

*Short Communication*

## Susceptibilidad a la variabilidad ambiental del sector acuícola en el Estado de Colima, México: caso de estudio

Marco Agustín Liñan-Cabello<sup>1\*</sup>, Ana Luz Quintanilla-Montoya<sup>2</sup>  
Cesar Sepúlveda-Quiroz<sup>1</sup> & Omar D. Cervantes-Rosas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Marinas, Universidad de Colima, Manzanillo, Colima, México

<sup>2</sup>Centro Universitario de Gestión Ambiental, Universidad de Colima, Colima, México

Corresponding author: Marco Agustín Liñan-Cabello (linanmarco@hotmail.com)

**RESUMEN.** En México, como en muchos otros países de Latino América, la carencia de un plan de desarrollo y/o prevención en acuicultura ante la variabilidad ambiental es evidente. En el Estado de Colima, la acuicultura presenta rezagos en cuanto a la capacidad técnica-productiva, en especial para el cultivo de tilapia *Oreochromis* spp. Se practicaron encuestas a acuicultores y expertos, además de consultar fuentes bibliográficas científicas, y la identificación de diferentes factores de riesgo emanados de la práctica de la actividad acuícola para valorar la vulnerabilidad del sector. El principal factor de riesgo se asoció a fenómenos hidrometeorológicos, para lo cual se reconoce la necesidad de delimitar zonas de mayor riesgo, más aún, ante la incertidumbre de los mismos debido al cambio climático global. El presente estudio propone implementar un programa integral de reconversión tecnológica y medidas de control para especies exóticas que, además, considere esquemas de producción acuícola basadas en el uso eficiente del agua, y considere para ello el uso de especies endémicas para su cultivo.

**Palabras clave:** acuicultura, políticas públicas, vulnerabilidad costera, cambio climático.

## Susceptibility to environmental variability of the aquaculture sector in the State of Colima, Mexico: case study

**ABSTRACT.** In Mexico, as in many other Latin American countries, the lack of a development plan and/or prevention in aquaculture to environmental variability is evident. In the State of Colima, aquaculture presents lags in terms of technical and productive capacity especially for growing tilapia *Oreochromis* spp. Surveys were performed to farmers and experts, in addition to consulting scientific literature sources, and identifying different risk factors arising from the practice of aquaculture in order to assess the vulnerability of the sector. The main risk factor associated with hydrometeorological phenomena, for which the need to define high-risk areas, even more, given the uncertainty of the same due to global climate change is recognized. This study proposes to implement a comprehensive program of technological conversion and control measures for alien species that also consider aquaculture production schemes based on the efficient use of water, and to consider using this endemic species for cultivation.

**Keywords:** aquaculture, fishery public policies, coastal vulnerability, climate change.

En México como en muchos otros países de Latino América, la acuicultura se ha desarrollado como una gestión por actividades y no a partir de un esquema de desarrollo integral (Edwards, 2015). De acuerdo a las proyecciones realizadas para México por Magaña (1999), a mediados del siglo XXI, el clima será más cálido (2°-3°C). Estudios específicos han referido que en los estados mexicanos de Colima y Guerrero, por cada grado de incremento de temperatura ambiental, los

casos de dengue han aumentado entre 1,5 y 2% (SSA, 2001; Espinoza-Gómez *et al.*, 2013), mientras que los casos de paludismo podrían afectar principalmente a poblaciones rurales de difícil acceso (INE, 2006). Otros autores han referido que específicamente con la práctica de la acuicultura de agua dulce, se potencializa la absorción de sustancias tóxicas y metales pesados en organismos acuáticos, debido a que el incremento de temperatura acelera su ritmo metabólico pudiendo ori-

ginar problemas relacionados con la seguridad alimentaria, certificación de productos, y en otros casos potenciar la virulencia de organismos mantenidos en cultivo (Marcogliese 2001; Ficke et al., 2007).

De acuerdo a la FAO (2008), a nivel mundial existen tres grupos y/o especies principales que han sido diseminados en diversas regiones geográficas y han llegado a jugar un papel importante en la producción acuícola: en aguas tropicales se encuentra la tilapia (*Oreochromis* sp.) y el camarón blanco *Penaeus vannamei* (Boone, 1931), mientras que en aguas templadas están los salmónidos (familia Salmonidae). En el caso particular de Colima, las últimas dos especies referidas dominan en el esquema de producción, en el caso de la tilapia, corresponde a una especie exótica, mientras que el camarón blanco es una especie de origen marino, que sin embargo, se puede considerar como exótica por cultivarse principalmente en aguas interiores de baja salinidad (Miranda et al., 2010; Castillo-Soriano et al., 2011). Independientemente de los efectos ocasionados por las especies exóticas, el ejercicio de la acuicultura por sí misma, promueve cambios en el uso del suelo que modifican el ambiente físico y biológico, transformando el hábitat, las interacciones biológicas de sus poblaciones silvestres, el comportamiento animal y los procesos ecosistémicos (Cabrera, 2009).

El objetivo principal del presente estudio es identificar las expectativas de la actividad acuícola, frente a los escenarios de riesgo y variabilidad ambiental. Del mismo modo, se pretende contribuir al conocimiento para lograr un mejor desarrollo de la acuicultura, bajo un esquema de adaptación para el aprovechamiento sustentable de los recursos acuáticos, considerando los atributos del entorno, el desarrollo tecnológico y las potencialidades de desarrollo acuícola.

La mayoría de las granjas acuícolas de Colima están ubicadas en zonas de temperatura cálida (26°C), donde se localizan los municipios de Manzanillo, Tecomán, Colima y Coquimatlán. En Colima fundamentalmente se cultiva la tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus 1758, variedad Stirling) y el camarón blanco (*Penaeus vannamei*).

Los principales ríos de Colima son el Marabasco que limita con Jalisco por el oeste; el Armería que desciende de la Sierra de Cacoma, Jalisco y cruza el estado de norte a sur y en la zona sureste los ríos Boca de Pascuales y Coahuayana. Estos sistemas fluviales descargan sus aportes continentales a lo largo de la costa Pacífica. En la zona costera se localiza la Laguna Potrero Grande, ubicada en el municipio de Manzanillo, al igual que la de Miramar y la de San Pedrito, y como cuerpo lacustre de menor capacidad, la

Laguna del Valle de las Garzas. También se encuentran las lagunas de Alcuzahue y Amela, ubicadas en el municipio de Tecomán; y la laguna Cuyutlán que es la de mayor extensión (7.200 ha) localizada en los municipios de Armería y Manzanillo (INAFED, 2010). Colima presenta una recurrencia de penetración de ciclones de 5 a 7 años, y tiene la segunda probabilidad más alta en presentar este tipo de fenómenos en su territorio con un valor de 0,36%, por esta razón está catalogado como un estado donde la presencia de ciclones es muy alta (CENAPRED, 2007; Constantino et al., 2011).

Los principales acuíferos subterráneos se localizan a lo largo de la costa, donde los ríos Armería y Marabasco y otros de menor caudal, han acumulado sedimentos deltaicos permeables que reciben importantes recargas debido a la precipitación abundante y a sus propios escurrimientos (INAFED, 2010). La precipitación promedio anual es de 983 mm y aumenta en zonas de mayor altitud. En general, la mayoría de las granjas acuícolas se encuentran ubicadas en los alrededores del río Armería y al sur del estado, en el valle de Tecomán, principalmente debido a que son zonas con buen abastecimiento de agua, tanto de tipo superficial y/o acuíferos subterráneos.

Durante 2013 se realizaron encuestas en las diferentes unidades de producción acuícola (UPAs) del Estado de Colima, asimismo, se realizaron dos talleres consultivos con productores de tilapia y camarón para reconocer la problemática de mayor relevancia respecto a eventos hidrometeorológicos, mareas rojas, desecación, lluvias intensas, afectaciones por patógenos y sus posibles soluciones. Adicionalmente, se realizaron búsquedas en bases de datos especializados, y consulta de reportes técnicos gubernamentales. También, se practicaron encuestas a expertos en el estudio del Cambio Climático Global (CCG), para identificar posibles evidencias/registros de anomalías ambientales y estimaciones sobre el grado de impacto de cambios ambientales en el Estado de Colima y particularmente, al sector acuícola.

Para la determinación de la vulnerabilidad (V), se utilizaron los componentes definidos por el IPCC (2001), exposición (E), sensibilidad (S) y capacidad de adaptación (CA), usando la relación:

$$V = (E + S) - CA$$

De acuerdo a dicha propuesta metodológica, el rango en los valores de vulnerabilidad es de 0-1, correspondiendo a 1, el valor de máxima vulnerabilidad. Para el cálculo de este indicador, se consultaron bases de datos oficiales (INEGI, 2009; SAGARPA-CONA-PESCA, 2013). La selección de indicadores se realizó tomando en consideración aspectos sociales, económicos y ambientales involucrados en las actividades

pesqueras y acuícolas. Los datos obtenidos fueron estandarizados, según lo propuesto por Barsley *et al.* (2013).

En la presente investigación se realizaron 65 encuestas que correspondieron al 75% de las 91 unidades productivas existentes. Los principales municipios donde se practica la acuicultura son Coquimatlán, Colima, Manzanillo y Tecomán, los cuales conformaron el 72% de las granjas existentes (Fig. 1).

La mayor parte de las UPAs se localizaron en aguas interiores y muchas de ellas en lugares de difícil acceso. De acuerdo a los actores, los eventos de mayor exposición al riesgo se asociaron a eventos de lluvias intensas y/o vientos. Es importante destacar que únicamente el 73% del sector, cuenta con servicios médicos, los cuales se encuentran localizados en algunos casos, a más de 2 h de trasportación, y sólo un 26% de los granjeros cuenta con seguro de vida.

Contrariamente a la actividad agrícola, el 60% de los acuicultores no recibe ningún tipo de subsidio por consumo eléctrico y existen algunas UPAs, que no han sido electrificadas; su lejanía con respecto a la red eléctrica ha sido un factor determinante para impedir la tecnificación, el acceso a recursos y a estar incomunicados respecto a los boletines oficiales de seguridad.

En cuanto al abasto de alevines de tilapia, existen proveedores locales que aportan el 88% de la cría cultivada en el Estado y utilizan la técnica de reversión sexual a partir de hormonas (17 $\alpha$  metil-testosterona), a fin de producir organismos monoicos; únicamente un 12% selecciona manualmente los machos o realiza bicultivos con tilapia-camarón.

La mayoría de las granjas de tilapia registran baja productividad respecto a los rendimientos reportados por algunas UPAs (7-8 ton ha<sup>-1</sup>). Adicionalmente y de acuerdo a información obtenida con los actores, fue posible reconocer un escaso o nulo conocimiento del dominio de la técnica de cultivo. En el caso particular del cultivo del camarón, se presentan mejores indicadores productivos. En este sentido se presenta un menor nivel de vulnerabilidad del cultivo de este crustáceo en la mayoría de los rasgos referidos.

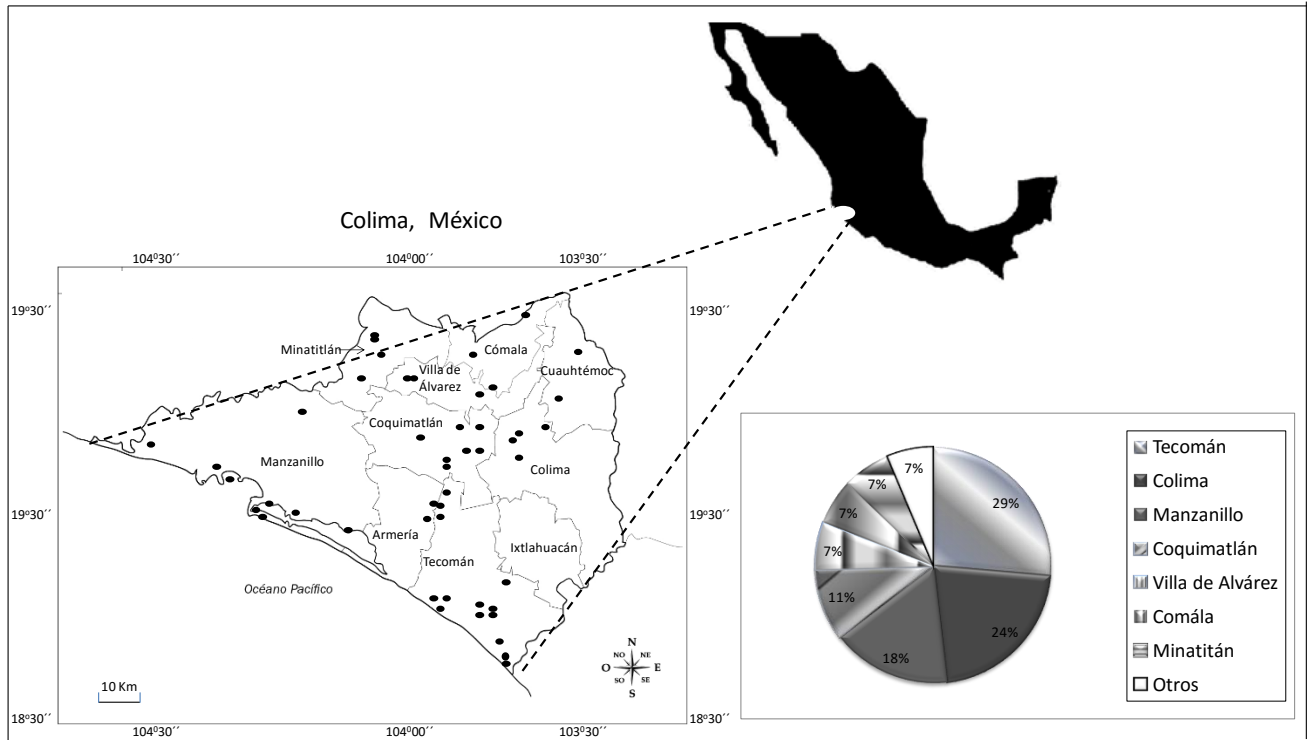
En base a las encuestas aplicadas a productores, los principales problemas asociados al desarrollo de la acuicultura en el Estado, fueron: a) alto grado de burocracia principalmente asociada a los trámites para obtener permisos, certificaciones, concesiones, entre otros, b) deficiente suministro eléctrico, c) exceso en el uso de agroquímicos y pesticidas por el sector agrícola, d) conflictos por el uso de agua con la agricultura, y e) problemas relacionados con la obtención de insumos y comercialización del producto.

De acuerdo a la información obtenida, la actividad agrícola genera contaminación por exceso y/o uso inadecuado de agroquímicos (Fracchia-Durán & Liñan-Cabello, 2013). Incluso en Colima, se reconoce la existencia de políticas inadecuadas que promueven la adquisición y uso de agroquímicos, que representan vectores persistentes, que promueven la contaminación de cuerpos costeros (Anguiano-Cuevas *et al.*, 2015), pudiendo tener efectos en la salud, supervivencia y calidad de los organismos acuáticos susceptibles a ser cultivados.

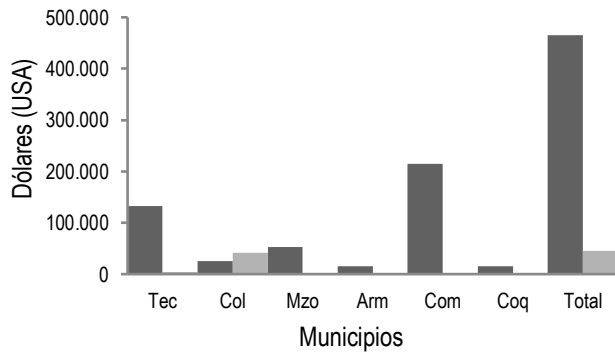
De acuerdo a fuentes oficiales (SAGARPA, 2013) y los resultados obtenidos por las 14 encuestas a especialistas en CCG, las altas precipitaciones derivadas de fenómenos hidrometeorológicos fueron considerados como una de las causas de mayor peligro por provocar inundaciones, aumento de cauces de ríos y deslave de material rocoso. Un ejemplo de lo anterior se presentó en octubre de 2011, en las costa de Colima, que fue afectada por el paso del huracán Jova (Fig. 2). Según fuentes oficiales (SAGARPA, 2013), los daños en el sector acuícola causados por dicho evento ascendieron a US\$454,000 relacionados con la erosión de bordes, pérdida o fuga de organismos, y afectaciones en insumos y equipos operativos. Los principales daños se presentaron en UPAs del municipio de Colima, seguidos por Tecomán y Manzanillo. Una problemática subsecuente del impacto del huracán Jova, fue la fuga incontrolada de organismos de cultivo, a diversos entornos acuáticos. Se estima que casi ocho millones de organismos se escaparon al medio. Tecomán fue el municipio con el mayor registro de especímenes liberados, con ~76% del total.

Se encontró que los municipios con mayor nivel de vulnerabilidad fueron Manzanillo, Colima y Tecomán, y en menor proporción Villa de Álvarez, Armería y Coquimatlán (Tabla 1, Fig. 3). Se destaca además que en estos municipios se localiza el 82% de las granjas acuícolas. En general, la tendencia en los componentes S, E y CA fue similar, correspondiendo los mayores valores a los mismos municipios de Manzanillo, Colima y Tecomán.

El Cambio Climático Global presenta serias amenazas para la sostenibilidad del sector acuícola, con base a los impactos de orden biológico, económico y social (Magaña *et al.*, 2004 en Flores-Nava, 2010). No obstante, de acuerdo a la FAO (Cochrane *et al.*, 2009), solo se ha documentado un efecto directo en la acuicultura por acción del CCG promovido por causas antropogénicas, como la niebla tóxica que se extendió sobre Asia sudoriental durante el fenómeno El Niño, de 2002. En este sentido este evento ambiental tuvo por consecuencia la reducción de un 10% de la propagación de la luz solar y anomalías térmicas en la atmósfera y el



**Figura 1.** a) Localización de las Unidades de Producción Acuícola (UPAs) en el Estado de Colima, b) porcentajes de UPAs en el Estado.



**Figura 2.** Relación de daños por el huracán Jova (2011) en la infraestructura interna (erosión de bordos, pérdida de organismos, afectaciones en insumos y equipos operativos) y externa (daños en caminos/accesos y red eléctrica) en algunos de los municipios con actividad acuícola. Tec: Tecomán, Col: Colima, Mzo: Manzanillo, Arm: Armería, Com: Comala, Coq: Conquimatlán. (Fuente: Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Colima 2013).

océano. De acuerdo a Swing (2003), dicho fenómeno contribuyó a un episodio de floración de dinoflagelados que perjudicó la acuicultura en zonas costeras desde Indonesia hasta la República de Corea causando daños por millones de dólares. No obstante, las repercusiones directas del cambio climático a propagar un fenómeno

específico, los efectos indirectos al sector acuícola pueden ser de mucha mayor complejidad ya que existen relaciones de competencia por agua con agricultura y dependencia de insumos derivados de la actividad pesquera, entre otros.

En Colima la actividad acuícola está relacionada con cultivo de camarón y tilapia, observando un crecimiento proporcional muy próximo al 8,7% anual, (FAO, 2008), que muestra un mayor nivel de tecnificación en el cultivo de camarón en aguas interiores; mientras que el cultivo de tilapia, en general mantiene rasgos asociados a escasa tecnificación y bajo rendimiento. No obstante, el crecimiento de esta actividad en el Estado, como en otras partes del país, se ha dado sin los elementos de planeación requeridos ante diversas contingencias de tipo ambiental y/o antropogénico. Como evidencia principal, se puede considerar los efectos observados a consecuencia del huracán Jova, que causó múltiples daños a la infraestructura y efectos biológicos en granjas asociadas a los municipios de Colima Tecomán y Manzanillo. Igualmente, con base a la información obtenida sobre las granjas, se observó que en el cultivo de la tilapia, es común el empleo de la hormona 17 alfa-metil-estosterona para obtener monosexo machos, que si bien evita la reproducción temprana de esta especie y con

**Tabla 1.** Exposición, sensibilidad, capacidad de adaptabilidad y vulnerabilidad en los municipios del estado de Colima. E: exposición, S: sensibilidad, CA: capacidad de adaptación, V: vulnerabilidad.

Municipio	E	S	CA	V
Armería	0,13	0,03	0,03	0,13
Colima	0,26	0,16	0,13	0,28
Comala	0,09	0,02	0,02	0,09
Coquimatlán	0,12	0,02	0,02	0,12
Cuauhtémoc	0,11	0,03	0,02	0,11
Ixtlahuacán	0,09	0,01	0,00	0,09
Manzanillo	0,34	0,18	0,14	0,38
Minatitlán	0,09	0,01	0,01	0,09
Tecomán	0,23	0,13	0,10	0,26
Villa de Alvarez	0,15	0,13	0,11	0,17

ello optimiza los tiempos de cultivo y empleo de alimento, tiene la limitante de impedir la comercialización a escalas nacional/internacional ya que la “Agencia de Alimentos y Medicamentos” (FDA) de USA, no aprueba el uso de éstos compuestos hormonales durante el cultivo en peces, debido al posible impacto de los derivados hormonales en el ser humano y en el medio (Phelps & Popma, 2000). Este rasgo distintivo en el cultivo de tilapia en Colima como en otros estados de México y países en desarrollo, denota una afectación a la fragilidad sanitaria y a los atributos de bioseguridad que en asociación sinérgica con el bajo nivel de desarrollo tecnológico y fragilidad financiera -entre otros indicadores- hacen que el cultivo de este pez sea una actividad de alta vulnerabilidad (Tabla 2), y por ello, requiere un plan de reordenamiento por las autoridades correspondientes, a fin de disminuir los impactos ecológicos de estas especies bajo un escenario de forzamiento ambiental.

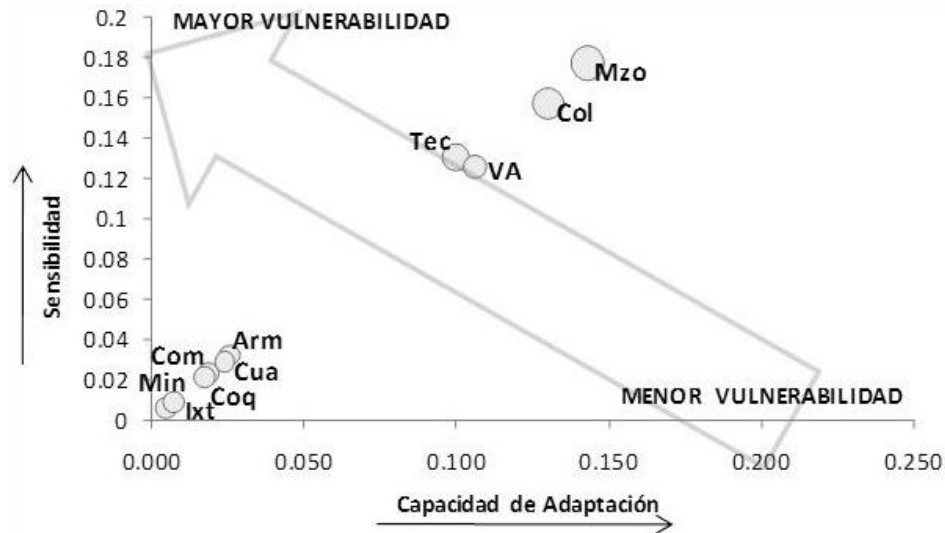
En un estudio realizado por Seingier *et al.* (2010), se analizó la vulnerabilidad de las regiones costeras de México al 2030, encontrando al Municipio de Tecomán con mayor riesgo (0,69) y al de Manzanillo con menor riesgo (0,35). El alto índice en Tecomán estaría asociado con la mayor planicie costera y baja altitud respecto al nivel medio del mar, que cobra mayor relevancia si se considera que el municipio de Tecomán tiene la mayor cantidad de granjas camaroneras del Estado. Al analizar la relación de sensibilidad y capacidad de adaptación se encontró que los municipios de Manzanillo, Colima, Tecomán y Villa de Álvarez se ubicaron en un grupo con mayor sensibilidad y mayor capacidad de adaptación, en relación a los demás del Estado de Colima. Los municipios con menor sensibilidad y menor capacidad de adaptación o mínima capacidad de respuesta fueron Minatitlán e Ixtlahuacán. Al respecto, Padilla-Lozoya (2007) reportó para los municipios de Armería, Coquimatlán y Minatitlán, que

pertenecen a este grupo, registros históricos de daños ocasionados por lluvias intensas y huracanes, el más desastrosos de estos fenómenos fue el “Ciclón de 59” que durante 1959 impactó la costa del Pacífico y provocó la muerte de más de mil personas.

La laguna de Cuyutlán, con una extensión de 7.200 ha, representa el cuerpo de agua de mayor potencialidad para el cultivo de especies marinas, que se extiende a lo largo de la costa separada del mar por una barra de 34 km. Actualmente, existen diversos factores que convergen en la laguna Cuyutlán, tales como diversas fuentes de contaminación urbana -por ubicarse próxima a centros de población humana-, giro industrial por la presencia de una central termo-eléctrica, y recientemente, la instalación de un canal artificial con propósitos de uso portuario al interior de la laguna, conlleva a suponer la necesidad de realizar estudios de mayor profundidad que permitan evaluar la verdadera capacidad acuícola de este cuerpo de agua.

De acuerdo a proyecciones oficiales (INECC, 2015), al menos el 60% de la costa del Estado de Colima está expuesta a riesgo de inundación derivada del aumento del nivel del mar. En este contexto, se considera que las granjas dispuestas al sur de Tecomán, Armería y la zona circundante a la laguna Cuyutlán, exhiben un mayor riesgo ante fenómenos hidrometeorológicos. Adicionalmente, es importante reconocer que el grupo de acuicultores de este cuerpo de agua, no cuenta con más infraestructura que los propios cercos y en la mayoría de los casos, no existe un permiso formal de las autoridades gubernamentales para realizar el ejercicio de la acuicultura, de tal forma que al existir una contingencia ambiental, sería muy limitada su capacidad de gestión de apoyos gubernamentales. Se considera imperativa la necesidad de profundizar sobre estudios orientados a evaluar factores de riesgo e identificar acciones para minimizar el grado de vulnerabilidad no solo del sector acuícola, sino de los pescadores de al menos cinco sociedades cooperativas que operan en este cuerpo lagunar.

Vivanco-Aranda *et al.* (2011) analizaron los escenarios y estrategias hacia el año 2018, en el sistema de producción de tilapia en Colima, señalando que, a pesar de que en dicho estado, la capacidad de infraestructura existente podría redundar más en el plan de mejora productivo, existen importantes carencias en lo relativo a los atributos de control sanitario, lo que repercute negativamente en los esquemas de producción. En este sentido, se reconoce que la liberación al ambiente de organismos exóticos tratados hormonalmente por acción de malas prácticas y/o a consecuencia de algún evento de inundación en las granjas acuícolas, es sin duda un problema que ha repercutido de manera importante en los ecosistemas existentes, particularmen-



**Figura 3.** Vulnerabilidad de la actividad acuícola en los municipios del Estado de Colima. Mzo: Manzanillo, Col: Colima, Tec: Tecomán, VA: Villa de Alvarez, Arm: Armería, Com: Comala, Min: Minatitlán, Coq: Coquimatlan, Cua: Cuahtémoc, Ixt: Ixtlahuacan (Elaboración propia, con datos de INEGI, 2013).

**Tabla 2.** Rasgos comparativos del nivel de desarrollo en el cultivo de camarón y de tilapia en Colima y su nivel de vulnerabilidad a contingencias asociadas al cambio climático. Nivel de indicadores: 1) elevado, 2) medio, 3) básico, 4) limitado, 5) muy limitado-nulo.

Rasgo	Cultivo de camarón	Cultivo de tilapia
Nivel de desarrollo tecnológico	2	3
Disponibilidad de capital	2	5
Robustez de infraestructura ante eventos extremos	3	4
Flexibilidad y capacidad de adaptación a cambios	3	4
Fragilidad sanitaria	2	3
Nivel de bioseguridad	2	4
Fragilidad financiera ante volatilidad de precios de insumos	2	4
Posibilidad de reiniciar en caso de destrucción	2	5
Nivel general de vulnerabilidad	Media	Alta

te en el reemplazo de especies endémicas. Lo anterior no solo se limita al caso tilapia, como especie invasiva, sino a otras más. Al respecto, de acuerdo a observaciones, estadísticas oficiales y encuestas realizadas en campo, se pudo comprobar un importante aumento de caimanes de las especies *Crocodylus acutus* (Cuvier, 1807) y *Crocodylus moreletii* (Duméril & Bibron, 1851), éste último originario de la costa del Golfo y Caribe de México; así como el efecto invasivo del pez diablo (*Hypostomus* sp.) en las lagunas de Alcazahue y Amela del municipio de Tecomán. De acuerdo a los acuicultores y pescadores de la Laguna Amela, el efecto de *Hypostomus* sp. fue más significativo a partir la 2011 que corresponde al año donde el huracán Jova provocó fuertes inundaciones en la región. Actualmente, en este cuerpo de agua no es posible realizar el cultivo en jaulas de tilapia que por

más de 15 años se realizó exitosamente, debido a la gran abundancia del pez diablo y al incremento en la población de caimanes. Este mismo efecto se incrementa en la Laguna de Alcazahue, por efecto de interconexión de canales de riego e inundación del municipio de Tecomán con mayor número de granjas para cultivo de camarón.

Igualmente durante el huracán Jova, se reportaron lluvias máximas, de gran abundancia por 24 h, de 374,4 mm en Coquimatlán, siendo la mayor precipitación a nivel nacional durante el 2011 (Servicio Meteorológico Nacional, 2011). Además, las características fisiográficas de la superficie del Estado de Colima hacen que las zonas con mayores probabilidades de huracanes, sean las poblaciones de los municipios de Tecomán, Armería y Manzanillo, mismas que han sido históricamente afectadas por este tipo de fenómenos

(Padilla-Lozoya, 2007). Independientemente de las características ambientales/fisiográficas, y considerando los rasgos socioeconómicos de los sub-sectores referidos por Rivera-Arriaga *et al.* (2010) se observó una marcada diferencia en cuanto a niveles de adecuación, siendo el sector tilapia el más vulnerable respecto al sector camarón (Tabla 2), sobre todo en lo relacionado con la carencia de infraestructura necesaria para el procesamiento del producto, tales como plantas de luz, maquinaria, congeladores, así como la comercialización vía cosecha y preparación para el consumo, lo que limita su capacidad de diversificar y comercializar el producto.

De acuerdo a los esquemas de riesgo y factores de vulnerabilidad identificados en el Estado de Colima, se identificó como principal factor la incidencia de huracanes y/o lluvias intensas. En el caso particular de sistemas salobres y marinos se considera necesario implementar un esquema para disminuir descargas de contaminantes orgánicos e inorgánicos. Adicionalmente, debe existir una mayor restricción al otorgamiento de permisos para cultivo en cuerpos de agua de influencia marina. Respecto a la actividad acuícola en aguas interiores, es imperativa la necesidad de delimitar zonas con potencial de riesgo y en su caso proyectar obras ingenieriles de protección; se requiere instrumentar un programa de reconversión tecnológico para el uso integral del pez diablo, y la implementación de medidas de control para su confinamiento en los cuerpos ya existentes, así como la creación de una unidad de manejo para el cocodrilo de pantano y evitar su extensión a ambientes lagunares con potencial acuícola; es necesario implementar un programa de reconversión tecnológica basado en sistemas alternativos de uso eficiente del agua como sería el caso de sistemas de recirculación, paralelo a un plan de tecnologías alternas para el cultivo de especies (preferentemente endémicas) con mayor resistencia a la variabilidad ambiental y que a su vez, no representen riesgos al ambiente y la biodiversidad. Finalmente, se debe implementar tecnologías alternas de la reversión sexual por compuestos hormonales para la producción de tilapia monosexo, como el sexado manual y cultivo de supermachos.

#### AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue realizado dentro del proyecto: "Estrategia regional para reducir la vulnerabilidad y mejorar la capacidad de adaptación al Cambio Climático, en la región occidente de México", que recibió financiamiento del FORDECYT, mediante el convenio 174538.

#### REFERENCIAS

- Anguiano-Cuevas, J.R., A. Olivos-Ortiz, O. Cervantes, I. Azuz-Adeath, N. Ramírez-Álvarez, M.C. Rivera-Rodríguez. 2015. Evaluation of trophic state in the Palo Verde Estuary (Colima, México), action to regulating agricultural activities. *J. Integr. Coast. Zone Manage.*, 15(4): 507-522.
- Barsley, W., C. De Young & C. Brugère. 2013. Vulnerability assessment methodologies: an annotated bibliography for climate change and the fisheries and aquaculture sector. *FAO Fish. Aquacult. Circ.*, 1083, Rome, 43 pp.
- Cabrera, L.B.A. 2009. Implicaciones del cambio de uso de suelo en la biodiversidad de los matorrales xerófilos: un enfoque multiescalar. *Invest. Amb. Cienc. Polit. Pub.*, 1(1): 6-16.
- Castillo-Soriano, F.A., V. Ibarra-Junquera, A. Olivos-Ortiz, F.J. Barragan-Vasquez & A.O. Meyer-Willerer. 2011. Influence of water supply chemistry on white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) culture in low-salinity and zero water exchange ponds. *Pan. Am. J. Aquatic. Sci.*, 5(3): 376-386.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). 2007. Riesgos hidrometeorológicos. Ciclones tropicales y huracanes. Gobierno de México. [<http://www.cenapred.unam.mx>]. Revisado: 23 septiembre 2015.
- Cochrane, K., C. De Young, D. Soto & T. Bahri. 2009. Climate change implications for fisheries and aquaculture. *FAO Fish. Aquacult. Tech Pap.*, 530, Rome, 212 pp.
- Constantino, T., M. Roberto, I. Dávila & R. Hilda. 2011. Una aproximación a la vulnerabilidad y la resiliencia ante eventos hidrometeorológicos extremos en México. *Polit. Cult.*, 36: 15-44.
- Edwards, P. 2015. Aquaculture environment interactions: past, present and likely future trends. *Aquaculture*, 447: 2-14
- Espinoza-Gómez, F.J., I. Arredondo-Jiménez, A. Maldonado-Rodríguez, C. Pérez-Rentería, Ó.A. Newton-Sánchez, E. Chávez-Flores & E. Gómez-Ibarra. 2013. Distribución geográfica de mosquitos adultos (Diptera: Culicidae) en áreas selváticas de Colima, México. *Rev. Mex. Biodivers.*, 84(2): 685-689.
- Ficke, A.D., C.A. Myrick & L.J. Hansen. 2007. Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries. *Rev. Fish Biol. Fish.*, 17(4): 581-613.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2008. Perspectivas alimentarias. [<http://www.fao.org/docrep/010/ai466e/ai466e00.htm>]. Revisado: 21 septiembre 2015.

- Flores-Nava, A. 2010. Una reflexión sobre el impacto del cambio climático en las actividades acuícolas costeras de México. Universidad Autónoma de Campeche, CETY-S Universidad, Gobierno del Estado de Campeche, pp. 319-334.
- Fracchia-Durán, A. & M.A. Liñán-Cabello. 2013. Diversificación y desarrollo sustentable de la acuicultura en Colima. Uso de un modelo multicriterio para la diversificación y manejo sostenible de la acuicultura: caso de estudio. Editorial Académica Española, Saarbrücken, Deutschland/Alemania, 357 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. Climate Change 2001: the scientific basis. Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell & C.A. Johnson (eds.). Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, 881pp.
- Instituto Nacional Electoral (INE). 2006. México. Tercera comunicación nacional ante la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático, INE-SEMARNAT, México, 208 pp.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2015. [[http://www2.inecc.gob.mx/cclimatico/edo\\_sector/estados/amenaza\\_colima.html](http://www2.inecc.gob.mx/cclimatico/edo_sector/estados/amenaza_colima.html)]. Revisado: 18 septiembre 2015.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2009. Boletín de los sistemas estadísticos y de información geográfica. Aguascalientes, 2(3): 62 pp.
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). 2010. [<http://www.inafed.gob.mx/>]. Revisado: 25 agosto 2015.
- Magaña V., J. Matías-Méndez, R. Morales & C. Millán. 2004. Consecuencias presentes y futuras de la variabilidad del cambio climático en México. In: J. Martínez & A. Fernández. Cambio climático: una visión desde México. Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ciudad de México, pp. 204-213.
- Magaña, V. (ed.). 1999. Los impactos de El Niño en México. Universidad Autónoma de México y la Secretaría de Gobernación, México, 229 pp.
- Marcogliese, D.J. 2001. Implications of climate change for parasitism of animals in the aquatic environment. *Can. J. Zool.*, 79(8): 1331-1352.
- Miranda, I., J.L. Valles, R. Sánchez & Z. Álvarez, 2010. Cultivo del camarón marino *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) en agua dulce. *Rev. Cient.*, 20(4): 339-346.
- Padilla-Lozoya, R.P. 2007. El huracán del 59: historia del desastre y reconstrucción de Minatitlán, Colima. Editor UCOL, 180 pp.
- Phelps, R. & T.J. Popma. 2000. Sex reversal of tilapia. In: B.A. Costa-Pierce & J.E. Rakocy (eds.). *Tilapia aquaculture in the Americas*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, 2: 34-59.
- Rivera-Arriaga, E. & I.A. Azuz-Adeath. 2010. La gobernanza de las costas y océanos de México en un clima cambiante. Cambio climático en México: un enfoque costero y marino. Elementos ambientales para tomadores de decisiones, Universidad Autónoma de Campeche-CETyS-Universidad-Gobierno del Estado de Campeche, Campeche, pp. 739-772.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2013. Programa de apoyo a la inversión en equipamiento e infraestructura. Evaluación Estatal del funcionamiento y la operación 2012, en el Estado de Colima. [<http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/colima/Documents/Matrices%20de%20Indicadores/MIR%202013/Evaluaci%C3%B3n%20PAIEI%202012%20Colima.pdf>]. Revisado: 19 septiembre 2015.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (SAGARPA-CONAPESCA). 2013. Anuario Estadístico de Pesca y Acuicultura. [[http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona\\_anuario\\_estadistico\\_de\\_pesca](http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona_anuario_estadistico_de_pesca)]. Revisado: 21 septiembre 2015.
- Seingier, G., I. Espejel, J.L. Fermán & O. Delgado. 2010. Vulnerabilidad de las poblaciones costeras ante la peligrosidad natural, enfoque estatal y municipal. In: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche-Gual & G.J. Villalobos-Zapata. (eds.). Cambio climático en México, un enfoque costero y marino. Universidad Autónoma de Campeche, Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche, pp. 669-688.
- Servicio Meteorológico Nacional. 2011. Reporte del clima en México. Reporte anual, CONAGUA, México, 16 pp.
- Secretaría de Salud México (SSA). 2001. Programa de acción: enfermedades transmitidas por vector. Secretaría de Salud, México D.F., 74 pp.
- Swing, T.G. 2003. What future for the oceans? *New York, USA. Foreign Affairs* September-October, pp.139-52.
- Vivanco-Aranda, M., F.J. Mojica & F.J. Martínez-Cordero. 2011. Foresight analysis of tilapia supply chains (Sistema Producto) in four states in Mexico: escenarios and strategies for 2018. *Technol. Forecast. Soc. Change*, 78(3): 481-497.