

# Investigaciones marinas en el golfo de México y mar Caribe mexicano

Alfredo Pérez Morales, José Antolín Aké Castillo  
y Carlos Antonio Poot Delgado

COORDINADORES

UNIVERSIDAD DE COLIMA

# Investigaciones marinas en el golfo de México y mar Caribe mexicano

enfoque académico

UNIVERSIDAD DE COLIMA

Mtro. José Eduardo Hernández Nava, Rector

CP. Juan Carlos Vargas Lepe, Secretario General

Mtra. Vianey Amezcua Barajas, Coordinadora General de Comunicación Social

Mtra. Gloria Guillermina Araiza Torres, Directora General de Publicaciones

# La pesquería de la langosta espinosa *Panulirus argus* (Latreille, 1804) en la bahía del Espíritu Santo: Un ejemplo de manejo sustentable

Adrián Cervantes-Martínez, Brenda García-González,  
Martha Angélica Gutiérrez-Aguirre, Eduardo Pérez-Catzin,  
José Canto-Noh y Lizbeth Tamayo-Chan

## Resumen

Los recursos pesqueros han sufrido descensos abruptos en cuanto a sus capturas. De hecho, muchas de las pesquerías mundiales están colapsadas. En la región del Caribe, la langosta espinosa *Panulirus argus* (Latreille, 1804) es uno de los recursos pesqueros más importantes, dicha actividad sustenta a comunidades de familias y es de gran valor en cuanto a ingresos económicos y cuidado ambiental. Sin embargo, a pesar de su importancia, en algunas zonas de pesca, este recurso ha comenzado a presentar signos de descenso. A diferencia de otros países, en México, la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera Cozumel S.C. de R.L., ha logrado llegar a acuerdos para el cuidado social, económico y ambiental para el manejo sustentable de este recurso. Dicha cooperativa tiene dos áreas de pesca, una en Cozumel y la otra en la parte continental de Quintana Roo, en la reserva de la biósfera

de Sian Ka'an. En este trabajo se describe el manejo sustentable de la pesca de langosta espinosa mediante el análisis, recopilación documental, observación participativa y de entrevistas realizadas a informantes clave de la comunidad de pescadores, basado en criterios de sustentabilidad y conocimiento del recurso. Con dicha información se obtuvo un análisis de la organización social y sus métodos de pesca, describiendo a una comunidad ejemplar en cuanto a la pesca sustentable en la región. El tener objetivos comunes, cumplimiento respetuoso de reglas internas (reglas impuestas por los propios pescadores) y externas (leyes de pesca) les ha permitido, manejar el recurso langosta de una manera sustentable.

*Palabras clave*

*Panulirus argus*, mar Caribe, sociedad cooperativa, bahía del Espíritu Santo, pesca artesanal.

*Panulirus argus* (Latreille, 1804) Spiny  
Lobster Fishery in the Espiritu Santo Bay:  
An Example of Sustainable Management

**Abstract**

Fishing resources have suffered abrupt declines in their catches. In fact, many of the world's fisheries are collapsed. In the Caribbean region, spiny lobster *Panulirus argus* (Latreille, 1804) is one of the most important fishery resources. This activity supports communities of families and is of great value in terms of economic income and environmental care. However, despite its importance, in some fishing areas, this resource has begun to show signs of decline. Unlike other countries, in Mexico, the Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera Cozumel S.C. de R.L. has managed to reach a consensus for social, economic, and environmental care for the sustainable management of this resource. This cooperative has two fishing areas, one in Cozumel and the other in the continental part of Quintana Roo state in the Sian Ka'an Biosphere Reserve. This paper describes the sustainable management of spiny lobster fishing

based on criteria of sustainability and knowledge of the resource through analysis, document compilation, participant observation, and interviews with key informants from the fishing community. With this information, an analysis of the social organization and their fishing methods was obtained, describing an exemplary community in terms of sustainable fishing in the region. Having common objectives, compliance respecting internal (rules imposed by the fishermen themselves) and external (fishing laws) rules has allowed them to manage the lobster resource in a sustainable manner.

### *Keywords*

*Panulirus argus*, Caribbean sea, cooperative society, Espiritu Santo Bay, artisanal fisheries.

## Introducción

La langosta espinosa es un recurso pesquero de los más importantes en la región del Caribe. Su alto valor comercial, aunado a su abundancia y amplia distribución, la han convertido en la principal fuente de ingreso para un gran número de comunidades costeras.

México es uno de los mejores productores de este recurso, reportando más de 1 000 t en una sola temporada, dejando considerables ganancias para la economía local y regional; sin embargo, en los últimos años se ha registrado un descenso constante en algunas de sus zonas de pesca (Sosa-Cordero *et al.*, 2008).

Actualmente existe gran preocupación por la sobreexplotación de los recursos naturales, debido a las actividades humanas que han estado impactando el ambiente desde hace décadas (Brenner, 2010). Las pesquerías no son la excepción, al estar pasando de igual manera por grandes presiones de extracción y sobreexplotación, al grado de que muchas de ellas ya están colapsadas (Sosa-Cordero *op. cit.*).

Una de las principales estrategias que los países caribeños han desarrollado para enfrentar esta situación es llevar a cabo foros internacionales y grupos de trabajo, con la finalidad de establecer medidas regionales de manejo para revertir la disminución de las capturas, además de adoptar diversas políticas y programas nacio-



nales para atender el problema (Ley-Copper, 2015). Sin embargo, en el corto plazo no se ha logrado revertir la tendencia del deterioro del recurso, en parte por el desconocimiento de los períodos de vida de los organismos explotados y porque las medidas de aplicación de modelos exitosos de desarrollo sustentable toman tiempo en ser adoptados y ejecutados.

Desde la creación del concepto de desarrollo sustentable, hay quienes opinan que es ambiguo, y que su aplicabilidad para resolver gestiones de los recursos naturales es cuestionada. Por lo tanto, su utilidad para resolver los problemas sociales, ambientales y económicos es, hasta la fecha, poco aceptada (Brenner, 2010).

El problema principal de estas aseveraciones es que no hay una integración de los componentes del desarrollo sustentable; es decir, de los actores sociales, ambientales, económicos e incluso políticos, además de que no se toman en cuenta las necesidades intrínsecas de dichos componentes.

En la literatura se menciona que deben existir acuerdos y objetivos comunes en cuanto a materia ambiental, social y económica, entre los presuntos involucrados (Brenner, 2010), pero esto dista mucho de la realidad a nivel global; al parecer, a nivel local o regional sí pueden ser alcanzables dichos objetivos.

A diferencia de otros países, en el Caribe mexicano la pesca de la langosta espinosa (*Panulirus argus*) es básicamente artesanal. Los pescadores han desarrollado un sistema de cooperativas que, en el mejor de los casos, les ha permitido limitar el acceso de otros usuarios al recurso langosta, favoreciendo el ordenamiento pesquero.

Existen ejemplos en que las cooperativas manejan exitosamente el recurso a través de sus asambleas comunitarias y seguimiento de objetivos y metas en común (WWF, 2006).

Actualmente, los estudios del recurso langosta se han enfocado a la biología de la especie, diversidad de artes, datos sobre captura por unidad de esfuerzo y tallas. Por lo que es necesario conocer los planes de manejo con metas sociales y económicas definidas por la sociedad, basado en criterios de sustentabilidad y conocimiento del recurso (Sosa-Cordero *et al.*, 1996).

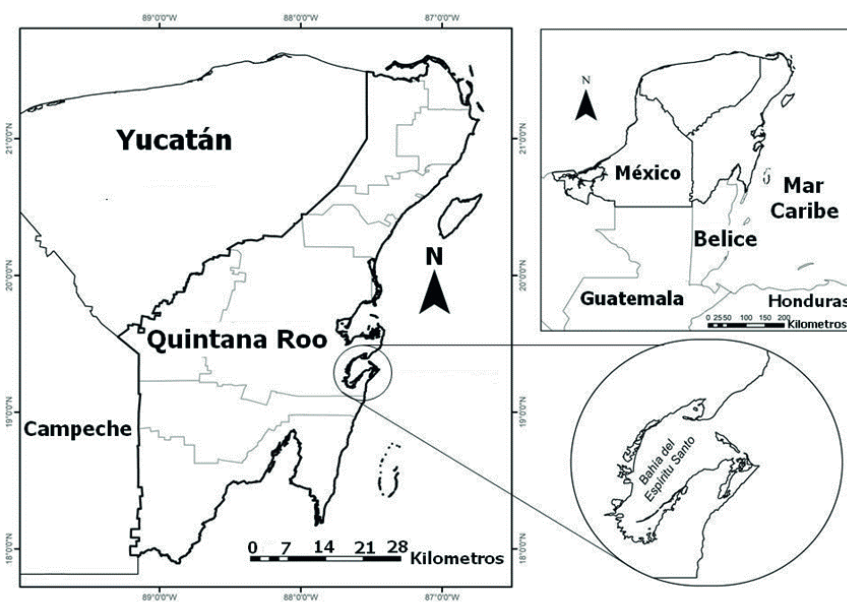
En este sentido, la meta de este estudio es la descripción detallada de la estructura con respecto a la historia, organización social, entorno ambiental, marco legal del manejo y aprovechamiento

de recursos pesqueros que realiza una comunidad (Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera Cozumel, SCPPC), asentada en la reserva de la biosfera de Sian Ka'an en Quintana Roo, México. Todo lo previo a partir de la recopilación documental, observación participante, investigación cualitativa y entrevistas a informantes clave.

## Metodología

El presente trabajo se realizó con la colaboración de integrantes de la SCPPC. Su área de trabajo está dividida en dos: la primera localizada en isla Cozumel y la segunda en la colonia de pescadores denominada María Elena, ubicada en la bahía del Espíritu Santo dentro de la reserva de la biosfera de Sian Ka'an (figura 1); es en esta bahía donde la sociedad cooperativa obtiene su mayor producción pesquera.

Figura 1  
Bahía del Espíritu Santo, Quintana Roo, México





Se aplicó una metodología cualitativa mediante la recopilación documental, observación participante y aplicación de entrevistas (estructuradas y no estructuradas) a informantes clave (Castillo y Lozano, 2006) de la sociedad cooperativa; para conocer los siguientes puntos: a) historia de la cooperativa, b) organización de la gente de la comunidad para trabajar en la pesca, c) percepciones y expectativas sociales que tienen con relación a la pesca y d) aspectos socioeconómicos. Con estos elementos se contempló la estructura que compone el modelo de desarrollo sostenible; es decir, los aspectos ambiental, económico y social.

El perfil de los informantes clave se definió para ubicar a aquellas personas que poseen la mayor información sobre un aspecto en particular (Alaminos-Chica y Castejón-Costa, 2006). En este trabajo reunían las siguientes características: más de 20 años viviendo en la colonia y realizar actividades pesqueras, miembros fundadores de la sociedad cooperativa y adultos residentes permanentes en dicha colonia de pescadores.

La compilación de información se realizó durante la temporada de veda (diciembre 2007 y marzo 2008) y pesca (julio 2008), en la comunidad de pescadores. La SCPPC cuenta actualmente con 48 socios y en promedio se aplicaron entre 10-20 entrevistas en la temporada de veda y de 20-40 en la temporada de pesca. El tamaño de la muestra se definió mediante el modelo de población finita de Spiegel y Stephens (2009). Cabe mencionar que el número menor de entrevistas durante la temporada de veda se debió a que durante esos meses (del 1 de marzo al 30 de junio), no se puede hacer captura del recurso langosta y los socios pescadores se dividen en grupos para que cada determinado tiempo hagan la vigilancia de sus zonas de pesca, eviten la pesca furtiva y den mantenimiento a sus artes de pesca y campos langosteros.

Además, durante el trabajo de campo se aplicó la observación participante (Castillo y Lozano, 2006); es decir, "la observación del contexto desde la perspectiva de la participación del investigador, esto con el fin de obtener descripciones de los acontecimientos, las personas y las interacciones que se llevan a cabo en el lugar y observar, la vivencia, la experiencia y la sensación de la propia persona que observa" y de esta manera poder tener un mayor acercamiento con los pescadores, acompañarlos en sus viajes, conocer

las artes de pesca utilizadas, su concepción con respecto al manejo del recurso y perspectivas que tienen en la sociedad pesquera.

Finalmente, para poder interpretar y comprender la información, se consideraron los tres ámbitos fundamentales del modelo de desarrollo sustentable (aspectos sociales, económicos y ambientales), tomando como referencia el Código de Conducta para la Pesca Responsable de acuerdo a la FAO, cuyos principios giran en torno a la necesidad de adoptar una ordenación pesquera que fomente el mantenimiento de la calidad, diversidad y disponibilidad de los recursos pesqueros, que garantice su perdurabilidad para las generaciones presentes y futuras (Ponce-Conti, 2007).

Es así que, a partir de la recopilación documental, observación participante, investigación cualitativa y entrevistas a informantes clave, se realizó la descripción detallada de la historia, organización social, entorno ambiental, marco legal del manejo y aprovechamiento de recursos pesqueros que realiza esta comunidad pesquera en su zona de pesca.

## Resultados

Para obtener un desarrollo sustentable es necesario describir los procesos llevados a cabo para tal fin y, para alcanzarlo, la sociedad involucrada debe tener objetivos en común (Brenner, 2010), buena organización, personal empoderado y con criterios de gobernanza bien definidos y aplicados. A continuación se presenta la descripción detallada de los resultados obtenidos en este trabajo.

### *Un poco de historia*

En las décadas de los cuarenta y sesenta, una de las principales actividades económicas que realizaban las comunidades de las zonas costeras de los municipios de Quintana Roo era la copra y extracción de chicle (Santander y Ramos-Díaz, 2011). La copra consistía en la extracción del aceite de coco con fines industriales para la elaboración de cosméticos, velas, glicerina, caucho sintético, plastificante e incluso para el consumo humano (Santander y Ramos-Díaz, 2011). La extracción de chicle, por su parte, exigía largas jornadas de trabajo, ya que la importancia de este comercio traspasó fronteras (Santander y Ramos-Díaz, 2011).

En los años setenta, por la necesidad de obtener mayores ganancias económicas y con apoyo gubernamental, las comunidades comenzaron a organizarse en cooperativas para la extracción de productos marinos y obtener permiso para la realización de dicha actividad (Ley-Copper, 2015).

El 3 de septiembre de 1960 se fundó la SCPPC, los pescadores se organizaron mediante una figura jurídica con un total de 48 socios, de los cuales dos son mujeres. Un poco menos de 50% (22 pescadores) trabajan el recurso escama y langosta en isla Cozumel, mientras que los 26 restantes: 24 hombres y dos mujeres (una de ellas pescadora) realizan su principal actividad de pesca de langosta en la colonia de pescadores María Elena, donde obtienen las mayores biomásas y por ende mayores ganancias económicas (Sosa-Cordero *et al.*, 2008).

## Organización interna

### *Requisitos para ser socio*

Para poder ser socios se deben de reunir los siguientes requisitos:

- Ser mayor de edad (es decir, que ante la ley sean sujetos de derechos y de obligaciones).
- Gozar de una honorabilidad aceptable, lo cual equivale a que no se le conozca como deshonesto o que viva a costa de medios ilícitos.
- Tener una buena administración de los ingresos obtenidos de la pesca, para hacer frente a operaciones financieras de una siguiente temporada (anticipo a socios, pago de seguro social, permisos de pesca, reposición de sombras langosteras, contingencias, entre otros).
- Tener necesidad real de los beneficios que proporciona la sociedad cooperativa (cuentas de ahorro, crédito, educación o al menos uno de ellos).
- Estar dispuesto a aceptar las reglas y sujetarse bajo las normas de la ley de la cooperativa, bases constitutivas y acuerdos legalmente tomados.

- Relación de parentesco (herencia de sus campos langosteros de padres a hijos).
- Haber trabajado en la zona de campo al menos por tres a cinco años, demostrando buena conducta, responsabilidad y cumplimientos de los acuerdos internos y externos.
- Permanecer en la temporada de pesca y veda e involucrarse en las actividades que demandan las mismas.

### Estructura administrativa de la SCPPC

La sociedad cooperativa se estructura en una asamblea general organizada de la siguiente manera: a) Consejo de administración: con un departamento de ventas y vendedor; b) Consejo de vigilancia: con un departamento de producción, dos nevadores y un chofer con *thermoking*; c) Comisionados: de educación cooperativa, de conciliación y arbitraje y de previsión social; d) Departamento de contabilidad; e) Secretaria y f) Consultoría y vinculación (figura 2).

Figura 2

Estructura organizacional de la SCPPC



A continuación se describe la estructura organizacional de la sociedad cooperativa:

#### *Asamblea general*

La asamblea general es un órgano rector que tiene gran importancia, sus acuerdos obligan a todos los socios, presentes, ausentes y

disidentes, a hacer reuniones, al menos una vez al año, para ejercer su autoridad, sancionando los informes de los cuerpos directivos, aprobando planes de trabajo y presupuestos para el futuro, y elegir o ratificar los elementos para gobernar en la organización. Lo anterior se realiza conforme a las bases constitutivas de la Ley General de Sociedades Cooperativas (LGSC), publicada el 3 de agosto de 1994 en el Diario Oficial de la Federación (NOM, 2009a).

La asamblea general desarrolla funciones administrativas y toma decisiones jurídicas para contribuir a la buena marcha de la cooperativa. Cada tres años, los socios presentes en la asamblea general eligen a las personas que representarán a cada uno de los órganos directivos del Consejo de Administración, Consejo de Vigilancia y Tesorería.

### *Consejo de administración*

Es el órgano ejecutivo de la asamblea general de la SCPPC con la facultad de representación que se les asigne, así como los comisionados que se encargan de administrar las secciones especiales. Para trabajar de manera ordenada y sistemática, el Consejo de Administración se integra de la siguiente manera:

- Presidente: es la persona que conduce y coordina las reuniones del propio consejo y las asambleas.
- Secretario: es el encargado de llevar el registro y control de las actas de las reuniones del consejo y de las asambleas. También se ocupa de la correspondencia y documentación derivadas de su cargo.
- Vocal financiero: es el encargado, junto con el presidente de la sociedad, de disponer y custodiar los recursos financieros de la misma.
- El resto de los consejeros, comúnmente llamados vocales, apoyan la acción conjunta de los demás consejeros y eventualmente desempeñan alguna comisión expresamente asignada.

### *Funciones del Consejo de Administración*

Las tareas más destacadas del Consejo de Administración comprenden todo proceso administrativo (planear, dirigir y controlar), para que la cooperativa logre sus objetivos en común, por ejemplo:

- Tomar acuerdos para la administración de la sociedad, por mayoría o unanimidad de votos de sus miembros.
- Elaborar cada año los programas de trabajo, el presupuesto de ingresos y egresos y el plan financiero de la cooperativa.
- Someter previamente a la aprobación de la asamblea general toda clase de contratos que exceden de la cantidad estipulada.
- Cumplir oportunamente con todos los requisitos establecidos en los respectivos contratos de concesión para la explotación de las especies autorizadas por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).
- Tener disposición de los socios con oportuna anticipación sobre la memoria, el balance y los demás documentos relacionados.
- Ventas: es el lugar donde se recibe y se realiza la compra y venta de la langosta espinosa principalmente, y en menor grado de la escama.
- Vendedor: tiene como objetivo planear, organizar y controlar las actividades de recepción y venta del producto, que se realice a través del Departamento de Ventas de la SCPPC.

### *Consejo de Vigilancia*

Son las personas que realizan la supervisión y el control de todos sus órganos de la cooperativa, integrado por un presidente y secretario. Permitiendo así el buen funcionamiento y confianza al socio, ya que garantiza que todos los agremiados cumplan con sus obligaciones. Las funciones del consejo de vigilancia son las siguientes:

- Supervisar el trabajo de los demás órganos de la cooperativa, ya sea directamente en las reuniones de trabajo o bien a través de documentos contables y administrativos.
- Vigilar que se mantenga la aplicación correcta de las normas, procedimientos y disposiciones administrativas en todas las actividades, funciones y servicios de la cooperativa.
- Proponer al Consejo de Administración las medidas o sugerencias que permitan el mejoramiento de la organización cooperativa, sus servicios y funcionamiento.



Asimismo el Consejo de Vigilancia cuenta con un Departamento de Ventas, dos *nevadores* y un chofer para el transporte (con *thermoking*) y venta del producto.

#### *Comisionados*

Está integrado por dos tipos de comisionados: el de educación cooperativa y de conciliación y arbitraje, a continuación se describen:

- *Comisionado de educación cooperativa*: está integrada por un presidente y un secretario, y tienen como función principal instruir y educar a los miembros de la sociedad acerca de sus obligaciones y derechos en su calidad de socios. También asiste y recibe capacitación en talleres, congresos y todo aquello relacionado al manejo de pesquerías, con el fin de compartir la información con el resto de los socios y obtener conocimiento de los recursos marinos y una cultura ambiental para el buen manejo y aprovechamiento del recurso.
- *Comisionado de conciliación y arbitraje*: es el encargado de conciliar, vigilar y reportar el mal comportamiento (faltas sociales, éticas y legales) que se realizan en la comunidad.

#### *Departamento de Contabilidad*

Es responsable de realizar la contabilidad de la cooperativa pesquera y está integrado por un despacho contable.

#### *Secretaria (auxiliares)*

Es la persona que ostenta el cargo y las funciones de custodiar documentos y levantar actas, así como de asistir en las labores de oficina de la SCPPC.

#### *Consultaría y vinculación*

Son aquellas organizaciones no gubernamentales (ONG) y gubernamentales, instituciones académicas y de investigación que se comprometen con la Sociedad Cooperativa en la realización de proyectos e investigación, así como apoyo en consultoría, con el fin mejorar el manejo pesquero.

## Marco legal

Parte de los lineamientos que se establecen en una cooperativa pesquera, es el marco legal que establece el gobierno federal mediante instituciones relacionadas al control y permisos de pesca (CONAPESCA y SAGARPA), para poder explotar de manera responsable los recursos.

La SCPPC, cuenta con la concesión y registro nacional pesquero para la extracción, captura y aprovechamiento comercial de *P. argus* en aguas de jurisdicción federal del mar Caribe, otorgado el 24 de marzo de 1995 por la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (antes SEMARNAP) (DOF, 1999). Está obligada a entregar informes que contengan programas, calendario de los volúmenes de captura esperados y alcanzados, actividades de pesca, comercialización y pagos de derechos conforme a las disposiciones fiscales vigentes; por ejemplo, el Reglamento de la Ley de Pesca, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF, 1994).

La extracción de *P. argus* se rige por la Norma Oficial Mexicana (NOM-006-PESC-1993), que establece la captura desde el 1 de julio al 30 febrero (temporada de pesca) y una temporada de veda que corre del 1 de marzo al 30 de junio. Además, la SCPPC respeta y cumple con los lineamientos de los siguientes instrumentos legales: Ley General de Sociedades Cooperativas, Ley de Pesca y su reglamento, Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Medioambiente, Ley Federal del Mar, Ley de Navegación, Ley del Seguro Social, Ley Federal de Derechos, permisos de captura de escama en general y seguimiento de los planes de manejo del parque marino de Cozumel y la Reserva de la Biosfera de Sian ka'an.

### *Reglamento interno*

El seguimiento y aplicación de las reglas internas han sido fundamentales para asegurar el buen manejo de sus recursos pesqueros. A continuación, se describen algunas de estas reglas:

- Respeto y aplicación de las artes de pesca sustentables (sombras langosteras, copo, jamo y lazo) para la captura de la langosta. A partir de julio de 2006 se estableció el uso formal del lazo, copo y jamo por ser artes selectivas. El uso de gancho provoca la muerte inminente del organismo.

- Prohibición del uso de las redes de pesca y equipo SCUBA, ya que estas prácticas pesqueras dañan el ambiente marino, por lo que en 2004 se prohibió el uso de este equipo.
- No capturar langosta en la temporada de veda. En el año 2007 y por acuerdo de los socios productores, se prohibió la extracción de langosta (ni para autoconsumo), durante la temporada de veda. Al pescador que se sorprendiese dos veces faltando a esta regla, se le aplicaría una sanción de \$500.00 pesos, y si reincidiese será expulsado de la SCPPC.
- Buen comportamiento en la colonia de pescadores. La persona que tenga un mal comportamiento dentro de la comunidad (alcoholizarse, pelear, etcétera) se le aplica una sanción. Si sigue con la misma situación se le da un castigo; por ejemplo, lo suspenden de una temporada de pesca, si no acata los castigos es expulsado de la cooperativa definitivamente.
- Uso de 14 embarcaciones. La cooperativa cuenta con permiso para trabajar con 25 embarcaciones; sin embargo, los pescadores acordaron en disminuir la flota de embarcaciones a 14, ya que esto les permite mejor control durante la actividad pesquera y beneficia la recuperación de la población de langostas.
- Captura mediante la utilización de trampas, que permitan extraer a los organismos vivos y devolver a su medio natural a las hembras con hueva y a los ejemplares menores o de la talla mínima de la captura establecida. Cabe mencionar que la talla legal de captura es de 13.5 cm de longitud abdominal, equivalente a 7.46 cm de longitud del cefalotórax o 22.3 cm de longitud total (NOM, 2009b). Cualquier otro equipo o método de captura requerirá de la autorización de la Secretaría (NOM, 2007).
- Participación en las juntas de trabajo. Los directivos deben cumplir con todas sus funciones y hacer una junta de trabajo, al menos una vez al mes, para tomar acuerdos de la propia cooperativa.
- Vinculación, capacitación y participación de los socios en los sectores académicos, gubernamentales y no gubernamentales. El consejo administrativo y parte de los socios tienen la obligación de participar en cursos, talleres y educación am-

biental, para poder cuidar del medio donde trabajan y transmitir la información a los pescadores y generaciones futuras.

## Organización de la comunidad de María Elena

Las casas de los pescadores cuentan con adecuaciones para poder recolectar el agua de lluvia (canaletas de aluminio o tubos de PVC), ya que no tienen sistema de suministro de agua gubernamental. El agua colectada es depositada en tambos de 50 litros y tinacos de hasta 10 000 litros de capacidad, y es utilizada para bañarse, uso doméstico, beber y riego de hortalizas.

## Artes de pesca

En cuanto a las artes de pesca, anteriormente se utilizaba el gancho y redes de arrastre; sin embargo, estas artes se eliminaron por acuerdo interno de los socios por ser perjudiciales para el recurso langosta y lecho marino.

Actualmente los pescadores utilizan los siguientes artes de pesca: lazo, jamo y copo (figura 3A-D), los cuales se caracterizan por ser selectivos, liberando langostas que no alcanzan talla mínima legal y hembras con hueva, para así evitar la mortandad por daño físico al no utilizar el gancho, el cual provoca la muerte inminente del organismo.

## *Comercialización*

La SCPPC forma parte de la Sociedad Empresarial Integradora de Pescadores de Quintana Roo, S.A. de C.V., constituida por seis cooperativas y tiene como finalidad, propiciar un desarrollo económico integral de las comunidades y sus familias, bajo un esquema de comercio justo. Asimismo, se identifican con la marca colectiva Chakay (figura 4A-B) de las reservas de la biósfera de Banco Chinchorro y Sian Ka'an, que reconoce la región de origen, el arrecife sano y el aprovechamiento responsable en cuanto al manejo y aprovechamiento del recurso. La marca Chakay se proyecta como una herramienta eficiente para generar un valor agregado al recurso pesquero, bajo un esquema que asemeja el eco-etiquetado internacional, útil para fomentar en los consumidores el reconocimiento a las buenas prácticas de aprovechamiento.

Figura 3

Elaboración del lazo (A); uso del lazo (B); jamo demostrando su uso (C) y copo (D)

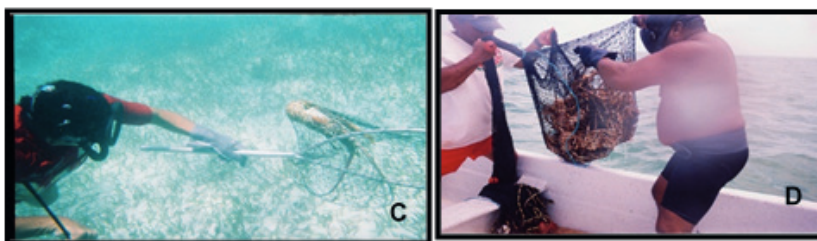
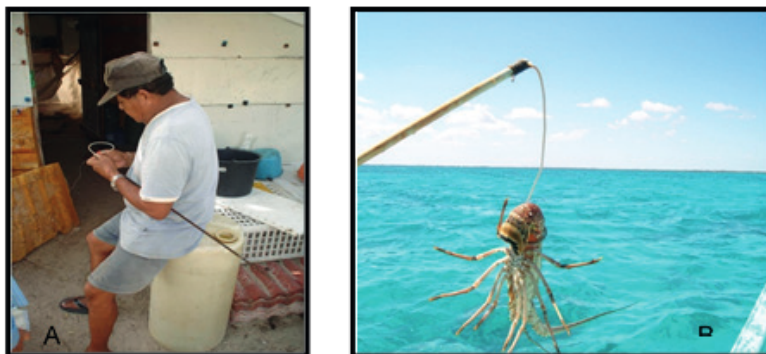


Figura 4

Etiqueta de la marca Chakay (A) y organismo eco-etiquetado (B)



Así, la comercialización de su producto se lleva a cabo a nivel local de manera directa al cliente (hoteles y restaurantes). Mientras que, a nivel regional, los pescadores realizan la venta en una muy baja escala a intermediarios y en mayor medida directamente a distribuidores de langosta, que son principalmente sociedades mercantiles y personas físicas con actividades empresariales. De manera que al estar etiquetado en el mercado como producto Chakay, indica que es exclusivamente capturado por las sociedades cooperativas asociadas a la Integradora, y que cumple con estándares de una pesca sustentable.

## Discusión

Los ecosistemas marinos y en particular aquellos vinculados a la actividad pesquera han sido y son una fuente importante de generación de empleos e ingresos que sustentan la actividad económica, en particular en los países en vías de desarrollo, donde se estima que no menos de cien millones de personas viven de las actividades de la pesca o relacionadas a ella; sin embargo, la mayoría de los ecosistemas costeros se hayan próximos a la sobreexplotación, amenaza constante e impacto negativo de las actividades humanas (Morán *et al.*, 2007).

Las langostas son un recurso de alto valor nutricional, económico, social y científico. Por su alto valor económico están expuestas a intensas tasas de explotación, al grado de que se encuentre en sus máximos niveles de producción y en algunos casos se han colapsado (Vega, 2003). México no está exento de esta situación, ya que en los últimos años la captura de la langosta se ha registrado en un descenso constante. Tal situación conduce a afirmar que no es posible esperar un aumento sustancial de las capturas en el corto y mediano plazos, hasta que las reservas se hayan recuperado.

En la década de los noventa, Seijo (1993) documentó ejemplos de cooperativas de la región (centro de Quintana Roo) que habían manejado de manera exitosa el recurso a través de su organización comunitaria; sin embargo, actualmente la producción de este recurso ha presentado descensos en estos sitios de pesca; por ejemplo, en Punta Allen (norte de la reserva de la biósfera de Sian



Ka'an) y en Punta Herrero (ubicada en el sur de la bahía del Espíritu Santo) (Sosa-Cordero *et al.*, 2008).

En este sentido, la SCPPC, mediante su organización, ha demostrado que el manejo sustentable de la pesquería de la langosta espinosa es posible. Como primer punto acerca de este manejo exitoso es que ellos cuentan con una organización constituida ante la Ley General de las Sociedades Cooperativas, que tienen por objetivo regular la constitución, organización, funcionamiento y extinción de las cooperativas y organismos, siendo una forma de organización social integrada por personas físicas con bases en intereses comunes y en los principios de solidaridad, esfuerzo propio y ayuda mutua.

El funcionamiento de la cooperativa está basado en una administración democrática, educación en la economía, participación solidaria, respeto al derecho individual de los socios y promoción de la cultura ecológica (NOM, 2009a). También, la sociedad cooperativa se rige por un marco legal para la pesca de la langosta, lo que le permite su regulación y recuperación poblacional en el tiempo (NOM, 2007).

Otro aspecto importante que permite el manejo sustentable en la comunidad de *María Elena* es el respeto rígido de la NOM-006-PESC-1993, que manifiesta no capturar durante las temporadas de veda y la liberación de las hembras con hueva y talla ilegal; el socio que se encuentre violando esta norma es expulsado de la organización.

Por otro lado, el acceso para poder ser socio de esta organización es muy restringido, ya que desde la fundación de la SCPPC y, como un acuerdo interno de sus socios, han limitado la entrada de otros usuarios para pescar el recurso langosta; también han acordado reducir el número de sus embarcaciones. Reducir el número de flota pesquera para trabajar y el número de usuarios en la pesquería maximiza la obtención y distribución de beneficios entre sus miembros y la conservación de sus recursos (Seijo *et al.*, 1991).

Parte de la restricción del acceso a las zonas de pesca es la filiación entre una generación a otra, esto favorece al recurso pesquero porque al heredar las concesiones de pesca entre las generaciones de los pescadores, se transmite la experiencia y conocimientos con relación a la pesca sustentable desde los padres a

los hijos. Bello-Baltazar *et al.* (2002), mencionan en un estudio de caso en el ejido X-Hazil sur (en el centro de Quintana Roo) que el parentesco familiar, como una unidad de manejo de recursos naturales, favorece la planeación a largo plazo, ya que, al limitar las formas del acceso y organización del territorio, obtienen un sistema de producción integral y uso con un sólo manejo.

El reconocimiento por parte de los socios acerca de la pesca responsable es algo que favorece en gran medida a la cooperativa y sus recursos, ya que, al estar conscientes de la importancia de conservarlos para futuras generaciones, dan un gran paso para mitigar la sobreexplotación pesquera. Esto se ve reflejado en la producción temporal del recurso en esta zona de pesca que aprovecha la cooperativa; donde, a diferencia de otras zonas, la producción en bahía del Espíritu Santo se ha mantenido en los últimos 15 años (Sosa-Cordero *et al.*, 2008). Mena-Celis (2009), en un análisis de tres temporadas pesqueras, reportó nuevamente que en bahía Espíritu Santo sus volúmenes de pesca se han mantenido estables con un esfuerzo de pesca entre las 20 a 30 t, a diferencia de otras zonas de pesca cercanas a la comunidad, como es el caso de bahía de la Ascensión, donde se han registrado descensos en sus volúmenes de captura a partir de la temporada 2006 a la fecha (Sosa-Cordero *et al.*, 2008).

Las artes de pesca utilizadas son de los factores más relevantes, pues demuestran la pesca sustentable, ya que existe un acuerdo mutuo entre los socios para el cambio y utilización de nuevas artes. Lo anterior ha sido de gran importancia para beneficiar a la población de *P. argus* y otros recursos, mismo que se refleja en el aumento de sus volúmenes de producción (Pérez-Catzín *et al.*, 2008; Mena-Celis, 2009).

Anteriormente, la organización realizaba como práctica de pesca al buceo (con tanques o buceo autónomo) y con ganchos o arpones, lo cual se traduce en la muerte inminente de los organismos, al no ser un arte de pesca selectivo (Fuentes *et al.*, 1991). Esta práctica pesquera actualmente sigue siendo utilizada por algunas cooperativas en Quintana Roo (WWF, 2006); además se ha demostrado que el buceo barre, con las langostas de zonas someras, dispersa enormemente la población y aumenta la mortalidad

natural, al tener que desplazarse las langostas distancias mayores en su búsqueda de pareja, lo que aumenta el riesgo de ser depre-dadas (Briones-Fourzán, 1991).

Por otro lado, el uso del gancho como arte de pesca afecta la calidad y valor económico del producto capturado, porque los daños y mutilaciones ocasionan afectaciones a las langostas que permanecen vivas en el mar, en su productividad y procesos bióticos (Fuentes *et al.*, 1991), y a la larga afecta a la población disminuyendo su biomasa. Por estos motivos los pescadores de la SCPPC diseñaron, por sus propios medios, artes de pesca que evitasen la mortalidad de la langosta y permitieran la liberación de juveniles, subadultos y hembras parchadas o con hueva. La aplicación de nuevas tecnologías permite la selección y verificación de la especie, siendo así una alternativa para su aprovechamiento y conservación (Seijo *et al.*, 1991).

A la implementación de un dispositivo sencillo y poco costoso, que permite mejorar la eficiencia de las artes de pesca (selectividad del uso del lazo, jamo y copo) y, por tanto, disminuir la captura incidental de especies no objetivo se conoce como artes de pesca selectivas (Segura *et al.*, 2004).

Un estudio de la pesquería industrial del camarón en el alto del golfo de Baja California, México, indica que su manejo y eficiencia de aprovechamiento de este recurso pesquero es gracias a la renovación en las artes de pesca de su flota pesquera; por ejemplo, los excluidores de tortugas marinas incorporados a su tecnología de captura. Dentro de este análisis se observó que los barcos menos productivos son en realidad los más viejos, en comparación con las flotas que tienen mayor innovación tecnológica, propiciando una mayor productividad y beneficio a los participantes, acompañado de la conservación del recurso y del ambiente (Cabrera y González, 2006).

En el caso de la comercialización, la venta de las langostas vivas es una estrategia de calidad y presentación de los ejemplares capturados; en este sentido, es considerada como una alternativa concreta de manejo el capturar langostas vivas porque trae beneficios inmediatos a los pescadores, porque el recurso es aprovechado en forma integral y se comercializa entero y no en parte (Lozano-Álvarez, 1991).

Por otro lado, la cooperativa, al estar integrada dentro del eco-etiquetado con la marca Chakay, misma que tiene una base jurídica, se distingue con un signo distintivo de comercialización, ya que garantiza el buen aprovechamiento del recurso, el apego a la normatividad vigente en materia pesquera, el respeto y el reconocimiento a las estructuras organizativas existentes y la coordinación con las instituciones involucradas en el manejo de la langosta. Por lo tanto, la identidad de origen bajo un esquema de eco-etiquetado ecológico genera un valor agregado que será útil para fomentar en los consumidores el reconocimiento de las buenas prácticas de aprovechamiento y empleo de un recurso biológico colectivo, siendo un comercio justo y sustentable (Ley-Copper y Quintanar, 2010).

## Conclusiones

Con todo lo anterior, la pesca sustentable de este recurso se ve reflejado en varios aspectos: la buena organización social, la diversificación de actividades (pesca de escama durante la veda de langosta), la renovación de sus artes de pesca que no dañan el recurso y al ambiente, su normatividad (como son las reglas internas, principalmente el respeto rígido de sus temporadas de veda y pesca), la vigilancia de sus campos langosteros y el interés de los pescadores por administrar sus recursos y explotarlos de manera racional y sustentable, ha sido el éxito de la misma, asegurando en el tiempo la pesca de este importante recurso.

La pesca sustentable de langosta implica contar con una organización comprometida y responsable, en este sentido, los pescadores de la SCPPC han logrado constituirse como una estructura sólida, a través del gran liderazgo por parte de directivos de pescadores y, por otro lado, la comercialización de langosta con claros procedimientos administrativos y contables.

La pesca del producto es sometida a vigilancia interna estricta, tanto en temporada de pesca y de veda de langosta, para evitar la pesca furtiva o ilegal y asegurar ingresos económicos y de trabajo para la comunidad. Además, la vigilancia de sus campos langosteros con las artes de pesca selectivas, se refleja en el mantenimiento reproductivo de la especie y, por ende, el aumento en el *stock* sometido a pesca.

La implementación del ecoetiquetado del recurso langosta ha fortalecido las mejores prácticas pesqueras, ya que han logrado el uso responsable y equitativo del recurso, además de beneficiar la economía de los pescadores y sus familias, permitiendo así el autofortalecimiento de la comunidad pesquera.

Por lo tanto, la actividad pesquera de esta organización cumple con los tres ámbitos del desarrollo sustentable; en la cuestión ambiental, sus artes de pesca no perjudican al ambiente ni amenazan a la población de las langostas, se han fortalecido en conocimientos científicos acerca del mejor manejo de su pesquería y reconocen que la pesca responsable les conlleva a más beneficios económicos ambientales y sociales, componentes esenciales del modelo de desarrollo sustentable.

## Agradecimientos

La evaluación de dos revisores anónimos enriqueció el contenido de este manuscrito. Pescadores de la Sociedad Cooperativa *María Elena* proporcionaron su tiempo e información para la integración de este estudio. Sarahí Jaime elaboró el mapa del sitio de estudio. La Universidad de Quintana Roo proporcionó el espacio y diversos medios de infraestructura para la elaboración del presente trabajo. Integrantes del cuerpo académico Vulnerabilidad y Biodiversidad de Sistemas Acuáticos Continentales y Costeros (UQROO-Unidad Cozumel) colaboraron para la elaboración del manuscrito.

## Literatura citada

- Alaminos-Chica, A. y Castejón-Costa, J.L. (2006). *Elaboración, análisis e interpretación de encuestas, cuestionarios y escalas de opinión*. Alicante: Docencia Universitaria-EEES.
- Bello-Baltazar, E.; Estrada, E.; Macario-Mendoza, P.; Segundo-Cabello, A. y Sánchez-Pérez, L. (2002). Transdisciplina y sustentabilidad maya. *Ciencia Ergo Sum*, 9: 260-272.
- Brenner, L.D. (2010). Gobernanza ambiental, actores sociales y conflictos. *Revista Mexicana de Sociología*, 2: 283-310.
- Briones-Fourzán, P. (1991). Marco teórico de la regulación pesquera en langostas. Consideraciones preliminares para el manejo de la pesquería de langosta en Yucatán. En: P. Briones-Fourzán y C. Arenal

- (eds.), *Taller regional sobre manejo de la pesquería de la langosta Puerto Morelos* (pp. 71). México: Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Instituto Nacional de Pesca, SEPESCA.
- Cabrera, R. y González, J. (2006). Manejo y eficiencia en la pesquería del camarón del alto golfo de California. *Revista de Estudios Sociales*, 27: 124-138.
- Castillo, N. y Lozano, M. (2006). *Apuntes para la investigación turística*. Chetumal, México: Universidad de Quintana Roo.
- Diario Oficial de la Federación (DOF, 1999). *Ley de Pesca y su reglamento*. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg\\_LPesca\\_orig\\_29sep99.doc](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LPesca_orig_29sep99.doc).
- Fuentes, C.; Arceo, P. y Márquez, S. (1991). Consideraciones preliminares para el manejo de la pesquería de langosta en Yucatán. En: P. Briones y C. Arenal (eds.), *Taller regional sobre manejo de la pesquería de la langosta Puerto Morelos* (pp. 71). México: Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Instituto Nacional de Pesca, SEPESCA.
- Ley-Copper, K. (2015). Sustainability of Lobster *Panulirus argus* Fisheries in Marine Protected Areas in South-Eastern Mexico. Ph. D. Thesis. Curtin University, Perth, Western Australia.
- Ley-Copper, K. y Quintanar, E. (2010). Marca colectiva de cooperativas de Quintana Roo. México. *Biodiversitas*, 16: 10-13.
- Lozano-Álvarez, E. (1991). Consideraciones sobre el manejo de la pesquería de langosta *Panulirus argus* en la bahía de la Ascensión, Quintana Roo. En: P. Briones-Fourzán y C. Arenal (eds.), *Taller regional sobre manejo de la pesquería de la langosta Puerto Morelos* (pp. 71). México: Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Instituto Nacional de Pesca, SEPESCA.
- Mena-Celis, G. (2009). Evaluación de biomasa de la langosta espinosa *Panulirus argus* (Latreille, 1804) (Decapoda, Palinuridae) en la bahía del Espíritu Santo, Quintana Roo, México. Tesis de licenciatura. Universidad de Quintana Roo, México.
- Morán, R.; Valdez, M. y Santos, S. (2007). Identificación de conflictos: El caso de la pesca ribereña en el municipio de Mazatlán, Sinaloa, México. En: M. Cruz-Torres y R. Morán-Angulo (eds.), *Pesca, medio ambiente y sustentabilidad en Sinaloa* (pp. 43- 62). Sinaloa, México. Universidad Autónoma de Sinaloa.



- Norma Oficial Mexicana (2007). Norma Oficial Mexicana-006-PESC, 2007. Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-006-PESC-1993. Recuperado de: [http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/PE/APF/APC/SAGARPA/Modificaciones/2007/15062007\(1\).pdf](http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/PE/APF/APC/SAGARPA/Modificaciones/2007/15062007(1).pdf).
- Norma Oficial Mexicana (2009a). Norma Oficial Mexicana-006-Pesc-1993. Ley General de las Sociedades Cooperativas. Recuperado de: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4723403&fecha=03/08/1994](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4723403&fecha=03/08/1994).
- Norma Oficial Mexicana (2009b). Modificación a la Norma Oficial Mexicana-006-1993. Recuperado de: [dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4819411&fecha=31/12/1993](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4819411&fecha=31/12/1993)
- Pérez-Catzín, E.; Mena-Celis, G.; Antonio-Cahuich, A. y García-González, B. (2008). Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera Cozumel S. C. de R. L. y el manejo pesquero del recurso langosta. En: E. Espino, M. Carrasco, E. Fuentes, M. Cabral Puente y A. García (eds.), *Memorias del IV foro científico de pesca ribereña Acapulco, Guerrero* (pp. 109). Acapulco, México.
- Ponce-Conti, Y. (2007). Pesca ribereña: Cooperativas y sustentabilidad del camarón en Sinaloa. En: M. Cruz-Torres y R. Morán-Angulo (eds.), *Pesca, medio ambiente y sustentabilidad en Sinaloa* (pp. 43-62). Sinaloa, México. Universidad Autónoma de Sinaloa.
- Santander, L.C. y Ramos-Díaz, M. (2011). El nacimiento de un destino turístico en el Caribe mexicano. *Revista de Turismo Desarrollo y Competitividad*, 21: 5-30.
- Segura, A.; Delgado, E.; Carranza, A.; Chocca, J.; Marín, Y.; González, B.; Beathyate, G.; Scarabino, F. y Loureiro, M. (2004). *Diseño, construcción y monitoreo participativo de artes de pesca selectivas: La pesquería artesanal de langostino en Punta del Diablo-Rocha*. Uruguay: Asociación Civil Investigación y Desarrollo.
- Seijo, J.; Salas, M. y Arceo, P. (1991). Marco teórico para el manejo de la pesquería de langosta (*Panulirus argus*) del golfo de México y mar Caribe. En: P. Briones-Fourzán y C. Arenal (eds.) *Taller regional sobre manejo de la pesquería de la langosta Puerto Morelos* (pp. 71). México: Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Instituto Nacional de Pesca, SEPESCA.
- Seijo, J. (1993). Individual Transferable Grounds in a Community Managed Artisanal Fishery. *Marine Resource Economics*, 8: 7-81.

- Sosa-Cordero, E.; Ramírez-González, M. y Domínguez-Viveros, M. (1996). La explotación de langosta *Panulirus argus* en bahía del Espíritu Santo, Quintana Roo, México: Un estudio descriptivo. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 45: 820-839.
- Sosa-Cordero, E.; Liceaga-Correa, M. y Seijo J. (2008). The Punta Allen Lobster Fishery Current Status and Recent Trends. En: R. Townsend, R. Shotton and H. Uchida (eds.), *Case Studies in Fisheries Self-Governance* (pp. 149-162). Rome. FAO Fisheries Technical Paper.
- Spiegel, M.R. y Stephens, L.J. (2009). *Estadística*. 4ª ed. Cd. de México: Mc Graw-Hill/Interamericana.
- Vega, A. (2003). Sustentabilidad de la pesquería de langosta roja (*P. interruptus*) en la costa centro-occidental de la península de Baja California y su importancia en el contexto regional: Un caso exitoso de investigación, evaluación y manejo en México. En: E. Espino, A. Carrasco, E. Cabral y M. Puentes (eds.), *Memorias II foro científico de pesca ribereña, Colima, Col.* (pp. 13-14). Manzanillo, México: Centro Regional de Investigación Pesquera de Manzanillo.
- World Wild Foundation (WWF, 2006). *Cómo lograr mayores ingresos pescando de manera sustentable. Manual de prácticas pesqueras de langosta en el arrecife mesoamericano*. Ciudad de México: WWF.

# Handbook T-IX

## CIERMMI Mujeres en la Ciencia Biología

**MARROQUÍN-DE JESÚS, Ángel**  
**OLIVARES-RAMIREZ, Juan Manuel**  
**CRUZ-CARPIO, Luis Eduardo**  
**BAUTISTA-JIMÉNEZ, Angélica**

*Coordinadores*

# ECORFAN®

## **Coordinadores**

MARROQUÍN-DE JESÚS, Ángel. PhD  
OLIVARES-RAMIREZ, Juan Manuel. PhD  
CRUZ-CARPIO, Luis Eduardo. BsC  
BAUTISTA-JIMÉNEZ, Angélica. BsC

## **Editor en Jefe**

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

## **Directora Ejecutiva**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

## **Director Editorial**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

## **Diseñador Web**

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

## **Diagramador Web**

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

## **Asistente Editorial**

SERRUDO-GONZÁLES, Javier. BsC

## **Traductor**

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

## **Filóloga**

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

ISBN: 978-607-8695-34-8

Sello Editorial ECORFAN: 607-8695

Número de Control HCS: 2020-05

Clasificación HCS (2020): 051120-0405

## **©ECORFAN-México, S.C.**

Ninguna parte de este escrito amparado por la Ley Federal de Derechos de Autor, podrá ser reproducida, transmitida o utilizada en cualquier forma o medio, ya sea gráfico, electrónico o mecánico, incluyendo, pero sin limitarse a lo siguiente: Citas en artículos y comentarios bibliográficos de compilación de datos periodísticos radiofónicos o electrónicos. Para los efectos de los artículos 13, 162,163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169,209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal de Derechos de Autor. Violaciones: Ser obligado al procesamiento bajo ley de copyright mexicana. El uso de nombres descriptivos generales, de nombres registrados, de marcas registradas, en esta publicación no implican, uniformemente en ausencia de una declaración específica, que tales nombres son exentos del protector relevante en leyes y regulaciones de México y por lo tanto libre para el uso general de la comunidad científica internacional. HCS es parte de los medios de ECORFAN ([www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org))

## Capítulo 7 Tendencias en el estudio taxonómico de copéodos de agua dulce de México

### Chapter 7 Trends in the taxonomic study of freshwater copepods from Mexico

GUTIÉRREZ-AGUIRRE, Martha Angélica†\* y CERVANTES-MARTÍNEZ, Adrián

*Universidad de Quintana Roo, Departamento de Ciencias y Humanidades, Cozumel Quintana Roo, México, C. P. 77600*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Martha Angélica, Gutiérrez-Aguirre* / **ORC ID:** 0000-0002-9329-820X, **CVU CONACYT ID:** 25926

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Adrián, Cervantes-Martínez* / **ORC ID:** 0000-0002-8947-8558, **CVU CONACYT ID:** 38351

**DOI:** 10.35429/H.2020.9.86.94

M. Gutiérrez & A. Cervantes

margutierrez@uqroo.edu.mx

A. Marroquín, J. Olivares, L. Cruz y A. Bautista. (Coord) Biología. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2020.

## Resumen

En este estudio presentamos una revisión de estudios taxonómicos y marcos conceptuales sobre los cuales se ha abordado la clasificación de copépodos de agua dulce y de vida libre en México. Esta síntesis contribuye a la certeza taxonómica de estos organismos poco conocidos. Este tipo de estudios se basan en el uso de herramientas técnicas como el análisis de múltiples caracteres morfológicos y / o moleculares, que en la actualidad se consideran una fuente de información para describir y definir especies.

### Copepoda, Crustáceos, agua dulce, vida libre, zooplancton

#### Abstract

In this study we present a review of taxonomic studies and conceptual frameworks on which the classification of freshwater and free-living copepods has been addressed in Mexico. This synthesis contributes towards the taxonomic certainty of these little-known organisms. This kind of studies are based on the use of technical tools such as the analysis of multiple morphological and / or molecular characters, which are currently considered as a source of information to describe and define species.

### Copepoda, Crustacea, freshwater, free living, zooplankton

## 7. Introducción

El conocimiento de la diversidad y el establecimiento de una sistemática clara, son herramientas que permiten no sólo obtener un conocimiento básico, sino que, a partir de ellas, es posible abordar estudios relacionados con análisis biogeográficos, evolutivos, de ecología clásica, ecología aplicada y ecología funcional, por ejemplo. Los alcances de éstas ciencias se fortalecen siempre que se fundamenten en la precisión taxonómica de los seres vivos (Fox *et al.*, 2014). Ejemplos de este tipo pueden consultarse en Cruz-Gómez, Franco-López y Rodríguez-Varela (2020).

Para clasificar a los organismos es necesario fundamentarse en la ciencia de la taxonomía y las categorías taxonómicas o taxones que usamos generalmente para clasificar a los seres vivos son las siguientes: Reino, Filo, Clase, Orden Familia, Género y Especie. En relación con los crustáceos, se han descrito alrededor de 30,000 especies vivientes, los cuales poseen una elevada diversidad de formas en sus cuerpos que han colonizado cada hábitat acuático existente en el planeta. Por la riqueza de especies, abundancia y biomasa que abarcan en dichos ecosistemas, los Copepoda son los taxa más importantes del zooplancton dulceacuícola de los sistemas acuáticos epicontinentales, lóticos y lénticos de México.

En el mundo se conocen unas 14,000 especies de Copépodos en total y de éstas unas 3000 se consideran como de agua dulce y de vida libre. En México el inventario de éste tipo de copépodos asciende a 110 especies. Por lo tanto, de acuerdo con diversos autores México ha transitado en poco más de una década, de ser una de las regiones con menos conocimiento del zooplancton a una de las más conocidas (Sharma y Kotov, 2013) y actualmente cuenta con una revisión reciente de toda la información existente, en cuanto a las especies presentes en su territorio (Suárez-Morales *et al.*, 2020).

En cuanto a su importancia ecológica dichos crustáceos constituyen el segundo eslabón en la cadena alimenticia en un sistema acuático; por lo tanto, son un vehículo eficiente que transfiere la energía generada y almacenada en los productores primarios, hacia los consumidores secundarios; son habitantes de ambientes semi-terrestres, del bentos y columna de agua de ecosistemas lóticos y lénticos y así también, se les ha registrado en sistemas acuáticos subterráneos.

En el presente estudio presentamos una revisión de los estudios de clasificación y de los marcos conceptuales en que se ha abordado la clasificación de copépodos dulceacuícolas y de vida libre; con el objeto de que esta síntesis aporte hacia la certidumbre taxonómica de organismos poco conocidos lo cual podría incidir de manera fundamental en sus estudios ecológicos, contribuyendo incluso al conocimiento de su distribución en amplias escalas, evaluación de ambientes o incluso, conservación.

## 7.1 Metodología a desarrollar

A través de un muestreo intencional, no probabilístico se realizó un proceso de revisión bibliográfica para determinar el número de especies de copépodos descritas en México y consideradas como válidas, desde inicio del siglo XX, hasta la fecha.

Lo previo permitió determinar bajo qué enfoque conceptual, así como qué herramientas metodológicas y/o técnicas, se han empleado (o han influido) sobre el conocimiento de la riqueza de las especies de crustáceos copépodos de vida libre, que habitan los ecosistemas epicontinentales de nuestro país.

Con estos datos también fue posible determinar cuál es la tasa de cambio en que se ha incrementado la descripción de especies de éstos micro-crustáceos en México, durante los últimos 100 años.

## 7.2 Resultados y análisis

### 7.3 Cosmopolitanismo y no cosmopolitanismo

Los niveles taxonómicos “altos” en los que se clasifica la biodiversidad son los Reinos, Filos, Clases y Órdenes, los cuales se van multiplicando hacia los niveles taxonómicos “bajos”, tales como las Familias y los Géneros, los cuales son sustentados por la representación básica de la diversidad del planeta, conocida como Especie.

El grupo de organismos que aquí nos interesa (Copepoda) se considera cosmopolita para los niveles altos en que se clasifica la diversidad, debido a que existen en el mundo desde hace unos 200 millones de años; cuentan con estrategias reproductivas que generan etapas de desarrollo resistentes que pueden trasladarse por vías indirectas tales como el viento, el flujo de agua entre cuencas, o el transporte de mamíferos y aves y no son fácilmente accesibles a nuestros sentidos porque son organismos principalmente acuáticos y microscópicos (máximo 2 mm de longitud).

Bajo la influencia de los hechos previamente mencionados, se inició la clasificación de los copépodos durante la segunda mitad del siglo XVIII en Europa y Estados Unidos de América (Suárez-Morales y Elías-Gutiérrez, 2003). Las primeras monografías completas y con descripciones ilustradas y detalladas de micro-crustáceos estuvieron a cargo de Müller en la segunda mitad del siglo XVIII y de Lilljeborg a finales del siglo XIX, con fauna europea. En ese entonces, Birge inició con las descripciones de organismos en América y desafortunadamente por falta de material bibliográfico y humano (para consulta), retomó muchos de los nombres de las especies europeas y los asignó a los especímenes de América (que en muchas ocasiones eran morfológicamente parecidos a los europeos), iniciando la clasificación de las especies de micro-crustáceos americanos, con fundamento en las teorías del cosmopolitanismo y dispersalismo (Frey, 1986).

Bajo ésta influencia inició en México el análisis taxonómico de los copépodos dulceacuícolas durante las primeras 6 décadas del siglo XX y por autores extranjeros, se publicaron los primeros inventarios, así como las primeras descripciones de copépodos, procedentes de colectas puntuales de contados sistemas de la Ciudad de México, Estado de México, las costas este y norte de la Península de Yucatán, San Luis Potosí, Michoacán, Puebla, Hidalgo y Morelos. Hacia 1959 el estudio taxonómico de copépodos en México había generado un inventario de alrededor de 46 especies (Figura 1), con la descripción de las que entonces eran consideradas como especies o subespecies mexicanas, desconocidas para la ciencia y válidas actualmente: *Microdiaptomus cokeri* (Osorio-Tafall, 1942), *Leptodiaptomus cuauhtemoci* (Osorio-Tafall, 1941), *L. garciai* (Osorio-Tafall, 1942), *L. mexicanus* (Marsh, 1929), *Mastigodiaptomus montezumae* (Brehm, 1955) *Tropocyclops prasinus aztequei* Lindberg, 1955 y *T. prasinus mexicanus* (Kiefer, 1938), por ejemplo (Suárez-Morales y Elías-Gutiérrez, 2003).

Durante este periodo de 1904 a 1959 la tasa de cambio del número de especies de copépodos conocidas en México fue de 18.0 (Fig. 1), época en que se consideraban sólo la forma general del cuerpo y del abdomen; así como la forma general de dos o tres apéndices del crustáceo (las anténulas y las quintas patas) como características morfológicas informativas del estado adulto (exclusivamente), para diferenciar a las especies (Tabla 7.1).



**Tabla 7.1** Modelos de descripción de las características consideradas como diagnósticas para la clasificación de especies de Copepoda. Las casillas vacías representan estructuras no descritas y no ilustradas en el período correspondiente. La nomenclatura de las estructuras anatómicas mencionadas, se puede consultar en Mercado-Salas *et al.* (2015).

Estructura	Primeras 5 décadas del siglo xx	Últimas 2 décadas del siglo xx
Cuerpo (hembra y macho)	Tamaño total y tamaño del prosoma y urosoma	Ilustración y descripción. Tamaño total y tamaño del prosoma y urosoma. Importante la ornamentación lateral y dorsal del quinto somita del prosoma (con o sin setas, con espinas, características de la membrana hialina, etc.)
Anténula hembra	Número de segmentos, tamaño en relación al cuerpo. Particular atención a los géneros cuyos últimos tres segmentos de la anténula presentan membrana hialina.	Ilustración y descripción. Longitud en relación al cuerpo. Número de segmentos. Número de setas, setas modificadas y estetascos por segmento, posición y forma de cada uno de ellos. Longitud y forma de los últimos tres segmentos para hacer diferencias entre géneros y especies
Anténula macho		Ilustración y descripción. Número de segmentos. Número de setas, setas modificadas y estetascos por segmento, posición y forma de cada uno de ellos
Antena (hembra y macho)		Ilustración y descripción. Número de segmentos del endópodo, número de setas sobre cada segmento. Ornamentación, posición y número de setas y/o espinas sobre el basis, caudal y frontalmente.
Mandíbula (hembra y macho)	Número de segmentos en el palpo.	Ilustración y descripción. Número, tamaño y ornamentación de las setas sobre el palpo, número y posición de espinas y forma de la gnatobase.
Maxílula (hembra y macho)		Ilustración y descripción. Número de setas y/o espinas sobre la precoxa y forma y ornamentación tanto de los segmentos del palpo, como de las setas que porta cada segmento.
Maxila (hembra y macho)		Ilustración y descripción. Forma, tamaño y número de dientes sobre el margen cóncavo del gancho del basis, así como la forma de las dos setas que lo flanquean. Número de segmentos del endópodo.
Maxilípodo (hembra y macho)		Ilustración y descripción. Número, posición y tamaño de dientes y/o espinas sobre el basis; así como el número de segmentos y número de setas que porta cada segmento.
Patas 1-4 (hembra y macho)	Fórmula espinal del último segmento del exópodo de las Patas 1 a 4, así como el número de espinas y setas de cada segmento del exópodo y endópodo de las Patas 1 a 4. Relación largo/ancho del último endópodo de la Pata 4 en comparación con la longitud de las espinas apicales del mismo segmento.	Ilustración y descripción. Forma y ornamentación frontal y caudal del esclerito intercoxal (nombrado también como “placa conectora” o “lamela conectora”). Fórmula espinal del último segmento del exópodo de cada pata. Relación largo/ancho del último endópodo de la Pata 4 en comparación con la longitud de las espinas apicales del mismo segmento. Número de segmentos en el endópodo y exópodo de cada pata. Ornamentación de la coxa y basis en vista frontal y caudal de cada una de las patas.
Pata 5 (hembra y macho)	Número de segmentos en la pata y número y posición de las setas y/o espinas sobre el segmento apical.	Ilustración y descripción. Número de segmentos en la pata. Número, tamaño y posición de setas y/o espinas sobre el segmento apical para hacer diferencias a nivel específico y supra-específico
Abdomen (hembra)	Tamaño del segmento genital. Forma y ornamentación de la región distal de cada segmento abdominal	Ilustración y descripción. Relación largo/ancho del segmento genital. Forma y ornamentación de la superficie y de la región distal de cada segmento abdominal

Receptáculo seminal (hembra)		Ilustración y descripción. Forma de los márgenes anterior, posterior, forma de los brazos laterales y forma y extensión de la bursa para hacer diferenciación a nivel específico.
Abdomen (macho)		Ilustración y descripción. Ornamentación superficial de cada somita.
Pata 6 (macho)	Comparación del tamaño entre las setas y/o espinas para diferenciar entre especies.	Ilustración y descripción. Comparación de tamaño entre las setas y/o espinas para hacer diferenciación entre especies.
Rama caudal (hembra y macho)	Ilustración y descripción. Tamaño de las ramas caudales en relación con el somita anal. Comparación del tamaño de las setas furcales y posición de las setas dorsales y laterales.	Ilustración y descripción. Relación largo/ancho y comparación del tamaño de las setas furcales para hacer diferenciación a nivel específico.
Secuenciación de los pares de bases de marcadores genéticos (nauplio, copepodito, hembra y macho)		Descripción de las secuencias y análisis de la distancia genética dentro y entre especies.

Fuente: "Elaboración propia"

Durante los 20 años posteriores (1960 a 1979), la tasa de cambio en el inventario de especies conocidas de copépodos en México fue igual a 0.0 (Figura 1); por lo tanto consideramos que, durante ese periodo la influencia de la teoría del cosmopolitismo hacia la clasificación de los copépodos distribuidos en nuestro país, continuaba vigente (así como la revisión de pocas características morfológicas en los especímenes). Sin embargo, también durante las décadas de 1970 y 1980 autores como Kiefer (1981) y Frey (1982a, 1982b; 1987) proponen la inexistencia del cosmopolitismo en microcrustáceos con fundamento en el análisis morfológico microestructural (altamente detallado) de los organismos, la teoría de la deriva continental y la vicarianza. Propusieron que la similitud morfológica de "especies" entre continentes no se explica por factores de transporte de estructuras reproductivas de resistencia, sino que cuando inició la deriva continental, en cada fragmento quedaron "protoespecies" similares entre sí (que venían diferenciándose desde el Paleozoico) que con el paso del tiempo dieron origen a las especies actuales, desde el aislamiento.

Probablemente bajo la influencia de éstas ideas y por el trabajo precedente de Kiefer (1932), se publicaron en América las primeras propuestas de límites geográficos y morfológicos entre Familias, Subfamilias y Géneros de copépodos de los órdenes Calanoida, Cyclopoida y Harpacticoida, definiendo por ejemplo la diferenciación de subgéneros (actualmente géneros) de lo que se reconocía como al único género de calanoide *Diaptomus* distribuido en todo el planeta, cosmopolita. Así por ejemplo, se reconoce que *Leptodiaptomus* es un género endémico de la región Neártica, y a *Mastigodiaptomus* como un género endémico de la región Neotropical (Suárez-Morales, Reid y Elías-Gutiérrez, 2005) y que *Diaptomus* efectivamente es un género válido, pero con distribución en las regiones Neártica y Paleártica. De manera ventajosa, durante las décadas de 1970 a 1980 también se generó mayor acceso a técnicas y tecnologías que facilitan la observación de organismos microscópicos, tal como el microscopio electrónico de barrido, el mejoramiento de la microscopía de luz y la masificación de hardware y software que magnificó el acceso y la capacidad de usar y analizar una gran cantidad de datos, tales como las características morfológicas en los copépodos.

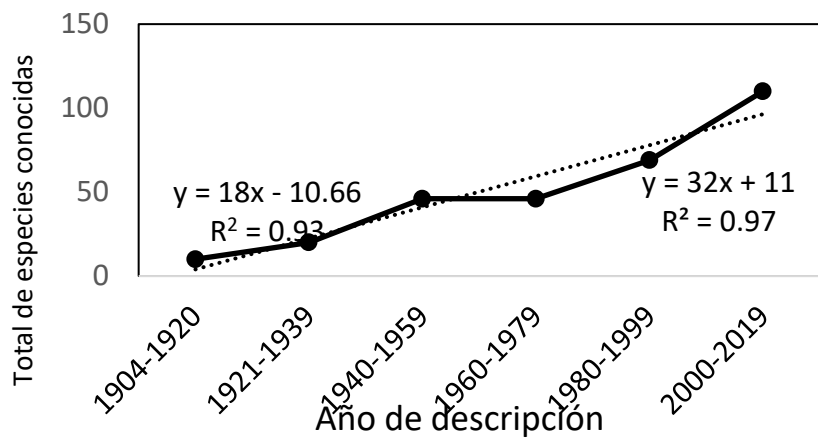
Lo anterior definitivamente eliminó la idea de cosmopolitismo a nivel específico entre los copépodos: obras como las de Fiers y van de Velde (1984) y van de Velde (1984), quienes al trabajar con el género *Mesocyclops* como modelo (Cyclopidae) y con fundamento en el análisis fino de la epidermis de apéndices cefálicos, torácicos y del receptáculo seminal; sentaron las bases para definir caracteres morfológicos diagnósticos estables (inter e intra poblacionales), útiles para proponer límites entre varias especies que se consideran taxonómicamente problemáticas y sin duda, generaron mayor interés entre los taxónomos por conocer realmente la diversidad de copépodos que nos rodea. Van de Velde (1984) propuso alrededor de 20 caracteres morfológicos estables, pero conforme se profundiza en el estudio de diversos géneros el número de caracteres morfológicos diagnósticos, se incrementa (ver por ejemplo a Alekseev y Defaye, 2011).

En la segunda columna de la Tabla 1, se enlistan los caracteres morfológicos que especialmente a partir de la década de 1990 se consideran útiles hasta la actualidad, para clasificar a las especies de los géneros *Mastigodiatomus*, *Acanthocyclops*, *Diacyclops*, *Eucyclops*, *Apocyclops*, *Paracyclops* y *Microcyclops*. Incluso para el caso de *Mesocyclops* considerado un género pantropical, con alrededor de 70 especies reconocidas, éstos caracteres mostraron sustentar las relaciones entre especies hermanas (Hołyńska, 2006). A través de estas evidencias se han sustentado dos propuestas teóricas en relación con el zooplancton distribuido en México: 1) la existencia de endemismos regionales a nivel específico y 2) al término del siglo XX, la diversidad del zooplancton dulceacuícola está subestimada en nuestro país.

#### 7.4 Descripciones detalladas

En este contexto continuó el estudio taxonómico de los copépodos en México en las últimas dos décadas del siglo XX y las dos primeras del siglo XXI, cuando se alcanzó un valor de 32 en la tasa de cambio de la descripción de especies de estos organismos (Fig. 7.1) y como resultado, el número de especies conocidas se ha duplicado a 110.

**Figura 7.1** Tendencia en el número de especies de copépodos conocidas en México, durante los últimos 115 años.



Fuente: "Elaboración propia"

En México, los hallazgos de caracteres diagnósticos, fundamentados sobre análisis morfológicos detallados de copépodos adultos generó un florecimiento en la descripción de especies nuevas de los géneros *Mastigodiatomus*, *Leptodiatomus* (Grimaldo-Ortega et al., 1998; Elías-Gutiérrez, Suárez-Morales y Romano, 1999; Suárez-Morales y Elías-Gutiérrez, 1999), *Acanthocyclops*, *Diacyclops*, *Mesocyclops*, *Paracyclops* (Fiers, Reid, Iliffe y Suárez-Morales, 1996; Fiers, Ghene y Suárez-Morales, 2000; Mercado y Suárez-Morales, 2009), *Halicyclops*, *Prehendocyclops* (Fiers, 1995; Rocha, Iliffe, Reid y Suárez-Morales, 2000), *Eucyclops* (Mercado-Salas, Suárez-Morales y Silva-Briano, 2015) y *Microcyclops* (Gutiérrez-Aguirre y Cervantes-Martínez, 2016). Este florecimiento también se ha visto intensificado durante la última década, con el acceso a la información molecular de los copépodos, lo cual ha permitido confirmar la existencia en nuestro país de especies que se creían sinónimos, tal como es el caso de *Leptodiatomus garciai* (Montiel-Martínez, Ciro-Pérez, Ortega-Mayagoitia y Elías-Gutiérrez, 2008), o *Mastigodiatomus patzcuarensis* (Gutiérrez-Aguirre, Cervantes-Martínez y Elías-Gutiérrez 2014). De tal manera que la información generada por el marcador molecular COI también ha contribuido al desarrollo de la taxonomía de géneros como *Mastigodiatomus* (Gutiérrez-Aguirre, Cervantes-Martínez, Elías-Gutiérrez y Lugo-Vázquez, 2020) y podría ser oportuno que se probase su utilidad en géneros tales como *Paracyclops* o *Tropocyclops*, los cuales son de amplia distribución en nuestro país.

Además de aportar al conocimiento básico de la biodiversidad, éstas descripciones detalladas (morfológica y molecularmente) también generan evidencias que sustentan la existencia de endemismos regionales en los copépodos dulceacuícolas a nivel específico y probablemente se propicie el enfoque en la re-evaluación de las áreas tipo, del material tipo depositado en colecciones biológicas y de la importancia por enriquecer las colecciones regionales y locales; así como observar de manera precisa y detallada a las áreas de distribución de cada especie.

Para el caso de los copépodos dulceacuícolas y de vida libre éste tipo de análisis ha generado la oportunidad de abordar estudios que prueben hipótesis biogeográficas (¿historias geográficas generadas por la dispersión...o la vicarianza?) considerando a aquellos taxa cuya distribución va siendo más conocida, con la posibilidad, por ejemplo, de establecer eco-regiones en función de la biota presente a nivel regional (Perbiche-Neves *et al.*, 2014).

El conocimiento de la biodiversidad de copépodos finalmente, también podría usarse como vehículo para discutir acerca del concepto de taxonomía (¿Por las herramientas y por el tipo de datos que se utilizan para clasificar...se puede catalogar a la taxonomía?)

## 7.5 Agradecimientos

A la Universidad de Quintana Roo y al CA Vulnerabilidad y Biodiversidad de Sistemas acuáticos Continentales y Costeros (CAVBSACC).

## 7.6 Conclusiones

El crecimiento en el número de especies de copépodos de vida libre, que habitan ecosistemas epicontinentales en el país y que inició a principios de 1900, es lineal, con tasas de cambio elevada. Por lo tanto, es oportuno incrementar el esfuerzo por realizar este tipo de estudios porque a la fecha, la riqueza conocida de estos crustáceos está subestimada en función de la riqueza real esperada. La ciencia sobre la que se sustentan los estudios de este tipo es la taxonomía, y actualmente se considera el uso de herramientas técnicas como el análisis de múltiples caracteres morfológicos y/o moleculares, como fuente de información para describir y definir a las especies.

Por las características biológicas de estos organismos, se han generado oportunidades para discutir conceptos tales como especie, grupos de especies, complejos de especies, distribuciones amplias y distribuciones restringidas.

## 7.7 Referencias

- Alekseev, V. R, y Defaye, D. (2011). Taxonomic differentiation and world geographical distribution of the *Eucyclops serrulatus* group (Copepoda, Cyclopoidae, Eucyclopinae). *Studies on Freshwater Copepoda*, 41-72.
- Cruz-Gómez, A., Franco-López, J. y Rodríguez-Varela, A. C. (2020). Ecología trófica de *Girardinichthys multiradiatus* (Meek, 1904) (Pisces: Goodeidae) en la Laguna de Salazar Estado de México, México. *BIOCYT Biología, Ciencia y Tecnología*, 13, 918-933. <http://revistas.unam.mx/index.php/biocyt>.
- Elías-Gutiérrez, M., Suárez-Morales, E. y Romano, B. (1999) A new species of *Leptodiptomus* (Copepoda, Diaptomidae) from Northwestern Mexico with comments on the distribution of the genus. *Journal of Plankton Research*, 21(4), 603-614.
- Fiers, F. (1995). *Halicyclops caneki* nov. sp. (Copepoda, Cyclopoida) from Celestun Lagoon (Yucatan, Mexico). *Belgian Journal of Zoology*, 125(2), 351-357.
- Fiers, F., Ghene, V. y Suárez-Morales, E. (2000). New species of continental copepods (Crustacea, Cyclopoida) from the Yucatán Peninsula, México. *Stud. Neotrop. Fauna and Env.*, 35, 209-251.
- Fiers, F., Reid, J. W., Iliffe, T. M. y Suárez-Morales, E. (1996). New hypogean cyclopoid copepods (Crustacea) from the Yucatan Peninsula, Mexico. *Contributions in Zoology*, 66, 65-102.
- Fiers, F. y van de Velde, I. (1984). Morphology of the antenna and its importance in the systematics of the Cyclopidae. *Crustaceana*, 7, 182-199.
- Fox, C. W., Irschick, D. J., Knapp, A.K., Thompson, K., Baker, L. y Meyer, J. (2014). Functional ecology: moving forward into a new era of publishing. *Functional Ecology*, 28, 291-292.

- Frey, D. G. (1982a). Contrasting strategies of gamogenesis in northern and southern populations of Cladocera. *Ecology*, 63(1), 223-241.
- Frey, D. G. (1982b). Questions concerning cosmopolitanism in Cladocera. *Arch. Hydrobiol*, 93(4), 484-502.
- Frey, D. G. (1987). The taxonomy and biogeography of the Cladocera. *Hydrobiologia*, 145, 5-17.
- Grimaldo, D., Elías-Gutiérrez, M., Camacho, M. y Ciros-Pérez, J. (1997). Additions to Mexican freshwater copepods with the description of the female *Leptodiaptomus mexicanus* (Marsh). *Journal of Marine Systems*, 15(1-4), 381-390.
- Gutiérrez-Aguirre, M. A. y Cervantes-Martínez, A. (2016). Taxonomic evaluation of eleven species of *Microcyclops* Claus, 1893 (Copepoda, Cyclopoida) and description of *Microcyclops inarmatus* sp. n. from America. *Zookeys*, 603, 33-69.
- Gutiérrez-Aguirre, M. A., Cervantes-Martínez, A. y Elías-Gutiérrez, M. (2014). An example of how barcodes can clarify cryptic species: the case of the calanoid copepod *Mastigodiaptomus albuquerquensis* (Herrick). *PLoS ONE*, 9(1): e85019. DOI: 10.1371/journal.pone.0085019.
- Gutiérrez-Aguirre, M., Cervantes-Martínez, A., Elías-Gutiérrez, M. y Lugo-Vázquez, A. (2020). Remarks on *Mastigodiaptomus* (Calanoida: Diaptomidae) from Mexico using integrative taxonomy, with a key of identification and three new species. *PeerJ*, 8:e8416 DOI 10.7717/peerj.8416.
- Holyńska, M. (2006). Phylogeny of *Mesocyclops* (Copepoda: Cyclopidae) inferred from morphological characters. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 147, 1-70.
- Kiefer, F. (1932). Versuch eines systems der altweltlichen Diaptomiden (Copepoda, Calanoida). *Zoologischer Anzeiger*, 100, 213-220.
- Kiefer, F. (1981). Beitrag zur kenntnis und geographischen verbreitung von *Mesocyclops leuckarti* auctorum. *Arch. Hydrobiol Suppl.*, 62, 148-190.
- Mercado-Salas, N. F., Pozo, C., Morrone, J. J y Suárez-Morales, E. (2012). Distribution patterns of the American species of the freshwater genus *Eucyclops* (Copepoda: Cyclopoida). *J. Crustacean Biol.*, 32(3), 457-464
- Mercado-Salas, N. y Suárez-Morales, E. (2009). A new species and illustrated record of *Paracyclops* Claus, 1893 (Copepoda: Cyclopoida: Cyclopinae) from Mexico. *Journal of Natural History*, 43 (45-46), 2789-2808.
- Mercado-Salas, N., Suárez-Morales, E. y Silva-Briano, M. (2015). Taxonomic revision of the Mexican *Eucyclops* (Copepoda: Cyclopoida) with comments on the biogeography of the genus. *Journal of Natural History*, DOI: 10.1080/00222933.2015.1061715.
- Montiel-Martínez, A., Ciros-Pérez, J., Ortega-Mayagoitia, E. y Elías-Gutiérrez, M. (2008). Morphological, ecological, reproductive, and molecular evidence for *Leptodiaptomus garciai* (Osorio-Tafall, 1942) as a valid endemic species. *Journal of Plankton Research*, 30(10), 1079-1093. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbn067>.
- Perbiche-Neves, G., Previattelli, D., Pie, M. R., Duran, A., Suárez-Morales, E., Boxshall, G., Nogueira, M. G. & da Rocha C. E. F. (2014). Historical biogeography of the neotropical Diaptomidae (Crustacea: Copepoda). *Frontiers in Zoology*, 11, 36. <http://www.frontiersinzoology.com/content/11/1/36>.
- Rocha, C. E. F., Iliffe, T. M., Reid, J. W. y Suárez-Morales, E. (2000). *Prehendocyclops* a new genus of the subfamily Halicyclopinae (Copepoda, Cyclopoida, Cyclopidae) from cenotes of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Sarsia*, 85(2), 119-140.

Sharma, P. y Kotov, A. A. (2013). Molecular approach to identify sibling species of the *Ceriodaphnia cornuta* complex (Cladocera: Daphniidae) from Australia with notes on the continental endemism of this group. *Zootaxa*, 3702, 79-89.

Suárez-Morales, E. y Elías-Gutiérrez, M. (1999). Two new *Mastigodiptomus* (Copepoda, Diaptomidae) from southeastern Mexico, with a key for the identification of the known species of the genus. *Journal of Natural History*, 34, 693-708.

Suárez-Morales, E. y Elías-Gutiérrez, M. (2003). Estado actual del conocimiento de los copépodos de aguas continentales de México. En M. T. Barreiro-Güemes, M. E. Meave del Castillo, M. Signoret-Poillon y M. G. Figueroa-Torres (Eds.), *Planctología Mexicana* (pp. 157-170). Ciudad de México, México: Sociedad Mexicana de Planctología.

Suárez-Morales, E., Gutiérrez-Aguirre, M. A., Gómez, S., Perbiche-Neves, G., Previattelli, D., dos Santos-Silva, E., da Rocha, C. E. F., Mercado-Salas, N. F., Marques, T. M., Cruz-Quintana, Y. y Santana-Piñeros, A. M. (2020). En C. Damborenea (Ed.), *Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates* (pp. 1-134). Leiden, Países Bajos: Elsevier.

Suárez-Morales, E., Reid, J. W. y Elías-Gutiérrez, M. (2005). Diversity and distributional patterns of Neotropical freshwater copepods (Calanoida: Diaptomidae). *Internat. Rev. Hydrobiol.*, 90(1), 71-83.  
van de Velde, I. 1984. Revision of the African species of the genus *Mesocyclops* Sars, 1914 (Copepoda: Cyclopidae). *Hydrobiologia*, 109, 3-66. <https://doi.org/10.1007/BF00006297>

# *Impluvium*

Publicación digital de la Red del Agua UNAM  
Número 10, Enero - Marzo 2020



## Crisis climática y recursos hídricos



le permitan alcanzar los objetivos de adaptación a los riesgos provocados por los fenómenos hidrometeorológicos extremos y de mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con la construcción, operación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica. Al mismo tiempo, se requiere mejorar la resiliencia de las sociedades bajo el enfoque de reducción del riesgo de desastres establecido en el Marco de Sendai.

El tiempo para reducir los factores que provocan la crisis climática y sus impactos se agota. Es necesario aumentar las capacidades de todos los actores involucrados y profundizar los conocimientos sobre las complejas relaciones que existen entre los recursos hídricos y el cambio climático. En este sentido, los autores que participan en este número de nuestra publicación digital Impluvium exploran, desde múltiples disciplinas, los efectos de la crisis climática en dimensiones tan variadas como el género, la migración, el microclima, entre otras perspectivas.

La crisis actual derivada del Covid-19 no debe distraer la atención sobre otros temas prioritarios de la Agenda de Desarrollo Sostenible, sino que refuerza la necesidad de actuar para mitigar los efectos del cambio climático. 💧

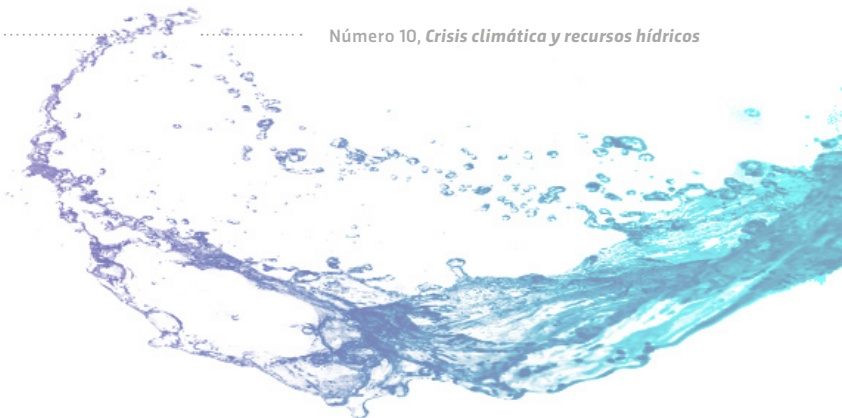
**DR. FERNANDO GONZÁLEZ VILLARREAL,**  
COORDINADOR TÉCNICO DE LA RED DEL AGUA UNAM.

**M. EN C. JORGE ALBERTO ARRIAGA MEDINA,**  
COORDINADOR EJECUTIVO DE LA RED DEL AGUA UNAM.

## HACIA UN MANEJO INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO EN ISLA COZUMEL, QUINTANA ROO.

HERNÁNDEZ-FLORES, GERARDO;  
GUTIÉRREZ-AGUIRRE, MARTHA ANGÉLICA. &  
CERVANTES-MARTÍNEZ, ADRIÁN

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES, UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO,  
COZUMEL, QUINTANA ROO, MÉXICO.



### Resumen:

Cozumel es la tercera isla más grande de México y se encuentra en el estado de Quintana Roo. En ella, la fuente más viable de agua dulce es el acuífero que se recarga principalmente por infiltración de agua de lluvia, por lo que la disponibilidad del recurso es altamente sensible a los efectos antrópicos y climáticos. Después de una revisión bibliográfica y entrevistas a informantes clave (tomadores de decisiones, actores sociales, administradores del recurso agua etc.) el documento identifica los principales elementos ambientales (entorno y estado del recurso), económicos (actividades socioeconómicas y servi-

cios de distribución) y sociales (usos y tradiciones, marco jurídico y demografía) característicos de la Isla que deben ser descritos para desarrollar estrategias para el manejo sustentable del recurso hídrico.

### Introducción

La Organización de las Naciones Unidas considera al sexto objetivo del desarrollo sostenible como: “Agua limpia y saneamiento”. La meta 6.5 plantea implementar el manejo integrado de recursos hídricos en todos los niveles para el 2030. Globalmente se reconocen los efectos de la actual crisis climática a través de un aumento de la temperatura promedio,

elevación del nivel medio del mar y la alteración de los patrones de precipitación. Estas alteraciones, junto con la sobreexplotación y contaminación de los acuíferos por factores como el incremento poblacional y las actividades productivas, han elevado el grado de presión sobre los recursos hídricos, poniendo en riesgo la disponibilidad en volumen y calidad del agua en el mediano y largo plazo.

Cozumel es especialmente sensible a los efectos ya mencionados del cambio climático, pero particularmente a la modificación en los patrones de precipitación pluvial, pues la lluvia es la única fuente de recarga del acuífero en la isla. Además del influenciar la recarga de acuíferos, el cambio en el clima y su variabilidad tienen influencia sobre patrones de uso del agua (Taylor *et al.*, 2012, p.322) y por ende en la disponibilidad para consumo humano. El impacto sobre la disponibilidad hídrica en la Isla sería significativo, pues el recurso almacenado en el acuífero es la única fuente viable de agua dulce para surtir a la población y las actividades productivas (SECTUR, 2018, p.34); pues al no existir un sistema de tubería que conecte con la parte

continental, el ingreso de volúmenes significativos es limitado. Por ende, es prioritario identificar los elementos que se relacionan con el acuífero para caracterizar sus tendencias y estado actual, pues son la base para fundamentar estrategias locales para el manejo sustentable del recurso hídrico.

### La isla y su acuífero

La Isla se encuentra en el sureste de México, en el estado de Quintana Roo, y cuenta con una superficie de 473 km<sup>2</sup>. Su suelo está formado principalmente por roca carbonatada (denominado como karst), por lo que se favorece la infiltración del agua al subsuelo, provocando que la mayor parte de los cuerpos de agua sean subterráneos. El acuífero se reconoce a nivel nacional como “Isla de Cozumel 2305” y dentro de la Región Hidrológico-administrativa XII. En el modelo actual del acuífero, se plantea una lente de agua dulce que flota sobre agua marina y que disminuye de espesor con relación a la cercanía con la línea de costa; aunque este modelo debe ser ajustado para reflejar la complejidad del sistema. En 2015 se estimó un valor medio anual

de agua dulce en la isla entre 19 y 31.4 millones de metros cúbicos (Comisión Nacional del Agua, 2015, p.2; Coral Zaragoza, 2015, p.91).

La población actual es de aproximadamente 90,000 habitantes y la principal actividad económica es el turismo (SECTUR, 2013, p.39). El volumen de turistas fluctúa de acuerdo con la temporada y, en 2015, se registró el arribo de 575,055 turistas y 3,391,241 excursionistas (Segrado Pavón *et al.*, 2017, p.165). El agua para beber en la isla proviene de empresas que desalan, purifican y comercializan el recurso; mientras que el agua necesaria para surtir a las necesidades de la población y las actividades productivas proviene principalmente de pozos de extracción ubicados en el área de captación. Aunque el área de captación abarca una mayor superficie, se delimitó en el Plan de Ordenamiento Ecológico Local dentro de la Unidad de Gestión Ambiental (UGA) C1. En ella se encuentran 261 pozos administrados por la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (CAPA), quien monitorea mensualmente 11 variables indicadoras de calidad de agua, siendo

de las más importantes los coliformes fecales, cloruros, sólidos totales disueltos y cloro residual.

### Manejo del recurso en la Isla.

Actualmente, el manejo del acuífero en la UGA C1 se realiza principalmente por CAPA, que selecciona los pozos óptimos para la extracción con base en el monitoreo de la calidad del agua. Afuera de la zona de captación, CAPA realiza campañas de concientización sobre el uso del agua, el manejo de la red de distribución, del drenaje y de las aguas residuales. (Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo, 2017, p.1-3).

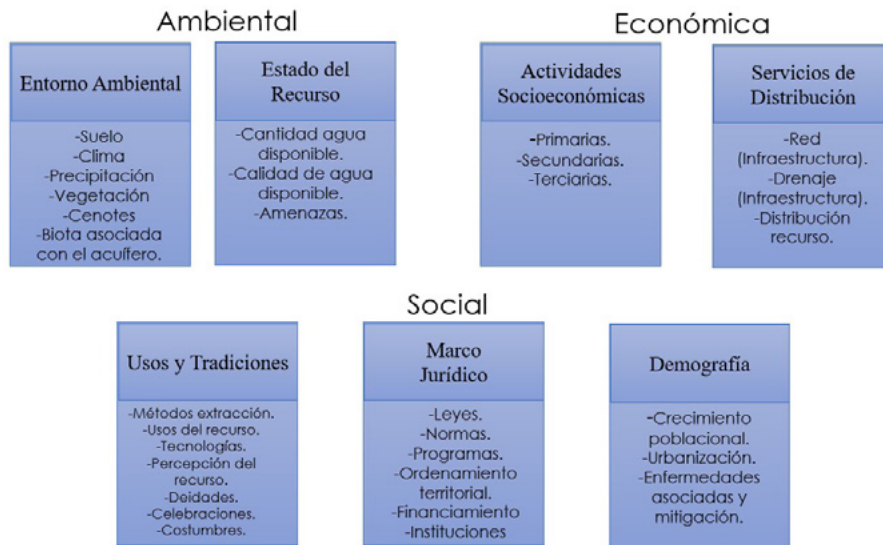
Por otra parte, en la Isla se han comenzado iniciativas como “La agenda del agua”, donde en 2018 participantes de siete sectores, incluyendo a la Universidad de Quintana Roo, el Ayuntamiento local y organizaciones sociales, se reunieron para discutir sobre el estado del recurso hídrico; sin embargo, aún es necesario incentivar el desarrollo de estrategias multisectoriales e integrales para el manejo sustentable del recurso.

## Hacia el manejo sustentable del agua.

Actualmente no se han reportado evidencias de problemas importantes con la disponibilidad o calidad en agua distribuida por CAPA, por lo que aún es posible el desarrollo de medidas preventivas que son más eficientes que las correctivas.

Para el desarrollo de estas estrategias, es necesaria una colaboración multidisciplinaria y multisectorial, abordándola de una manera integral y con la suficiente plasticidad para adaptarse a los retos emergentes (Vrba *et al.*, 2007, p.1-2). La estrategia debiera considerar, como mínimo, el recurso, los usuarios, la escala y un periodo de tiempo (Gumbo & Zaag, 2014, p.9). A la vez, se debe

Figura 1. Elementos por caracterizar, identificar tendencias y situación actual en Cozumel.



incentivar la formación de expertos locales por su conocimiento regional, beneficios económicos y la continuidad en los proyectos (Biswas, 1998, p.302).

El modelo presentado (véase Figura 1) es el resultado de un análisis de documentos de 1978 a 2018 y el análisis de 7 entrevistas a toma-

dores de decisiones (académicos, asociaciones civiles e iniciativa privada) relacionados con el acuífero en Cozumel. Para elaborarlo se consideraron como base los 3 ejes propuestos por el desarrollo sostenible. En el modelo se muestran los elementos necesarios que deben ser descritos para el manejo sostenible del agua en la Isla y que requieren atención inmediata:

- 1) Evaluación de la influencia de las modificaciones de los patrones de precipitación, el aumento promedio de temperatura y la elevación del nivel medio del mar sobre la recarga en el acuífero.
- 2) Descripción de las especies y dinámicas en la porción dulceacuícola subterránea para caracterizar poblaciones e identificar posibles especies bioindicadoras de calidad de agua.
- 3) Caracterización de las principales amenazas al volumen y la calidad de agua en el acuífero, como son: contaminantes, efecto de los eventos atmosféricos, como los huracanes, sobre-explotación e intrusiones salinas.
- 4) Generación de información sobre los patrones de consumo de los diferentes sectores (incluyendo el turístico), el volumen de agua consumido proveniente de los pozos artesanales y particulares, así como de los factores que inciden sobre este consumo a través del tiempo.
- 5) Evaluación de estrategias que incentiven la seguridad alimentaria y energética y que consideren que la mayor parte de los alimentos, insumos y electricidad no son producidos en la isla.
- 6) Descripción de los factores que influyen sobre las entradas y salidas, las vías por las que circula y destinos finales del agua del acuífero.
- 7) Divulgación de información sobre el acuífero y creación de espacios para la integración de los diferentes sectores para la toma de decisiones referentes con su manejo.
- 8) Descripción de los usos y tradiciones relacionados con el agua, el marco jurídico y demográfico, pues la generación de estrategias sociales basadas en las características propias

de quienes viven y visitan la Isla incrementa la posibilidad de apropiamiento y su efectividad.

## Conclusiones

Cozumel es altamente sensible a los efectos de una crisis climática y ambiental, pues por su insularidad, la única fuente viable para la recarga del acuífero es la precipitación. Por ello, existe una urgencia para el desarrollo de estrategias que incentiven el conocimiento y buen manejo del recurso agua, para entender y asegurar la disponibilidad hídrica. Cualquier medida propuesta en Cozumel debe estar fundamentada por información sobre las tendencias y la situación actual del recurso. Si bien se identificaron los elementos por caracterizar, se reconocen entre las prioridades: influencia de la crisis climática sobre la recarga; biota asociada con el acuífero; amenazas, consumo y hábitos de consumo por los diferentes sectores; seguridad alimentaria y eléctrica; flujos del recurso; divulgación de información; integración de los usuarios en la toma de decisiones considerando la descripción de las características sociales, cultu-

rales, económicas y ambientales de los habitantes y visitantes.

Los autores quisieran agradecer al CONACyT por el apoyo brindado para este proyecto (No. beca 483462), a los revisores anónimos quienes enriquecieron la calidad del manuscrito y al Programa de Doctorado en Desarrollo Sostenible de la Universidad de Quintana Roo. ♦



## Bibliografía consultada

Biswas, A. K. (1998). Water Management in Latin America and the Caribbean, *International Journal of Water Resources Development*, 14(3), 293–303.

Comisión Nacional del Agua (2015). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Isla de Cozumel (2305). *Diario Oficial de la Federación*, México.

Coral Zaragoza, E. (2015). Diagnóstico del estado de implementación del grado de presión hídrico sobre el acuífero de la isla de Cozumel. División de Desarrollo Sustentable, Maestría en Gestión Sustentable del Turismo. Universidad de Quintana Roo, México.

Gumbo, B. and Zaag, P. Van Der (2014). Principles of Integrated Water Resources Management (IWRM) consultado en línea <https://pietervanderzaag.files.wordpress.com/2015/02/principles-of-integrated-water-resources-management-october-2014.pdf>

Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo (2017). Ley de agua potable y alcantarillado del estado de Quintana Roo. Chetumal, Q.Roo.

SECTUR (Secretaría de Turismo) (2013). Agendas de Competitividad de los destinos turísticos de México. Quintana Roo, México.

SECTUR (Secretaría de Turismo) (2018). Programa Marco para fomentar acciones para restablecer el balance del ciclo del agua en Cozumel. México.

Segrado Pavón, R. G. et al. (2017). Capacidad de carga turística y aprovechamiento sustentable de Áreas Naturales Protegidas, *CIENCIA ergo sum*, 24(2), pp. 164–172.

Taylor, R. et al. (2013). Ground water and climate change. *Nature Climate Change*, 3, 322–329.

Vrba, J. et al. (2007). Groundwater resources sustainability indicators, IAHS-AISH Publication. Eds. J. Vrba and A. Lipponen. Paris, Francia. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.