados en 2010, 2012 y 2015. Finalmente en un segundo archivo EXCEL se entrega un archivo indicando los nombres, instituciones y correo electrónico, pertenecientes de cada uno de los investigadores que colaboraron en el desarrollo del proyecto.

REFERENCIAS

- Alva Campbell, Y. S.R. Floeter, D.R. Robertson, D.R. Bellwood, y G. Bernardi. 2010. Molecular phylogenetics and evolution of *Holacanthus* angelfishes (Pomacanthidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 56: 456-461.
- Franklin, J. 2010. Mapping species distributions. Cambridge University Press, Cambridge.
- Jensen, A.L. 1996. Beverton and Holt life history invariants result from optimal trade-off of reproduction and survival. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53:820-822.
- Krebs, C.J. 1999. Ecological methodology. 2° ed. Addison-Wesley, Menlo Park.
- Moreno Casasola, P., I. Espejel, S. Castillo, G. Castillo Campos, R. Durán, J.J. Pérez Navarro, J. L. León, I. Olmsted y J. Trejo Torres. 1998. Flora de los ambientes arenosos y rocosos de las costas de México. pp. 177-258, In: G. Halffter (Comp.). La diversidad biológica de Iberoamérica, Vol. II. *Acta Zoológica Mexicana, Nueva Serie. Volumen Especial 1998*. Instituto de Ecología, A.C., Xalapa.

- Peterson, A.T., J. Soberón, R.G. Pearson, R. Anderson, E. Martínez-Meyer, M. Nakamura y M. Araújo. 2011. Ecological niches and geographic distributions. Princeton University Press, Princeton. 328 p.
- Phillips, S.J. y M. Dudik. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31, 161–175.
- Robertson, D.R. y G.R. Allen. 2014. Shorefishes of the tropical eastern Pacific. www.stepf.si.edu. Consultado Enero 20, 2014.
- Sala, E., O. Aburto Oropeza y J.L. Arreola-Robles. 1999. Observations of a probable hybrid angelfish of the genus *Holacanthus* from the Sea of Cortez, México. *Pacific Science* 53: 181-184.
- Shen, K.N., C.W. Chang, K.H. Loh, C.H. Chen y C.D. Hsiao. 2015. Next generation sequencing yields the complete mitochondrial genome of the Clarion angelfish, *Holacanthus clarionensis* (Perciformes: Pomacanthidae). Mitochondrial DNA DOI: 10.3109/19401736.2014.1003871
- Thomson, D.A., L.T. Findley y A.N. Kerstitch. 2000. Reef fishes of the Sea of Cortez. 2° ed. University of Texas Press, Austin.
- Wood, E.M. 2001. Global advances in conservation and management of marine ornamental resources. *Aquatic Science and Conservation* 3: 65-77.
- Zar, J.H. 2009. Biostatistical analysis. 5° ed. Pearson, Upper Saddle River.