

Revista Iberoamericana de Acuicultura
Universidad Técnica de Manabí
Ecuador



Vol. 1 No. 1
2019



**AQUA
CIBUS**

CYTED
CENCIA Y TECNOLOGIA PARA EL DESARROLLO

AquaTechnics

AquaTechnica

AquaTechnica es una revista dirigida a la comunidad científica en general interesada en el área de acuicultura, de libre acceso y de publicación gratuita, que difunde contribuciones científicas y técnicas originales en acuicultura, producto de investigaciones principalmente realizadas en Iberoamérica, pero no limitadas a ella. Las modalidades de publicación son: artículos originales, revisiones, notas o comunicaciones cortas, ensayos y manuales técnicos. Escritos en español, inglés o portugués.

Consejo editorial

Editor César Lodeiros Seijo 

Coeditora Vanessa Acosta 

Editora Web Marycruz García González 

Comité editorial

Ana María Santana Piñeros  | Edgar Zapata Vivenes  | Ever Morales  |
Fernando Ramón Isea León  | José Alió  | Jorge Sonnenholzner  | Juan
Carlos Vélez Chica  | Mauro Nirchio  | Rodolfo Patricio Panta Vélez  |
Yanis Cruz Quintana 

Consejo asesor

Alber GJ Tacon, Aquatic Farms Ltd, Kaneohe, USA.

Alessandro Lovatelli, Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Santiago, Chile.

Alicia Toranzo, Dpto. Microbiología y Parasitología, Universidad de Santiago de Compostela, España.

Armando García-Ortega, College of Agriculture, Forestry & Natural Resource Management, University of Hawai'i at Hilo, USA.

Dolors Furones, Instituto para la Investigación y Tecnología, Agroalimentarias de Cataluña, España.

Eduardo Uribe, Universidad del Católica del Norte, Chile.

Enric Gisbert, Programa de Acuicultura, Instituto para la Investigación y Tecnología Agroalimentarias de Cataluña, España.

Jenny Rodríguez, Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.

Jesús L. Romalde, Dpto. Microbiología y Parasitología, Universidad de Santiago de Compostela, España.

Jesus Simal-Gandara, Grupo de Investigaciones Agroambientales y Alimentarias, Universidad de Vigo, España.

Jorge Cuellar Anjel, Global Consulting Inc, Colombia.

Jorge Galindo-Villegas, Nord University, Bodø, Norway.

José Manuel Mazón, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, México.

Juan Barja, Dpto. Microbiología y Parasitología, Universidad de Santiago de Compostela, España.

Manuel Rey Méndez, Universidad de Santiago de Compostela, España.

Marcos De Donato, Tecnológico de Monterrey, Escuela de Ingenierías y Ciencias, Queretaro, México.

Osmar Nusetti, Dpto. Biología, Universidad de Oriente, Venezuela.

Sandra Shumway, Connecticut Institute for Resilience & Climate, Connecticut University, USA.

Sergio Nates, Feedsagrisolutions, USA.

URL:

Correos:

<https://revistas.utm.edu.ec/index.php/aquatechnica>

cesarlodeirosseijo@yahoo.es | editor-aquatechnica@utm.edu.ec |

vanessaacosta@yahoo.com | coeditor-aquatechnica@utm.edu.ec |

aquatechnica@gmail.com

Portada Vol. 1 No. 1 :

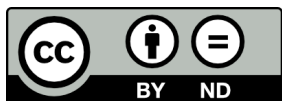
Diseño de portada y foto de Ing. José Alberto Zambrano Mora, Diseñador Gráfico, Dpto. Relaciones Públicas, Universidad Técnica de Manabí (UTM). Cultivo experimental de híbrido de tilapia roja en la Escuela de Acuicultura y Pesquería, Facultad de Ciencias Veterinarias de la UTM, a cargo de M. Sc. Luis Treviño.

Envíos y proceso de evaluación

Inicialmente (*AquaTechnica* está en proceso de su administración a través de OJS) los manuscritos serán directamente al editor y/o co-editor (cesarlodeirosseijo@yahoo.es; editor-aquatechnica@utm.edu.ec y coeditor-aquatechnica@utm.edu.ec; vanessaacosta@yahoo.com), anexando el manuscrito y una carta de presentación, indicando la importancia y originalidad del trabajo, exponiendo que todos los autores conocen y desean que el manuscrito sea evaluado y publicado por *AquaTechnica* y que no ha sido ni publicado, ni enviado a otra revista científica. Adicionalmente, en la comunicación el autor (es) debe enviar una lista de hasta cuatro posibles árbitros o revisores con sus respectivas direcciones y correos electrónicos.

El material recibido será evaluado en cuanto a su pertinencia por el Comité Editorial y como parte del proceso inicial de evaluación, los manuscritos serán sometidos a detección de plagio a través de *software* especializado para ello, para posteriormente someter el manuscrito a evaluación mediante el arbitraje por pares. Se recurrirá a evaluadores preferiblemente externos a la entidad o institución a la cual pertenece el autor (es) del manuscrito a revisar. El editor y/o co-editor tomará una decisión una vez que dispongan de al menos 2 revisiones del manuscrito. La decisión podrá ser, según determinen los revisores: no aceptado, aceptado sin correcciones, aceptado con correcciones menores, o bien devuelto para el autor para una reorganización con correcciones mayores. El manuscrito corregido para una segunda evaluación, una vez realizadas las correcciones, debe ir acompañado con una lista indicativa de los cambios y correcciones realizadas. En caso de no aceptar alguna sugerencia debe presentarse los argumentos que avalen la decisión de los autores. El Editor podrá tomar una decisión de aceptar las correcciones realizadas y re-someter o no el manuscrito a una nueva evaluación por los pares o parte de ellos.

AquaTechnica expresa que el contenido de las contribuciones es de la entera responsabilidad de los autores, quienes mantienen sus derechos de autoría, y de ninguna manera de la revista o de las entidades para las cuales trabajan los autores. La revista tiene una licencia *Creative Commons* la cual permite compartir, copiar, distribuir y comunicar públicamente los contenidos bajo las siguientes condiciones:



Atribución: Debe reconocer los créditos de cada uno de los contenidos de la manera especificada por el licenciante.

Sin obras derivadas: No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

Casa editora:

Universidad Técnica de Manabí

Vicente Véliz Briones – Rector.

Hipatia Delgado Demera - Vicerrectora Académica.

Luz Cecilia García - Directora de Instituto de Investigación.

Santiago Quiroz - Director Instituto de Posgrado.

Edis Macías Rodríguez - Decano de Facultad de Ciencias Veterinarias.

José Guerrero Casado - Vicedecano de Investigación y Posgrado Facultad de Ciencias Veterinarias.

Juan Carlos Vélez Chica - Vicedecano Escuela de Acuicultura Pesquerías.

Marjorie Idrovo Vishuete - Coordinadora Académica Escuela de Acuicultura y Pesquerías.

Ana María Santana Piñeros - Coordinadora Investigación Escuela de Acuicultura y Pesquerías.

Editorial

A pesar del control de la natalidad, el aumento poblacional mundial es eminente; consultando datos oficiales de la Naciones Unidas vemos que en el último medio siglo se ha quintuplicado, y se espera llegar en el año 2075 a los 10.000 millones de habitantes (un mundo en población más, igual al que existía en 1987). Independientemente, de los avatares demográficos, e inclusive de la capacidad de carga del planeta, la visión que debemos tener es como, entre otras cosas, podemos alimentar a esa masa poblacional humana, teniendo en cuenta que es nuestra responsabilidad como países iberoamericanos, ya que el crecimiento poblacional proviene, en su mayoría, de países en vías de desarrollo. No obstante, no es solo una cuestión de números totales, sino de la calidad de nuestras poblaciones, ya que, hoy en día, de los 7.750 millones de personas, se estima la existencia con casi 1000 millones de personas desnutridas, y 1700 millones malnutridas, lo cual hace imperativo y de responsabilidad histórica la producción de alimentos pero nutritivos y sanos, como los productos acuícolas los cuales son señalados como unos de los más importantes para paliar la alta demanda poblacional; sin embargo, nuestros cuerpos de agua sean continentales o marinos sufren, en la mayoría, intervenciones que hacen que la pesca no pueda subsanar las demandas, siendo la acuicultura parte de la solución, la cual hoy suple más de la mitad de la producción acuícola.

La acuicultura de hoy se encuentra basada en unas pocas especies, las cuales han sido estudiadas para poder manipular su reproducción y poder aplicar tecnologías de cultivo. En nuestro país, Ecuador, por ejemplo hoy en día se producen más de 540.000 t/año por acuicultura, pero prácticamente esa producción está soportada con el cultivo de nuestra especie de camarón o langostino *Penaeus vannamei*, dejando a un lado otras especies que pudieran ser partícipes de una producción mayor; esta singularidad en la producción no es particular de Ecuador, sino que se repite en prácticamente en todos los países iberoamericanos, por lo que es indudable que se necesita mayor investigación en el cultivo de especies no tradicionales, siendo muy importante poner el conocimiento y tecnologías nuevas a disposición de todos por los canales de la difusión científica y tecnológica, permitiendo mayor alcance y promoción en la diversificación de la acuicultura.

La Universidad Técnica de Manabí a través de su Escuela de Acuicultura y futura Facultad de Acuicultura y Ciencias Marinas, ha potenciado sus investigaciones y formación (pregrado y postgrado) en acuicultura, teniendo en cuenta ello, y sintiendo cierto vacío en la difusión científica de las investigaciones y tecnologías de acuicultura realizada en Iberoamérica, tras un análisis con la red del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo AquaCibus con su objetivo de fortalecer la acuicultura en Iberoamérica en calidad, competitividad y sostenibilidad, crea la revista *AquaTechnica*, a cargo de un grupo de especialistas de la UTM y de otras de importancia en Ecuador, y asesores internacionales de elevado prestigio, para ocupar un espacio receptivo para la validación y difusión de las investigaciones en acuicultura desde y para Iberoamérica, aunque no limitada a ella, contribuyendo con la gran responsabilidad, histórica y del momento, de gestionar tecnología para la producción de alimento para la seguridad alimentaria del planeta.

No pretendemos que *AquaTechnica* sea una revista científica más que solo valida y difunde conocimiento nuevo, sino que sea herramienta fundamental del desarrollo de la acuicultura iberoamericana, al difundir tecnologías e innovaciones, así como análisis críticos a manera de ensayos para encausar más investigación y progreso, por ello en *AquaTechnica* se pueden publicar no solo artículos y notas científicas, sino también ensayos de un tema particular con análisis de datos oficiales valederos, y manuales técnicos que puedan permitir mayor utilidad práctica, teniendo en cuenta no solo las especies tradicionales de producción acuícola, sino las múltiples especies emergentes para consolidar la acuicultura en los países iberoamericanos.

Para dar comienzo a *AquaTechnica* tenemos el análisis por el experto FAO Carlos Wurman sobre el progreso, los desafíos y las oportunidades que tiene la acuicultura latinoamericana y del Caribe, como abre boca a las siguientes aportaciones científicas para el desarrollo de la acuicultura en Iberoamérica y donde queda reflejado contundentemente, que la diversificación de la acuicultura es tarea futura y necesaria y que el esfuerzo ya realizado y por realizar dará frutos próximamente, es allí donde *AquaTechnica* tiene una gran responsabilidad como vía de difusión del conocimiento y de las tecnologías sistemáticamente comprobadas.



Dr. Vicente Véliz Briones
Rector de la
Universidad Técnica
de Manabí

Contenido/Contents Vol. 1 No. 1

Pág.

Ensayo/ Essay

Acuicultura en América Latina y El Caribe: Progresos, oportunidades y desafíos

Aquaculture in Latin America and the Caribbean: progresses, opportunities and challenges

Carlos Wurmman G.

1-21

Short communication | Comunicación corta

Are 45 years of reproductive isolation enough to prevent the amplification of mitochondrial genes in the Pacific oyster?

¿Son suficientes 45 años de aislamiento reproductivo para evitar la amplificación de genes mitocondriales en el ostión del Pacífico?

Felipe Reynaga-Franco, José Manuel Grijalva-Chon, Jorge Eduardo Chávez-Villalba, Reina Castro-Longoria, José Alfredo Arreola-Lizárraga, Ramón Héctor Barraza-Guardado

22-27

Artículo original | Original article

Hanging culture of juveniles of the winged oyster *Pteria sterna* in two baskets of different design

Cultivo suspendido de juveniles de la ostra alada *Pteria sterna* en dos cestas de diferente diseño

Luis Freitas, Franklin Jara, María Gregori, Jimmy Villón, Adrián Márquez, Daniel Rodríguez-

Pesantes, César Lodeiros

28-39

Artículo original | Original article

Actividad antioxidante de un aceite vegetal enriquecido con la microalga cultivada *Dunaliella salina* (Chlorophyceae)

Antioxidant activity of oil vegetable enriched with the cultured microalgae *Dunaliella salina* (Chlorophyceae)

Miguel Guevara, Edgar Zapata-Vívenes, María León, Mercedes Acosta

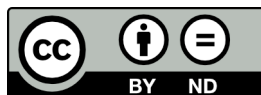
40-46

Artículo original | Original article

Presuntas hipnosporas de *Perkinsus* sp. en la almeja *Megapitaria squalida* del golfo de California
Presumptive *Perkinsus* sp. hypnospores in the clam *Megapitaria squalida* from the Gulf of California

Andrés Martín Góngora-Gómez, Juan Francisco Arzola-González, Lizeth Carolina Villanueva-Fonseca, Felipa Sotelo-López, Juan Antonio Hernández-Sepúlveda, Manuel García-Ulloa

47-52



Acuicultura en América Latina y El Caribe: Progresos, oportunidades y desafíos

Aquaculture in Latin America and the Caribbean: Progresses, opportunities and challenges

Carlos Wurmman G.

AWARD Ltda., Consultores Internacionales, Acuicultura & Pesca, Santiago de Chile

Correspondencia: Carlos Wurmman G. E-mail: carwur@gtmail.com; awardchile@gmail.com

Ensayo/ Essay

Palabras clave

Acuicultura
América Latina
Oportunidades
Desafíos

RESUMEN | La acuicultura en América Latina y el Caribe continúa su avance, alcanzándose en 2017 una producción de 2,9 MM de Tons, valoradas en 17.400 MM de dólares de 2018. Sin embargo, el ritmo del crecimiento viene disminuyendo a lo largo del tiempo. En ese año la región representa un 3,7% del volumen de las cosechas mundiales, pero un más relevante 7% de su valor, por trabajar principalmente con especies altamente apreciadas en los mercados. Esta realidad contrasta con una pesca extractiva que disminuye fuertemente desde los años de 1990, y actualmente implica que los cultivos signifiquen un 21% del desembarque regional. Conviven en esta zona un sinnúmero de modelos productivos de gran y pequeña escala, orientados al mercado doméstico o a las exportaciones, con Estados más o menos activos y presentes en los procesos de desarrollo; con diversos niveles de competitividad, y con un generalizado bajo consumo de productos pesqueros por persona, nivel que se encuentra entre los menores del mundo. La región presenta innumerables potencialidades en su acuicultura, y actualmente vuelca sus principales esfuerzos de I+D hacia la diversificación productiva con especies nativas. También es evidente que problemas de gobernanza, relacionamiento con las comunidades locales y nacionales, litigios con otros usuarios de las aguas y los bordes costeros, direccionamiento de la investigación aplicada y situaciones medioambientales pendientes conspiran contra un mejor desempeño de las cosechas, las que de todas formas deberían aumentar hasta unas 4,9 a 5,5 MM de Tons en 2030, situación que implica una ralentización del ritmo productivo reciente, y crecimientos interanuales de entre 4% y 5% hasta ese año. En una región cuya acuicultura todavía está muy concentrada en no más de cinco países y otras tantas especies, y que dispone de amplios espacios e infraestructura razonable, las oportunidades futuras son muy amplias y los éxitos a alcanzar se relacionarán estrechamente con la aplicación de medidas que superen las limitantes recién mencionadas, y muy especialmente, lo relacionado a la gobernanza.

Keywords

Aquaculture
Latin America
Opportunities
Challenges

ABSTRACT | Aquaculture in Latin America and the Caribbean continues its progress, reaching a production of 2.9 MM Tons in 2017, valued at US\$17,400 MM, dollars of 2018. However, the pace of growth has slowed down over time. In that year the region accounts for 3.7% of the volume of world crops, but a more relevant 7% of its value, as it works mainly with high-valued species. This reality contrasts with fishing landings that have declined sharply since the 1990s, implying that currently aquaculture crops account for 21% of total regional landing. A number of large and small-scale production models, oriented to the domestic market or exports, with States more or less active in the development processes coexist in this area, with varying levels of competitiveness, and with

a widespread low consumption of fishery products per person, a level that is among the lowest in the world. The region has a great potential in aquaculture production, and currently turns its main R&D efforts towards productive diversification with native species. It is also clear that several problems of governance, of relations with local and national communities, of litigation with other users of the waters and coastal borders, on the focus of applied research and on environmental issues, etc. still remain to be solved, conspiring with better crop performance, which should increase to about 4.9 to 5.5 MM Tons by 2030, a situation that involves a slowdown in recent production rates to annual growth of between 4% and 5% through that year. In a region whose aquaculture is still highly concentrated in no more than five countries and the same number of species, which has ample spaces and reasonable infrastructure, future opportunities are very broad and successes to be achieved will be closely linked with the implementation of measures that properly address the above-mentioned limitations, particularly those related to governance.

INTRODUCCIÓN

América Latina y el Caribe (ALC) es considerada una ‘unidad de análisis’ por situaciones geográficas, históricas y/o convenciones de las Naciones Unidas, aunque dista mucho de mostrar realidades o perspectivas similares en sus diversos países miembros y subregiones (América Central, del Sur y el Caribe). La región ha destacado en el pasado por su pesca extractiva, especialmente de peces pelágicos menores y atunes, y otras como el calamar, langostinos y merluzas. En las últimas décadas, eso sí, transita a pasos cambiantes desde estas actividades, que en general han declinado o bien muestran signos de agotamiento, hacia una acuicultura, que si bien avanza, hasta la fecha solo ha logrado consolidarse y destacar en unos pocos países de la zona.

Sus desembarques máximos, sobre las 24 MM de Tons en 1994, disminuyen drásticamente hasta 14,1 MM de Tons en 2017. Por el contrario, entre esas fechas su acuicultura progresa desde 358 M Tons a 2,9 MM de Tons, y los cultivos, que significan un 1,5% del desembarque regional en 1994, aumentaron notablemente hasta representar un 20,8% en 2017.

ALC también ha avanzado en su aporte a los cultivos mundiales, desde un 1,7% de esos totales en 1994, hasta un más significativo 3,7% en 2017. Su valor, de 17.400 MM de dólares¹ en 2017, equivale al 7% del total mundial en ese año². La mayor significación de ALC en términos de valor se debe al alto precio de las principales especies cultivadas, como salmón, trucha, camarón y tilapia, el que supera al de la media de todos los continentes, salvo Oceanía, región que sólo tiene una limitada producción de cultivos (214 M Tons en 2017). Este hecho es más relevante aún en el valor de los cultivos marinos, donde ALC aporta un 14,7% a los totales mundiales, mientras las especies de agua dulce solo significa un 1,5% en 2017. En pesca extractiva, ALC representa un 12,1% de los volúmenes mundiales, o un 13,2% de la pesca marina y un 4,4% de la en aguas continentales.

Un 85,3% de las cosechas acuícolas de esta región en 2017 provienen de América del Sur (79,3% de la pesca extractiva), un 13,5% de América Central (18,2% de la pesca) y solo un 1,2% del Caribe (2,4% de la pesca). A esta diversidad en producción, se agrega las de mercado. Aquí, muchos países basan sus cultivos en las exportaciones (por ejemplo, Honduras, Ecuador y Chile), mientras otros, como México y Brasil, son grandes importadores.

También, algunos países basan sus cultivos acuícolas en grandes emprendimientos empresariales, sin apoyos gubernamentales de importancia (caso de Chile), mientras otros, (como Brasil), destacan hasta la fecha por su producción en pequeña escala, apoyada fuertemente por el Estado. En lugares como Argentina,

¹ Todas las cifras monetarias están expresadas en dólares de 2018, salvo que se exprese lo contrario

² Las cifras mencionadas a nivel regional y mundial no incluyen plantas acuáticas, mamíferos, productos varios como esponjas, conchas, corales, etc. ni ejemplares que las estadísticas mundiales registran en ‘unidades’ y no en peso.

los cultivos no reciben del todo una atención preferente y no todos los modelos productivos en uso son competitivos sin una ayuda directa o indirecta del Estado, con lo que existen dudas sobre la sustentabilidad futura de, al menos, parte de esta industria en diferentes países.

Estas situaciones y variados sistemas de gobernanza sectorial y sistemas políticos regionales imprimen un ritmo interesante a su producción pesquera, que en lo sustantivo muestra una pesca extractiva que cae fuertemente en las últimas décadas y una acuicultura en desarrollo, con un porvenir promisorio, de mejorarse los estándares de gestión y de dar cabida a sus múltiples requerimientos.

Se suma a lo anterior un fluido panorama mundial de cambio tecnológico, aún no bien incorporado al ideario regional; variadas situaciones en el relacionamiento con las comunidades locales, con problemas aún sin resolver, y presiones/gestiones de diversa fuerza e índole por mejorar los estándares ambientales y de sostenibilidad de la producción. También destaca en ALC un marcado cambio en la orientación de la I+D sectorial, actualmente enfocada en desarrollar tecnologías para el cultivo de especies nativas, revirtiendo el énfasis anterior con especies introducidas.

Dependiendo muchos países de la zona del comercio internacional de los productos pesqueros, preocupa que la región aún no se haga cargo a cabalidad de los desafíos de la irrupción de nuevas tecnologías acuícolas a nivel mundial, ni que se apliquen modelos productivos que garanticen la competitividad y sostenibilidad de sus cultivos acuáticos a mediano y largo plazo. En principio, salvo excepciones, las unidades de cultivo locales no alcanzan niveles de producción que aprovechen íntegramente las economías de escala en inversiones ni costos, y en cuestiones técnicas, salvo en el caso del camarón, no parece darse suficiente atención a la irrupción de cultivos marinos con agua bombeada en tierra, bajo recirculación, ni menos, a los cultivos marinos en zonas de alta energía, oceánicas u ‘offshore’. Otro tanto sucede con “la resiembra” del borde costero y en agua dulce, para suplementar las decrecientes disponibilidades de recursos silvestres y mejorar las expectativas laborales de pescadores artesanales, que luchan por mantener sus actividades tradicionales.

También, la región muestra carencias en los liderazgos sectoriales, en la preparación de sus funcionarios y en el diseño de estrategias y normativas de desarrollo a largo plazo, prevaleciendo habitualmente condicionantes de menor jerarquía y de corto alcance, lo que genera pérdidas de dinamismo, mal uso de recursos humanos y financieros y mucha frustración, por existir la sensación de que se avanza menos de los que sería posible, o con dificultades que podrían evitarse. Así, por ejemplo, conseguir permisos de cultivo marino en muchos países de ALC pueda requerir varios años de tramitaciones; campea en la zona la pesca ilegal y descontrolada, y se transgreden sistemáticamente las normativas vigentes, sin que se logre corregir ni controlar errores y/o estos excesos, con un grave desprestigio de la autoridad. En tanto, el sector privado intenta mejorar sus estándares productivos y la competitividad, pero descuida visiones y estrategias a largo plazo que aseguren su sustentabilidad, y los pescadores artesanales siguen sujetos a la ayuda y al ‘asistencialismo’ estatal, que no ha logrado sacarlos de un estado de postración y decadencia.

Es frustrante que estas realidades regionales convivan con el innegable potencial de ALC para aumentar sus cultivos -aunque no la pesca extractiva tradicional - y en consecuencia, ante esta dicotomía, parece evidente que debieran reforzarse los ímpetus para realizar estas expectativas, que pueden significar fuentes de empleo y riqueza para muchos, y mejoras en la seguridad alimentaria. Acá, entonces, resta por ver si la inventiva, el esfuerzo, el nivel de organización y la concertación social y política en la región dan pie para alcanzar metas mucho más ambiciosas que las logradas hasta la fecha.

Asia es el continente dominante en acuicultivos, con un 79% de las cosechas mundiales en 1985-1987 y un impresionante 89% en 2015-2017. En esos mismos treinta años, ese continente aporta un 90% del *crecimiento medio anual* en las cosechas mundiales (unas 2.030.000 Tons anuales), pero es interesante indicar que del 10% del crecimiento restante, ALC aporta la mayor parte (4%), con una media anual de 94.000 Tons, mientras África coopera con 63.000 Tons anuales (2,8% del total), Europa, con 61.000 Tons anuales (2,7% del total) y Oceanía con tan solo 6.100 Tons (0,3%). Resulta entonces atractivo verificar que,

de continuarse con las tendencias productivas recientes, ALC debería convertirse en el segundo productor 'regional' de la acuicultura mundial en algún momento del trienio 2021-2023, superando de esta forma a Europa, que actualmente ocupa ese sitio.

Conviven así promesas y dificultades en esta región, que habrá que observar detenidamente en el tiempo, para ir verificando si el actuar de gobiernos y del sector productivo son capaces de ir ampliando fronteras y conducen a un mejor destino a la acuicultura de ALC. Los párrafos siguientes, entonces, pretenden mostrar algunos aspectos estructurales del quehacer acuícola regional, para invitar, con posterioridad, a una discusión propositiva respecto a su futuro en el horizonte cercano.

Valga mencionar que las cifras estadísticas que se utilizan como base en este análisis provienen muy mayoritariamente del sistema FISHSTAT de FAO, en su última versión del año 2019. Igualmente es atinente indicar que el autor ha explorado estos temas con anterioridad (Wurmann 2011, 2017) y que este documento actualiza y profundiza algunos aspectos que se ha considerado conveniente destacar.

LA SUBREGIÓN: ALGUNAS CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

ALC es una región de unos 21 MM de km², que equivalen a un 14% de la superficie terrestre mundial. Su población en 2018 se estima en 652 MM de habitantes (8,5% del total mundial), un 81% de la cual vive en zonas urbanas (55%, a nivel mundial). Un 59% de la población regional corresponde a Brasil, México y Argentina, que ocupan un 65% del territorio de la región. La densidad poblacional en ALC, de 32,4 hab/Km² en 2018 es muy baja y se compara con una media mundial de 58,7 hab/Km². Sin embargo, el Caribe muestra altas densidades, con 195,4 hab/km², cifra que supera a Asia, con 146,5 hab/km². La población en ALC alcanzará unos 718 MM de habitantes en 2030, y 780 MM en 2050, o un 8,4% y 8,0% de la población mundial a esas fechas, respectivamente.

Datos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2019) exponen que sobre un 93% de la población regional sobre 15 años está alfabetizada, y normalmente el gasto público en educación fluctúa entre un 4% y 6% del Producto Geográfico Bruto (PGB) anual de 2017 en los diversos países. Ese mismo año, estimaba que un 10,2% de la población regional vivía en extrema pobreza, y un 30,2% en situación de pobreza, siendo este problema mucho más agudo en zonas rurales (CEPAL, 2019). El PIB bruto medio por habitante regional en 2017 alcanza a U\$ 8.851 (CEPAL, 2019), con valores de U\$ 17.181 en Uruguay, y U\$ 15.247 en Chile, los países mejor rankeados de la región, y solo superados por dos territorios insulares del Caribe.

LA PESCA Y ACUICULTURA REGIONAL EN CIFRAS

En 2017, la región desembarca poco más de 14 MM de Tons (Tabla 1). Un 79% corresponde a pesca extractiva y el 21% restante a cultivos. Como se indicó, la sobreexplotación, especialmente de peces pelágicos menores, ha hecho disminuir sensiblemente la pesca convencional en ALC desde un máximo histórico de 24,1 MM de Tons en 1994 y unos 21 MM Tons en 2000. De momento, los cultivos sólo suman 2,9 MM de Tons (2017). Con todo, su crecimiento continuo y las bajas en la pesca permite que la acuicultura, que representaban un 5% del desembarque regional en el trienio 2000-2002, aumente su significación a casi un 12% en el 2009-2011 y a un 20% en el 2015-2017 (Fig. 1). Así, una de cada cinco toneladas de pesca desembarcadas en la región ya proviene de los acuícultivos, aunque mundialmente, esta proporción ya es de casi un 46% (2015-2017).

En 2017, la acuicultura en ALC tiene un valor de primera venta de U\$ 17.412 MM, con un claro predominio de América del Sur, que aporta un 85% del volumen y un 90% del valor total en 2015-2017. Predominan acá los cultivos marinos, con un 69% del volumen y un 86% del valor de la acuicultura regional (2015-2017) mientras sucede lo inverso a nivel mundial, sobresaliendo allí las cosechas en agua dulce, con un 63% del volumen y un 60% del valor del mismo trienio (Tabla 2).

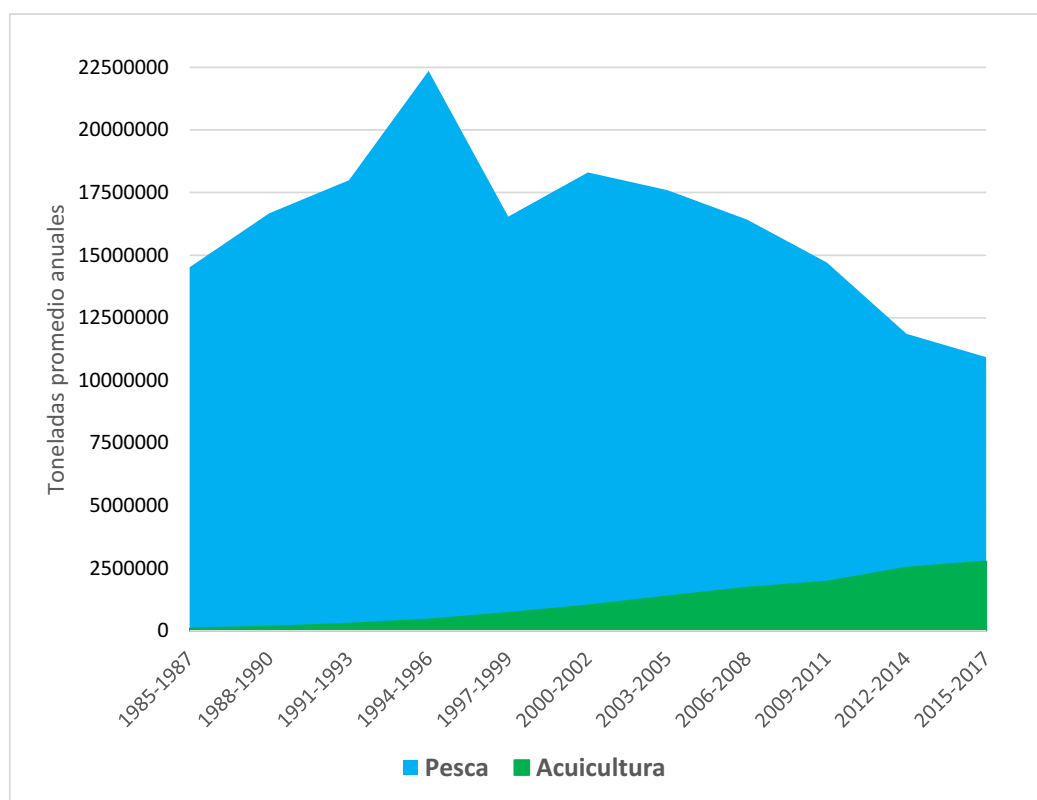


Figura 1 ALC: Pesca extractiva y cosechas acuícolas representadas por trienios, 1985-2017.

Fuente: Cálculos del estudio, sobre cifras FAO, FISHSTAT, 2019.

La acuicultura regional representa un 3,6% del volumen y un 6,4% del valor de los cultivos mundiales en 2015-2017, y la pesca extractiva de la zona, un 12% de esos volúmenes, con lo que el desembarque total de ALC aporta un 8,2% del desembarque mundial en 2015-2017 (15,3% en 2000-2002, y 11,4% en 2009-2011).

Tabla 1 Producción pesquera en ALC y a nivel mundial, 2000-2017 en Miles de Ton.

Año	América Latina y el Caribe															Mundo				
	Desembarque total				Pesca extractiva				Acuicultura							Total	Pesca extractiva	Acuicultura		
	TOTAL	Caribe	América Central	América del Sur	TOTAL	Caribe	América Central	América del Sur	TOTAL	Caribe	América Central	América del Sur	Marina	Continental	Total			Marina	Continental	
2000	20.680	242	1.787	18.651	19.841	202	1.698	17.940	839	40	89	710	568	271	125.995	93.577	32.418	13.636	18.782	
2005	20.212	206	2.062	17.944	18.703	176	1.815	16.712	1.508	30	246	1.232	1.133	376	136.742	92.444	44.298	18.177	26.121	
2010	13.892	272	2.480	11.140	12.037	234	2.241	9.561	1.855	37	239	1.579	1.254	601	144.876	87.133	57.743	21.684	36.059	
2015	14.090	311	2.193	11.586	11.429	274	1.837	9.318	2.661	36	356	2.268	1.836	825	164.313	91.540	72.773	26.864	45.909	
2016	12.881	277	2.237	10.366	10.173	243	1.880	8.050	2.708	34	358	2.316	1.829	879	165.844	89.418	76.426	26.326	48.100	
2017	14.124	309	2.433	11.382	11.180	272	2.037	8.871	2.943	37	396	2.511	2.051	892	172.642	92.508	80.134	30.625	49.509	
Promedios anuales de cada trienio																				
2000-2002	19.316	243	1.929	17.144	18.305	206	1.816	16.282	1.012	37	113	862	715	297	126.419	91.813	34.606	14.673	19.933	
2003-2005	18.970	235	1.940	16.795	17.596	202	1.741	15.652	1.374	32	198	1.143	1.017	357	132.899	91.193	41.707	17.339	24.367	
2006-2008	18.142	243	2.409	15.490	16.418	201	2.134	14.083	1.724	42	275	1.407	1.298	426	140.091	90.053	50.038	19.936	30.101	
2009-2011	16.671	274	2.485	13.912	14.707	237	2.228	12.242	1.964	36	257	1.671	1.363	600	146.798	89.234	57.564	21.836	35.728	
2012-2014	14.379	259	2.289	11.832	11.859	227	1.989	9.643	2.521	32	300	2.189	1.736	785	156.409	89.434	66.976	24.856	42.125	
2015-2017	13.698	299	2.288	11.111	10.927	263	1.918	8.746	2.771	36	370	2.365	1.905	866	167.599	91.155	76.444	28.605	47.839	

Fuente: Cálculos del estudio, sobre cifras FAO, FISHSTAT, 2019

Tabla 2 Valor de la acuicultura en ALC y a nivel mundial, 2000-2017. Valores expresados en Millones de US\$ de 2018.

Periodo	Acuicultura en ALC												Acuicultura mundial		
	Total acuicultura, ALC				Acuicultura Marina				Acuicultura Continental				Total	Acuicultura Marina	Acuicultura Continental
	TOTAL	Caribe	América Central	América del Sur	TOTAL	Caribe	América Central	América del Sur	TOTAL	Caribe	América Central	América del Sur			
2000	4.031	89	583	3.358	3.259	25	488	2.746	772	64	95	613	72.661	37.850	34.811
2005	7.305	86	1.056	6.163	6.340	32	873	5.436	965	54	183	727	84.786	42.013	42.772
2010	9.029	72	953	8.003	7.015	24	726	6.265	2.013	48	227	1.739	143.458	57.735	85.724
2015	13.328	62	1.363	11.903	11.294	24	1.002	10.268	2.034	38	361	1.634	218.700	85.409	133.292
2016	14.970	63	1.454	13.453	12.818	26	1.092	11.701	2.152	37	362	1.753	242.598	96.958	145.640
2017	17.412	67	1.579	15.766	15.178	27	1.187	13.964	2.234	40	392	1.802	247.964	103.013	144.952
Promedios anuales de cada periodo															
2000-2002	4.757	90	750	3.917	3.903	27	629	3.247	853	62	121	671	74.164	38.471	35.694
2003-2005	6.724	85	952	5.687	5.761	28	776	4.958	963	57	177	729	82.262	40.250	42.012
2006-2008	8.840	93	1.132	7.615	7.753	30	923	6.800	1.087	64	209	815	104.419	47.007	57.412
2009-2011	10.099	73	1.013	9.013	8.093	23	769	7.300	2.006	50	244	1.713	143.966	58.448	85.518
2012-2014	13.441	51	1.168	12.222	11.030	19	809	10.203	2.410	32	359	2.019	189.055	75.438	113.617
2015-2017	15.237	64	1.466	13.707	13.097	25	1.094	11.978	2.140	38	372	1.730	236.421	95.126	141.294

Fuente: Cálculos del estudio, sobre cifras FAO, FISHSTAT, 2019

Salvo por Oceanía, que la supera en valor medio, ALC destaca por ser la subregión con los mayores precios unitarios (ex-granja) en la acuicultura mundial (Tabla 3). También durante 2015-2017, el precio unitario de los cultivos marinos en ALC supera casi en un 180% a aquel de la producción en aguas continentales, mientras a nivel mundial, esta diferencia es habitualmente cercana a un 10%. Este alto valor medio de los cultivos de ALC permite que, en el trienio mencionado, el subcontinente tenga una significación mundial en valor que supera en un 78% a aquella en términos de volumen.

Tabla 3 Valor por kilo de los productos de la acuicultura en ALC y a nivel mundial, 2000-2017, valores expresados en U\$ de 2018.

Trienio	Continente/Región										ALC	
	Africa	Américas	Asia	Europa	Oceanía	Mundo	ALC	Caribe	América Central	América del Sur	Ac. Marina	Ac. Continental
1985-1987	1,8	4,2	2,9	3,6	2,9	3,1	10,1	3,6	4,8	12,2	13,4	4,3
1988-1990	3,0	4,8	3,0	4,3	4,1	3,3	8,6	3,7	5,0	9,8	10,6	4,3
1991-1993	3,4	4,7	2,9	4,4	3,3	3,1	7,4	3,6	7,1	7,7	8,8	3,7
1994-1996	3,5	4,9	2,4	4,0	3,6	2,6	6,5	2,5	6,9	6,8	7,7	3,4
1997-1999	3,6	4,5	2,2	3,6	3,0	2,4	5,5	1,9	6,9	5,6	6,6	3,0
2000-2002	3,3	4,0	1,9	3,3	4,4	2,1	4,7	2,4	6,6	4,5	5,5	2,9
2003-2005	2,2	4,1	1,7	3,6	5,3	2,0	4,9	2,6	4,8	5,0	5,7	2,7
2006-2008	2,3	4,5	1,8	4,0	5,8	2,1	5,1	2,2	4,1	5,4	6,0	2,6
2009-2011	2,4	4,7	2,3	4,3	5,7	2,5	5,1	2,0	3,9	5,4	5,9	3,3
2012-2014	2,2	4,9	2,6	4,4	7,4	2,8	5,3	1,6	3,9	5,6	6,4	3,1
2015-2017	1,9	5,2	2,9	4,7	8,9	3,1	5,5	1,8	4,0	5,8	6,9	2,5

Fuente: Cálculos del estudio, sobre cifras FAO, FISHSTAT, 2019.

CULTIVO POR PAÍS Y SUBREGIÓN

Doce de los 46 países y territorios de ALC muestran producciones de cultivo por sobre las 10M Tons anuales en 2015-2017 (Tabla 4). Ellos representan el 99% de los volúmenes y valores cosechados en el trienio, porcentajes levemente superiores a los observados en 2000-2002. Los primeros cinco países-Chile, Brasil, Ecuador, México y Colombia- encabezan la acuicultura regional, con un 88% del volumen y un 91% del valor en 2015-2017, mostrando el alto nivel de concentración de la acuicultura regional en un reducido número de actores. De hecho, Chile y Brasil, por sí solos, concentran el 61% de los volúmenes y un 67% de los valores de las cosechas en ALC en el último trienio, aunque en 2000-2002 su significación era algo mayor en volumen (70%), y menor en valor (60%).

En 5 países de ALC, la acuicultura ya representa más de un 50% del desembarque total, y en otros 6, los cultivos aportan entre un 30% y 50% de esos totales, mientras en los restantes 26 las cosechas son de un menor impacto en 2015-2017. Eso sí, en 2000-2002, ningún país de la región mostraba una acuicultura que incidiera en más de un 50% del desembarque y en solo 4, los aportes a la pesca total fluctuaban entre 30% y 50%.

También es importante indicar que en 2000-2002 un 86,1% de los países de ALC cosechaban menos de 50 M Tons anuales, aportando solo un 10,9% del total cultivado en la región (Figura 2). En el otro extremo, el 2,8% de los países producían sobre 250 M Tons anuales, y representaban un 49,5% de las cosechas de ese trienio.

Esta situación se ha modificado fuertemente hasta 2015-2017, cuando 8,1% de los países productores exceden las 250 M Tons anuales y aportan un 94% de la cosecha total, mientras un 81,1% de las naciones producen menos de 50 M Tons anuales y aportan un poco expresivo 1,3% de lo cultivado.

Tabla 4 ALC: Volúmenes y valores de la producción acuícola por país, y contribución de los cultivos al desembarque total, 2000-2017.

País (País)	Volúmenes, M Tons				Valores, MM US 2018				% aporte de la acuic. al desembarque total			
	2000-2002	2009-2011	2012-2014	2015-2017	2000-2002	2009-2011	2012-2014	2015-2017	2000-2002	2009-2011	2012-2014	2015-2017
Chile	501	816	1.106	1.095	2.342	5.298	7.855	8.881	10,8	21,0	33,7	38,7
Brasil	209	404	507	587	516	1.387	1.422	1.394	22,5	33,8	39,3	45,5
Ecuador	66	267	341	447	499	1.329	1.730	2.501	11,6	36,3	37,7	40,1
México	68	140	150	225	436	471	552	808	4,7	8,2	8,7	12,8
Colombia	59	82	90	98	379	315	284	255	30,2	47,1	53,6	55,0
Perú	9	75	104	97	78	579	703	471	0,1	1,1	2,1	2,2
Honduras	13	36	56	57	103	162	240	242	41,9	74,9	83,7	84,2
Cuba	28	31	29	31	45	42	38	46	35,4	54,5	55,6	56,6
Venezuela	16	19	28	25	81	70	165	108	3,5	7,2	11,6	8,4
Guatemala	6	20	20	24	37	111	96	125	15,6	49,4	47,8	58,9
Nicaragua	6	17	27	24	43	64	61	94	21,8	31,5	39,5	34,1
Costa Rica	13	26	28	21	68	133	138	108	27,2	60,6	63,6	59,2
Panamá	3	7	9	9	18	36	45	58	1,1	3,4	4,8	6,3
Paraguay	1	3	6	9	2	7	24	46	2,1	16,4	28,9	39,7
El Salvador	0	5	3	8	2	11	11	23	2,2	8,8	5,9	12,7
Argentina	2	3	4	4	13	15	25	29	0,2	0,3	0,4	0,5
Bolivia	0	1	1	3	1	4	6	18	5,9	10,9	14,4	31,7
Rep.Dominicana	3	2	2	2	16	10	6	9	16,7	9,8	10,4	14,3
Belize	4	6	7	2	41	24	25	9	7,9	1,8	6,7	2,1
Haití	0	0	1	1	0	1	2	3	0,2	2,5	4,9	7,3
Jamaica	5	3	1	1	22	19	4	4	30,4	18,9	5,7	6,3
Guyana	1	0	0	0	2	2	1	2	1,2	0,9	0,6	1,2
Suriname	0	0	0	0	4	0	1	1	1,4	0,2	0,2	0,2
Uruguay	0	0	0	0	1	6	7	3	0,0	0,1	0,3	0,2
Martinica	0	0	0	0	1	1	1	0	1,0	1,2	1,5	1,2
Barbados	-	0	0	0	-	0	0	0	-	0,2	0,7	1,5
Guadalupe	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,3	0,5
Santa Lucía	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,3	0,7	1,0
Puerto Rico	0	0	0	0	4	0	0	0	7,0	1,3	1,0	1,0
Trinidad y Tabago	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Antigua y Barbuda	-	0	0	0	-	0	0	0	-	0,1	0,2	0,3
Bahamas	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,0	0,0	0,1
I.Virgenes (EE.UU.)	-	0	0	0	-	0	0	0	-	0,9	1,7	1,7
Dominica	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	1,9	0,8	0,7
Guayana Francesa	0	0	0	0	1	0	0	0	0,7	0,1	0,1	0,1
Saint Kitts y Nevis	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,0	0,0	0,0
I.Turcas y Caicos	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,0	0,0	0,0
Islas Malvinas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Antillas Neerlandesas	0	-	-	-	0	-	-	-	0,0	-	-	-
Aruba	-	0	-	-	-	0	-	-	-	0,4	-	-
Bonaire/S.Eust./Saba	-	0	-	-	-	0	-	-	-	0,4	-	-
Granada	0	-	-	-	0	-	-	-	0,1	-	-	-
Totals	1.012	1.964	2.521	2.771	4.757	10.099	13.441	15.237	5,2	11,8	17,5	20,2
Am. Central	113	257	300	370	750	1.013	1.168	1.466	5,9	10,4	13,1	16,2
Am. del Sur	862	1.671	2.189	2.365	3.917	9.013	12.222	13.707	5,0	12,0	18,5	21,3
Caribe	37	36	32	36	90	73	51	64	15,1	13,2	12,5	11,9

Fuente: Cifras básicas de FAO, Fishstat, 2019 y cálculos del estudio/ M Tons= miles de toneladas

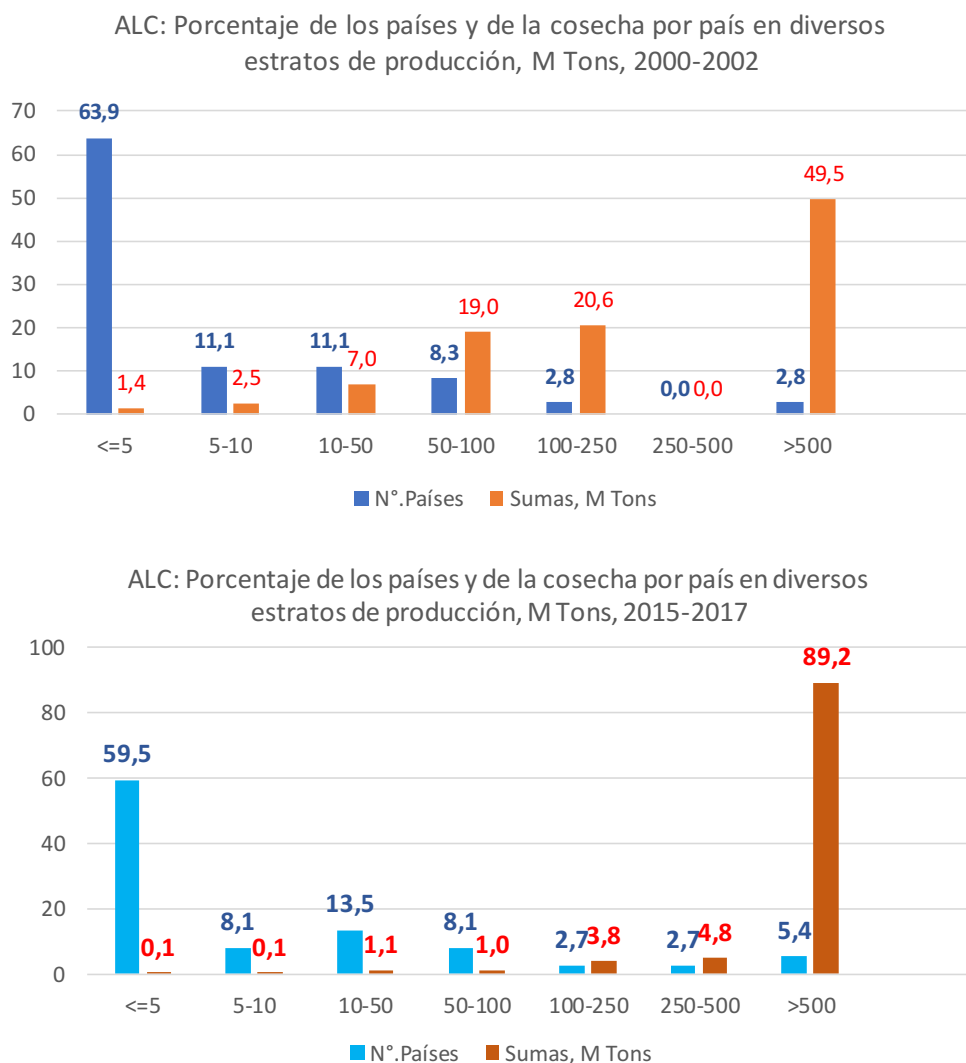


Figura 2 ALC: Porcentajes de países y de la Cosecha por país, en diversos niveles de producción anuales, en 2000-2002 y 2015-2017.

Fuente: Elaboración y cálculos del estudio, sobre cifras FAO, FISHTAT 2019/ M Tons= miles de toneladas

Claramente, existe actualmente un mayor número de naciones que aumentan sus cosechas anuales, y ellas concentran últimamente una mayor proporción de lo producido, que lo observado a comienzos de los años 2000.

El hecho trascendente es que una altísima proporción de los países muestren cosechas menores a 5 M Tons anuales (63,9% en 2000-2002 y 59,5% en 2015-2017) lo que muestra un subcontinente, que en su mayor parte, solo da sus primeros pasos en acuicultura. A esos niveles de producción es difícil emprender actividades comerciales ambiciosas, y esos países deberán esperar todavía por tal vez una o dos décadas, para participar significativamente en el comercio de exportación y/o incidir en las disponibilidades locales, quedando sujetos, en el intertanto, a importaciones de otros orígenes que compitan en los respectivos mercados internos, dificultando el crecimiento de los cultivos locales.

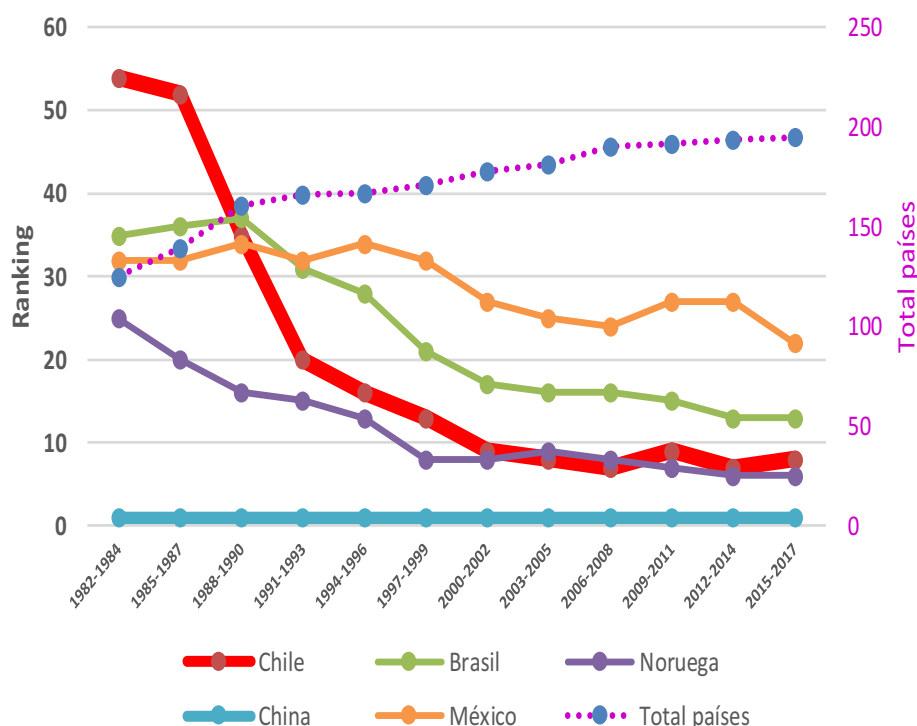


Figura 3 Ranking de países acuicultores, según nivel de cosecha anual, 1982-2017

Fuente: Cálculos del estudio, sobre cifras FAO, FISHSTAT, 2019

Los países de la región con acuicultura más desarrollada disponen de condiciones muy favorables para comercializar sus cosechas domésticamente o exportando, en la medida que sean competitivos y estén bien organizados. De momento, Chile es el único país de ALC entre los diez primeros países acuicultores del mundo, y junto a Noruega y Egipto, son las únicas naciones no asiáticas de este grupo, que encabeza China (Figura 3).

Es interesante mencionar que Tailandia, que con 897 M Tons cosechadas, ocupa el décimo lugar entre los principales países acuicultores, mientras los nueve restantes sobrepasan el millón de toneladas de cosecha anual en 2015-2017. China produce 45,5 MM de Tons anuales en el periodo, e India, Indonesia, Viet Nam y Bangladesh superan los 2 MM de Tons anuales, con Noruega, Egipto, Chile y Myanmar cosechando entre 1 y 2 MM de Tons anuales. Así, además de Tailandia, existen 23 países en el mundo cuyas cosechas anuales fluctúan entre 100 M y 1 MM de Tons en 2015-2017, cifras que son indicativas de la severa competencia internacional en los mercados pesqueros, con lo que si se desea producir en forma sostenible y perdurable en el tiempo, la globalización de comercio obliga a preocuparse de la efectividad y competitividad en toda la cadena productiva de la acuicultura.

CULTIVO POR MEDIO AMBIENTE

En ALC predominan los cultivos marinos por sobre los continentales, con un 69% de las cosechas totales en 2015-2017 (Tabla 5). Lo opuesto ocurre a nivel global, donde solo un 37% de la acuicultura mundial es de origen marino.

Desde 2000-2002 está aumentando la incidencia de los cultivos marinos en el Caribe, mientras en Centro y Sud América, y en ALC como un todo, éstos tienden a perder relevancia ligeramente, desde esos inicios.

Tabla 5 ALC: Cultivos marinos y continentales por subregión, e incidencias en los totales cosechado, 2000-2017.

Trienio	ALC, Totales			Acuicultura Marina				Acuicultura Continental			
	Total	Ac.Marina	Ac.Continental	Total	Caribe	Am.Central	Am.Sur	Total	Caribe	Am.Central	Am.Sur
2000-2002	1.011.898	715.248	296.649	715.248	4.271	73.383	637.595	296.649	32.525	39.601	224.523
2003-2005	1.373.527	1.016.584	356.944	1.016.584	4.139	126.563	885.882	356.944	28.206	71.929	256.809
2006-2008	1.723.755	1.297.590	426.165	1.297.590	6.244	195.239	1.096.108	426.165	35.603	80.094	310.468
2009-2011	1.963.945	1.363.469	600.476	1.363.469	5.691	187.537	1.170.241	600.476	30.531	69.672	500.273
2012-2014	2.520.603	1.735.743	784.861	1.735.743	5.840	188.046	1.541.857	784.861	26.542	111.593	646.725
2015-2017	2.770.804	1.905.299	865.505	1.905.299	7.037	236.271	1.661.990	865.505	28.591	133.774	703.140
Porcentaje del total cultivado				% del total de cada subregión				% del total de cada subregión			
2000-2002	100	71	29	71	12	65	74	29	88	35	26
2003-2005	100	74	26	74	13	64	78	26	87	36	22
2006-2008	100	75	25	75	15	71	78	25	85	29	22
2009-2011	100	69	31	69	16	73	70	31	84	27	30
2012-2014	100	69	31	69	18	63	70	31	82	37	30
2015-2017	100	69	31	69	20	64	70	31	80	36	30

Fuente: Cálculos del estudio, sobre cifras FAO, FISHSTAT, 2019/Tons= toneladas

Mundialmente tanto como en ALC es ya evidente que, en agua dulce como marina, la obtención de permisos para realizar cultivos está siendo cada vez más demorosa y cara, situación que justifica desde ahora, y lo hará con mayor énfasis a futuro, que la acuicultura se vaya desplazando paulatinamente hacia producciones en tierra, con o sin recirculación, y hacia centros ubicados en zonas oceánicas expuestas, donde los efectos ambientales indeseables de estas producciones, tanto como los conflictos con otros usuarios del borde costero pueden mitigarse, o bien, desaparecer del todo. Así, países como Chile, que han basado al menos parte de su competitividad en salmonicultura en cultivos en zonas costeras protegidas de vientos y oleajes, verán aumentar su competencia en el futuro cercano, sea en tierra como en ambiente oceánico. De hecho, empresas noruegas ya incursionan en gran escala con cultivos de salmón bajo recirculación en Florida, Estados Unidos. Por otra parte, China ampliará su base productiva bajo recirculación tanto como en zonas de aguas frías del Mar Amarillo y con equipamiento para zonas de alta energía (al igual que Noruega), y posiblemente, países como el mismo Estados Unidos, Brasil y otros también se hagan parte de estos esfuerzos, para disminuir sus niveles de importación, usando tecnologías que si bien actualmente requieren de altas inversiones iniciales y habitualmente producen a costos mayores, a futuro deberían poder competir mano a mano con la acuicultura marina costera tradicional. Esto no aplica solamente al salmón, pues recientemente también se ha sabido de los planes para producir en tierra, y bajo recirculación, camarón ecuatoriano en Escocia y otros lugares no tradicionales, existiendo otro sinnúmero de ejemplos que avalan esta tendencia. Estas realidades modificarán paulatinamente el emplazamiento de la acuicultura mundial, y también deberá ocurrir que la acuicultura costera de mediana y gran escala vaya desplazándose a otros sitios, como se ha indicado, reservando los espacios costeros tradicionales a cultivos de menor escala, a cargo de las comunidades locales.

Sin dudas, también, el cambio climático, que ya se evidencia en todas las latitudes, modificará las condiciones de trabajo en muchos cultivos marinos, con lo que también a futuro deberán ajustarse las tecnologías y/o emplazamientos en la acuicultura, para acomodarse a las nuevas y desafiantes circunstancias.

ESPECIES CULTIVADAS

En la pesca extractiva de ALC dominan los peces (80% del desembarque silvestre en 2015-2017), pero estas especies significan solo un 0,4% del volumen cultivado en el trienio, predominando aquí las cosechas de los peces diádromos como el salmón (32%), los peces de agua dulce (28%) y los crustáceos (27%). Si embargo, los cultivos representen más de un 50% del desembarque total de peces diádromos, de los de agua dulce, y en crustáceos (2015-2017). En el caso de los moluscos, la acuicultura también contribuye con un relevante 25% de la producción de ese rubro. Solo en peces marinos y en otras especies la región no muestra aportes proporcionalmente destacables hasta la fecha (Tabla 6).

Tabla 6 ALC y Mundo: Composición del desembarque total y de la acuicultura expresados en miles de toneladas y porcentaje, por división de especies CEIUAPA, 2000-2017.

Periodo	Crustáceos	Peces diádromos	Peces agua dulce	Peces marinos	Prod anim.varios	Moluscos	Total
ALC							
Desembarque total, Tons*1.000							
2000-2002	553,3	461,3	749,1	16.600,7	62,0	890,2	19.316,5
2003-2005	686,0	575,8	846,7	15.699,9	50,1	1.110,9	18.969,5
2006-2008	833,2	649,4	907,8	14.086,5	44,3	1.620,7	18.141,9
2009-2011	898,9	612,5	1.020,9	12.665,0	47,7	1.425,9	16.670,9
2012-2014	1.017,6	914,3	1.159,5	9.625,6	107,0	1.555,5	14.379,5
2015-2017	1.306,5	892,0	1.306,0	8.754,2	83,0	1.356,5	13.698,2
Acuicultura, Tons*1.000							
2000-2002	193,7	459,6	277,2	2,7	0,7	77,9	1.011,9
2003-2005	337,6	574,0	332,6	3,8	0,8	124,9	1.373,5
2006-2008	460,6	647,4	398,1	4,7	0,8	212,2	1.723,8
2009-2011	515,3	607,5	530,6	4,4	0,7	305,4	1.963,9
2012-2014	598,7	904,4	677,4	8,0	0,6	331,5	2.520,6
2015-2017	749,5	881,0	786,8	11,1	0,5	341,9	2.770,8
Aporte de los cultivos al desembarque total, %							
2000-2002	35,0	99,6	37,0	0,0	1,2	8,8	5,2
2003-2005	49,2	99,7	39,3	0,0	1,5	11,2	7,2
2006-2008	55,3	99,7	43,8	0,0	1,7	13,1	9,5
2009-2011	57,3	99,2	52,0	0,0	1,5	21,4	11,8
2012-2014	58,8	98,9	58,4	0,1	0,6	21,3	17,5
2015-2017	57,4	98,8	60,2	0,1	0,6	25,2	20,2
MUNDO							
Desembarque total, Tons*1.000							
2000-2002	8.089,6	4.024,9	25.445,1	70.436,5	750,3	17.672,1	126.418,7
2003-2005	9.047,1	4.388,1	29.750,8	70.139,8	847,8	18.725,9	132.899,5
2006-2008	10.612,6	4.845,5	35.670,8	67.664,0	1.026,5	20.271,3	140.090,7
2009-2011	11.502,0	5.572,4	41.191,2	66.963,2	1.264,5	20.304,3	146.797,7
2012-2014	12.728,6	6.451,9	47.635,2	66.028,3	1.420,1	22.145,2	156.409,3
2015-2017	14.407,5	7.030,8	53.419,4	68.002,2	1.456,1	23.283,3	167.599,4
Acuicultura, Tons*1.000							
2000-2002	1.961,7	2.446,1	18.655,5	1.063,4	175,5	10.303,8	34.605,9
2003-2005	3.390,2	2.791,5	22.065,5	1.315,5	378,3	11.765,7	41.706,7
2006-2008	4.721,7	3.195,8	26.932,0	1.767,9	529,3	12.890,8	50.037,5
2009-2011	5.526,2	3.728,4	31.992,3	1.929,0	742,5	13.645,2	57.563,6
2012-2014	6.328,9	4.653,9	37.967,3	2.225,4	813,0	14.987,1	66.975,8
2015-2017	7.746,5	5.166,8	43.267,7	2.708,2	881,7	16.673,1	76.444,0
Aporte de los cultivos al desembarque total, %							
2000-2002	24,2	60,8	73,3	1,5	23,4	58,3	27,4
2003-2005	37,5	63,6	74,2	1,9	44,6	62,8	31,4
2006-2008	44,5	66,0	75,5	2,6	51,6	63,6	35,7
2009-2011	48,0	66,9	77,7	2,9	58,7	67,2	39,2
2012-2014	49,7	72,1	79,7	3,4	57,3	67,7	42,8
2015-2017	53,8	73,5	81,0	4,0	60,6	71,6	45,6

Fuente: Cálculos del estudio, sobre cifras FAO, FISHSTAT, 2019/Tons=toneladas.

CEIUAPA: Clasificación Estadística Internacional Uniforme de los Animales y Plantas Acuáticos

A nivel mundial, el aporte de la acuicultura en ese trienio es más importante, pues contribuye con más del 50% de la producción en todas las categorías (81% en el caso de peces continentales, 74% en peces diádomos), a excepción de los peces marinos, donde la tecnología productiva, lo extendido de los procesos de desarrollo tecnológico (15 o más años), los costos de la I+D y la dificultad para obtener permisos de trabajo todavía limitan fuertemente la producción controlada, y en 2015-2017 sus cosechas solo aportan el 0,1% del desembarque total de estas especies.

Salvo en el cultivo de peces marinos, América del Sur predomina ampliamente en su aporte a la acuicultura regional (Tabla 7). Ese predominio por sobre América Central y el Caribe tiende a ser constante y/o creciente, salvo en el caso mencionado, tanto como con animales acuáticos diversos. Como se ha mencionado, la producción en ALC está fuertemente concentrada en el camarón ecuatoriano, salmones-trucha, tilapias y choritos (mejillones).

Tabla 7 ALC: Cultivos acuícolas por subregión y división de especies CEIUAPA 2000-2017.

Especies	Subregión	Volúmenes, M Tons						Valores, MM US 2018					
		2000-2002	2003-2005	2006-2008	2009-2011	2012-2014	2015-2017	2000-2002	2003-2005	2006-2008	2009-2011	2012-2014	2015-2017
Crustáceos	Total	193,7	337,6	460,6	515,3	598,7	749,5	1.469,5	1.917,6	2.318,6	2.591,6	3.007,1	3.976,3
	Am. Central	70,8	120,6	189,0	180,8	172,6	214,8	617,2	723,2	885,5	741,8	747,2	1.008,8
	Am.del Sur	120,0	214,2	266,8	330,9	422,0	529,1	825,4	1.167,4	1.401,8	1.826,3	2.244,0	2.944,6
	Caribe	2,9	2,8	4,8	3,6	4,1	5,6	26,9	27,0	31,4	23,6	15,8	22,9
	Total	459,6	574,0	647,4	607,5	904,4	881,0	2.249,9	3.317,8	4.578,8	4.502,6	6.029,1	6.727,5
Peces diádomos	Am. Central	3,4	4,4	5,3	6,7	10,5	9,8	20,2	17,5	24,2	27,5	48,4	43,9
	Am.del Sur	456,2	569,6	642,1	600,7	894,0	871,1	2.229,7	3.300,3	4.554,5	4.475,1	5.980,8	6.683,7
	Caribe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	277,2	332,6	398,1	530,6	677,4	786,8	728,4	832,6	941,1	1.578,6	1.814,8	1.798,8
	Am. Central	36,3	67,3	73,7	62,5	100,8	123,7	99,9	157,2	178,2	214,0	308,4	327,1
Peces de agua dulce	Am.del Sur	208,5	237,3	288,9	437,7	550,1	634,6	568,8	621,3	705,4	1.320,8	1.474,8	1.434,0
	Caribe	32,4	28,0	35,5	30,4	26,5	28,5	59,7	54,1	57,4	43,8	31,6	37,7
	Total	2,7	3,8	4,7	4,4	8,0	11,1	32,4	54,5	44,1	30,2	60,0	73,2
	Am. Central	0,5	3,1	3,9	3,3	7,2	10,4	7,5	47,6	37,5	22,3	54,2	68,7
	Am.del Sur	2,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	24,5	4,6	3,5	4,1	3,5	2,2
Peces marinos	Caribe	0,0	0,3	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	2,3	3,1	3,8	2,2	2,2
	Total	0,7	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	6,5	5,3	5,2	4,9	3,7	2,1
	Am. Central	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,5	0,8	1,0	0,6	1,1	0,7
	Am.del Sur	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,3	6,0	4,5	4,2	4,3	2,6	1,3
	Total	77,9	124,9	212,2	305,4	331,5	341,9	269,9	596,2	952,4	1.391,2	2.526,0	2.659,0
Animales acuáticos diversos	Am. Central	1,9	3,0	3,3	3,8	8,4	11,0	4,4	5,9	5,6	6,8	8,4	16,4
	Am.del Sur	74,5	120,7	207,9	300,1	321,6	329,8	262,9	588,5	945,6	1.382,6	2.516,1	2.641,5
	Caribe	1,5	1,2	1,0	1,6	1,4	1,1	2,6	1,8	1,2	1,7	1,4	1,1
	Total	1.011,9	1.373,5	1.723,8	1.963,9	2.520,6	2.770,8	4.756,8	6.724,0	8.840,1	10.099,0	13.440,6	15.236,8
	Total	1.011,9	1.373,5	1.723,8	1.963,9	2.520,6	2.770,8	4.756,8	6.724,0	8.840,1	10.099,0	13.440,6	15.236,8

Fuente: Cálculos del estudio, sobre cifras FAO, FISHSTAT, 2019/ M Tons= miles de toneladas; MM U\$= millones de dolares americanos

Las cinco especies más importantes concentran un 77% del volumen y 84% del valor de las cosechas de ALC en 2015-2017, mostrando esta vez una fuerte concentración de la acuicultura en pocas especies (Tabla 8), la mayor parte ‘exóticas’, aunque en buena medida ellas fueran introducidos hace ya décadas, si no, hace muchos años. El camarón ecuatoriano es una de las especies predilectas en la región, y sus cosechas seguirán aumentando en Ecuador y varios otros países, especialmente ahora que China está aumentando su consumo interno, importando posiblemente unas 800 M Tons en 2019, cifra con la que sobrepasará a los Estados Unidos como el principal importador de la especie (Shrimp News, 2019). La producción de salmón en la región también seguirá aumentando, ante una fuerte demanda mundial, y Chile está especialmente bien dotado para estos efectos, más allá de las consideraciones mencionadas sobre su efectividad productiva a largo plazo. Con tilapias y mejillones debería ocurrir otro tanto, con lo que no es difícil predecir que, en cuestiones de volumen, estas pocas especies continuarán dominando el panorama acuícola regional en el horizonte previsible, mientras ALC continua con el desarrollo tecnológico para producir especies autóctonas, proceso que requerirá más de una década para alcanzar resultados de algún impacto económico.

Tabla 8 ALC: Principales especies cultivadas, volúmenes y valores, según volumen 2015-2017, Periodo 2000 al 2017.

Orden	Especie	Nombre Científico	División CEUAPA	Grupo principal	Volúmenes cultivados, Miles de Tons				Valores cultivados, Millones US 2018			
					2000-2002	2006-2008	2012-2014	2015-2017	2000-2002	2006-2008	2012-2014	2015-2017
1	Camarón patiblanco	Penaeus vannamei	Crustáceos	CRUSTACEA	186,9	459,4	598,3	749,2	1.413,0	2.302,6	3.003,9	3.973,8
2	Salmón del Atlántico	Salmo salar	Peces diádomos	PISCES	228,8	365,5	512,2	585,0	1.172,8	2.924,2	3.703,5	4.807,1
3	Tilapia nep	Oreochromis (=Tilapia) spp	Peces de agua dulce	PISCES	70,3	125,2	271,1	363,3	244,9	322,3	621,3	686,3
4	Chorito	Mytilus chilensis	Moluscos	MOLLUSCA	33,3	155,8	241,4	282,7	56,1	499,2	1.855,6	2.274,3
5	Trucha arco iris	Oncorhynchus mykiss	Peces diádomos	PISCES	116,9	175,2	236,0	161,8	526,3	1.158,9	1.549,8	1.075,4
6	Salmón plateado	Oncorhynchus kisutch	Peces diádomos	PISCES	110,9	105,3	155,2	134,1	531,3	485,0	764,7	842,3
7	Cachama	Colossoma macropomum	Peces de agua dulce	PISCES	23,0	47,5	113,7	130,3	74,3	128,9	324,4	277,0
8	Tilapia del Nilo	Oreochromis niloticus	Peces de agua dulce	PISCES	35,2	82,0	101,0	98,4	114,7	221,8	338,0	359,8
9	Pacotana, híbrido	P. mesopotamicus x C. macropomum	Peces de agua dulce	PISCES	12,4	12,4	36,2	34,4	37,8	30,3	85,8	76,8
10	Cachama blanca	Piaractus brachipomus	Peces de agua dulce	PISCES	10,1	2,9	22,8	24,3	39,9	8,5	68,6	55,8
11	Ostión abanico	Argopecten purpuratus	Moluscos	MOLLUSCA	22,1	34,4	54,2	22,4	179,6	403,0	539,2	244,6
12	Ciprínidos nep	Cyprinidae	Peces de agua dulce	PISCES	0,0	11,3	22,1	20,0	0,0	33,1	54,7	43,3
13	Mejillón de roca sudamericano	Perna perna	Moluscos	MOLLUSCA	10,6	11,7	18,9	18,3	8,1	10,1	29,0	22,2
14	Siluroideos de agua dulce nep	Siluroidei	Peces de agua dulce	PISCES	-	-	15,7	16,8	-	-	60,0	55,9
15	Paco	Piaractus mesopotamicus	Peces de agua dulce	PISCES	6,1	13,4	16,2	16,3	22,8	40,5	51,4	53,9
16	Otros	Otros	Otros	Otros	145,2	121,7	105,8	113,6	335,1	271,8	390,6	388,2
Total					1.011,9	1.723,8	2.520,6	2.770,8	4.756,8	8.840,1	13.440,6	15.236,8

Fuente: Cálculos del estudio, sobre cifras FAO, FISHSTAT, 2019

DIVERSIFICACIÓN Y COMPETITIVIDAD

Es predecible que en las próximas dos décadas, y en lo principal, la acuicultura en ALC seguirá concentrándose en las cosechas de salmónidos, camarón, tilapia y mejillones. Sin perjuicio de esto, el creciente esfuerzo de I+D con especies nativas irá dando frutos en los próximos 20 años, modificando, en parte, y poco a poco, la estructura productiva actual, al incorporar nuevas especies a la producción comercial.

Es bueno insistir en que, los periodos de desarrollo de nuevas tecnologías, y particularmente con peces marinos y crustáceos, son muy extendidos y alcanzan entre 10 y 20 años. Estos plazos y los enormes costos asociados hacen difícil imaginar un despegue demasiado acelerado del cultivo de nuevas especies nativas con real impacto comercial, especialmente si se trata de especies marinas. Se suma a estas circunstancias que el principal apoyo al desarrollo tecnológico sectorial de la región proviene del sector público, cuyas autoridades cambian periódicamente, generando discontinuidades en el financiamiento y en la conducción estratégica. Por otra parte, las especies nativas no son necesariamente conocidas en todos los mercados, y su venta masiva, más allá de fronteras regionales, nacionales y/o continentales puede resultar demorosa, cara y/o problemática, debiendo invertirse cuantiosas sumas en promociones sistemáticas y consistentes para su introducción ante nuevos consumidores. Así, el proceso de diversificación productiva al que está abocada la región no será fácil ni de corto aliento y requerirá de ingentes esfuerzos y recursos financieros, siendo conveniente y necesario recurrir a mayores aportes del sector privado, el cual hasta ahora ha tenido una participación limitada en el proceso diversificador.

En cuestión de mercados, más allá de los efectos saludables de la ingesta de productos pesqueros, y de la dinámica del proceso de diversificación productiva recién mencionado, que favorecen el desarrollo del consumo, la producción de cerdo y aves en ALC continúa avanzando a pasos muy acelerados y competitivos, desafiando permanentemente al sector pesquero en la preferencia de los consumidores. Así, para aumentar el consumo pesquero en la región y las exportaciones, es conveniente intensificar los esfuerzos en la diversificación productiva y prestar atención a las necesidades y requerimientos de los mercados, de manera de ganar su favoritismo, esta vez, con productos -ojalá- de menor valor relativo, de calidad estandarizada y disponibles durante la mayor parte del año.

No debe olvidarse que ALC es una región donde el consumo por habitante de productos pesqueros está entre los más bajos del mundo, alcanzando sólo unos 10 kg por habitante y año, frente a más de 20 kg, como promedio global. Acá, es bien sabido que, a pesar de los índices de pobreza existentes, la región tiene un marcado favoritismo histórico por las carnes rojas, y especialmente por el vacuno, aunque crecientemente haya aumentado la ingesta de aves y cerdo, situación que hace difícil pensar en aumentos sustantivos de los niveles de demanda doméstica por productos pesqueros en plazos breves.

Como se ha indicado, también, y dado que entre un 30% y 40% de la producción pesquera mundial se transa internacionalmente, el trabajo de diversificación de las cosechas en ALC debe necesariamente hacerse asegurando los niveles de competitividad de las nuevas producciones, sabiendo que éstas enfrentarán crecientemente ofertas pesqueras de otras latitudes, a precios muy desafiantes.

En este último sentido, preocupa la situación de la acuicultura de pequeña escala, o familiar, donde el productor rural generalmente no produce las semillas o juveniles que utiliza, y se dedica mayormente a la ‘engorda’ de ejemplares hasta su cosecha. Estos acuicultores tampoco participan habitualmente en la venta ‘activa’ de sus productos, limitándose preferentemente a comercializarlos directamente en sus vecindades, o bien, si se trata de clientes de otros destinos, vendiéndolos a través de intermediarios, que se apropian de una alta proporción del precio que paga el consumidor final, en desmedro de la participación del acuicultor. Por estas restricciones en ambos extremos de la cadena de valor, estos productores ven limitados sus ingresos y también son vulnerables frente a cambios en los mercados, y/o ante variaciones en el valor de las monedas, etc. Por esto, las políticas de sustento de la acuicultura de pequeña escala en el continente deben recibir especial atención para que, junto a programas de asistencia técnica y organizacional, el pequeño productor pueda desenvolverse en forma cada vez más autónoma y sustentable.

En relación al mercado, la acuicultura muestra atributos más atractivos que la pesca extractiva. Las cosechas permiten regular mejor la oferta a lo largo del año, extendiendo la disponibilidad de los productos más allá de lo que ofrece la pesca silvestre. Igualmente, la acuicultura ofrece productos muy frescos, de tamaños más uniformes, de calidad excelente y controlable, y a costos conocidos y menos fluctuantes que en las actividades pesqueras. Estos atributos, tanto como el creciente nivel de urbanización en la región y las mejoras en la educación del consumidor y en las técnicas de manufactura y comercialización, permitirán ampliar la demanda pesquera futura. Es igualmente definitorio que la pesca extractiva mundial, que no aumenta desde 1994, en particular en ambiente marino, ha alcanzado niveles que no serán sobrepasados sensiblemente a futuro, en buena medida por su sobreexplotación. Esta situación requiere que los cultivos provean prácticamente toda la demanda adicional que desde ahora y en el futuro se asociará al crecimiento de la población, al aumento de los ingresos, de los niveles educativos, etc., con lo que la acuicultura del futuro cercano no debe verse limitada por factores de mercado, más allá de asuntos relativos a la calidad y/o competitividad de la oferta.

Se garantiza así también para la acuicultura en ALC, un horizonte productivo sin mayores restricciones de demanda en el mediano plazo. Desde el punto de vista de la oferta, eso sí, es probable que la producción de la acuicultura se vea ralentizada en la región (y a nivel mundial) por la creciente complejidad en la obtención de permisos de cultivo, por conflictos con otros usuarios del borde costero, por la incapacidad sectorial de hacerse cargo a cabalidad de efectos indeseables en el medio ambiente y por no haberse mejorado suficientemente las relaciones con las comunidades donde se trabaja, e inclusive, a nivel nacional. Así, aunque se avance con seriedad en la búsqueda de soluciones a estos y otros problemas, falta todavía disponer de autoridades con verdadera capacidad de convocatoria, liderazgo y acción, que impulsen los cultivos acuáticos más allá de sus límites actuales, con propuestas y estrategias bien diseñadas, acordes con una visión de futuro de largo plazo, normativas prudentes y capital humano debidamente capacitado para asumir los desafíos que se enfrentan.

En suma, existen buenas perspectivas de demanda para la acuicultura regional en el futuro cercano, aunque estas expectativas seguramente se verán limitadas y/o frustradas en distinto grado, pendientes de

mejoras importantes en las visiones que se desarrollen, las estrategias que se diseñen, en la calidad de la gobernanza sectorial, y en una mayor capacidad del capital humano que participa en esta industria.

EMPLEO

El empleo pesquero primario en ALC asciende a unos 2,47 MM de personas, 2,09 MM del cual participa de la pesca extractiva, mientras solo 381 M lo hace en la acuicultura (FAO, 2018).

La productividad del trabajo en la pesca extractiva ha disminuido a través de los años desde 2.700 (2000) a 2.200 (2016) Kg por persona-año, mientras en la acuicultura ésta aumenta entre 2.600 y 4.000 Kg por persona-año entre las mismas fechas. En el caso de ALC, la productividad en pesca y acuicultura supera las medias mundiales, aunque, como era de esperar, es muy superior en las economías desarrolladas.

En general, las cifras de empleo sectorial muestran gran diversidad en la productividad de la mano de obra asociada a actividades primarias en el sector pesquero mundial, lo que ciertamente debe relacionarse con los niveles de mecanización empleados y con otros factores propios de las diversas realidades.

PRODUCTOS FINALES, CONSUMO Y COMERCIO EXTERIOR

El consumo medio mundial de productos pesqueros es de unos 20,3 Kg por habitante en 2016, y ya más de un 50% de estas disponibilidades provienen de la acuicultura. La región de ALC solo consume alrededor de 10 Kg por habitante en las mismas fechas, con lo que puede esperarse que su demanda futura evolucione favorablemente, sin perjuicio de que el proceso presente dificultades, por lo arraigado del consumo de carnes rojas, y los avances en la demanda de pollo y cerdo en esta zona.

Por otra parte, ALC muestra un importante potencial exportador de productos pesqueros, lo que se evidencia preliminarmente al comparar el consumo interno con las cifras de desembarque por persona de la región, de unos 21,4 Kg anuales en 2015-2017 (6,9 Kg en el Caribe, y 26,4 Kg en América del Sur y 13,1 Kg en América Central). En ese trienio, las cosechas acuícolas contribuyen con 4,3 Kg/persona-año al desembarque regional, mientras a nivel mundial, ellas aportan 10,2 Kg/persona-año, cifra muy influenciada por China (32,2 Kg anuales).³

Anualmente se producen alrededor 60 MM Tons de productos finales a nivel mundial, 5,1 MM de los cuales son aportados por ALC (8,6% del total, 2014-2016). Casi un 84% de los productos finales de la región provienen de América del Sur, un 16% se imputa a América Central, y un limitado 0,6% al Caribe (2014-2016).

Debido a la baja sustantiva de algunas pesquerías, como las de pelágicos menores en Chile y Perú, la contribución en productos finales de ALC a los totales mundiales ha venido disminuyendo sistemáticamente en el curso de las últimas cuatro décadas.

A nivel mundial, tanto como en ALC predominan el pescado fresco, refrigerado y congelado. Globalmente este rubro aumenta su incidencia en el total desde un 45% a un 55%, entre 2000-2002 y 2014-2016. Le siguen en importancia las conservas de pescado, que en esas últimas fechas representan un 14% de los volúmenes producidos.

En ALC el pescado fresco, refrigerado y congelado representa un 30% de la producción total de 2014-2016, seguido por crustáceos y moluscos vivos y frescos, refrigerados y congelados, con un 29%. Destacan también las harinas, con un 23% del volumen del trienio, rubro que ha bajado su importancia a lo largo de

³ Las cifras comentadas corresponden a las de desembarque total de cada entidad mencionada (país, mundo, etc.) dividido por el correspondiente número de habitantes, y no debe confundirse con aquellas de 'disponibilidad' para consumo, que corresponden a la producción de la entidad, más lo importado menos lo exportado, sea en forma agregada o por persona.

los años. Por cierto, la pesca destinada a producir harina y otros no comestibles también ha disminuido a nivel mundial, desde unos 24 MM a 20 MM Tons entre 2011 y 2016.

Estos hechos, han repercutido en la industria de dietas preparadas para peces, con una disminución sistemática en el uso de harina y aceite de pescado a cambio de productos del agro, suplementados con aminoácidos sintéticos, vitaminas, minerales y otros componentes. Se alivia así la presión de pesca sobre especies sobreexplotadas o en su límite sostenible, evitándose a la vez la restricción al desarrollo de la acuicultura, producto de los elevados precios y la escasez relativa de estos insumos. Cabe decir que esto ocurre mientras, desde fechas recientes, el cultivo de especies que utiliza alimentación artificial supera al de las que no la requieren, que ya sólo significan un 30,5% de las cosechas en 2016 (FAO, 2018).

Por su parte, la producción mundial de plantas acuáticas mediante cultivos (especies no cubiertas en lo ya expuesto sobre producción primaria) sobrepasa los 31 MM Tons en 2017, valoradas en unos US\$ 12.000 MM. En ese año, la extracción de algas silvestres alcanza a sólo 1,1 MM Tons. En ALC, la cosecha de algas cultivadas en 2017 suma sólo unas 17 M Tons, con un valor ex-granja de US\$ 42 MM (moneda corriente). Eso sí, aquí la producción extractiva alcanza a 452 M Tons ese mismo año, superando con creces lo cultivado y significando sobre un 40% de las disponibilidades mundiales de plantas acuáticas silvestres. En lo concerniente al comercio internacional, ALC, con 1,7 MM Tons y US\$ 5.000 MM anuales, es responsable de un 4,6% de los volúmenes de productos pesqueros importados en el mundo en 2014-2016, y de un 3,5% de los valores. Por su parte, la región exporta 37,7 MM Tons y US\$ 17.700 MM anuales en dicho trienio, o un 12,1% de los volúmenes y un 11,8% de los valores de productos pesqueros exportados a nivel global.⁴

El saldo exportador favorable de productos pesqueros de ALC es muy relevante para la región, y aporta superávits de unos US\$ 9.500 MM a US\$12.700 MM anuales entre 2002-2004 y 2014-2016, respectivamente. Es interesante agregar que entre 2002-2004 y 2014-2016, los productos de la pesca y acuicultura significaron entre un 1,2% y un 1,6% de sus exportaciones totales de bienes y servicios de ALC, y entre un 0,3% y 0,4% de los valores importados (CEPAL, 2019).

En contraste con los saldos exportadores positivos de la región, el mundo desarrollado muestra una carencia crónica de productos pesqueros, y constituye el principal foco de demanda internacional de este rubro. Así, EE. UU. de N.A. importa unos US\$ 21.700 MM anuales en 2014-2016 y solo exporta US\$ 6.400 MM en ese trienio, con un déficit neto de US\$ 15.300 MM anuales, cifra que ha continuado aumentando hasta ahora, ante la resistencia de muchos grupos de influencia de ese país que se oponen al aumento de la acuicultura, aún en aguas federales (más allá de las 3 millas de la costa). En el caso de la UE y sus 28 países miembros, existe un alto tráfico de productos entre ellos, con importaciones de US\$ 54.700 MM y exportaciones por US\$ 33.700 MM anuales en 2014-2016, con un déficit de unos US\$ 21.000 MM anuales en el período.

Brasil y México, por su parte, son grandes importadores de productos pesqueros. En Brasil se llega a importar unos US\$ 1.380 MM anuales en 2014-2016 (un récord de US\$ 1.546 MM en 2014), y se observa un saldo neto importador de US\$ 1.145 MM anuales en el trienio. En México, los grandes niveles de importación, que alcanzan a US\$ 902 MM anuales en el mismo período, son compensados con exportaciones mayores, que dejan un superávit medio anual de US\$ 230 MM entre 2014 y 2016.

Paradójicamente Chile, el primer exportador pesquero de la región en términos de valores, con un superávit anual de US\$ 5.221 MM en 2014-2016, también ha aumentado sus importaciones hasta US\$ 437 MM anuales en ese trienio, significando un aumento de un 251% desde 2002-2004. Aquí, aumentan las importaciones de harina y aceite de pescado, para suplementar/complementar las disponibilidades internas, y crecen las de conservas de pescado y crustáceos refrigerados o congelados, para suplir las declinantes disponibilidades internas de pesca blanca (magra) para consumo humano.

⁴ Las cifras de producción y comercio internacional han sido extractadas de FAO, FISHSTAT, 2019, y posteriormente analizadas y elaboradas por el autor

El hecho de que tantos países de la región tengan saldos exportables positivos, hace que la actividad pesquera y de cultivo en ALC dependa fuertemente de sus ventas en terceros países, y por eso, el énfasis en la necesidad de que la producción regional sea competitiva globalmente.

Aquí, las cifras indican que las exportaciones mundiales de productos pesqueros crecen a razón de 820 M Tons y US\$ 3.267 MM anuales en los últimos 30 años terminados en 2014-2016⁵. Un 64% del crecimiento medio anual en volumen y un 58% de los valores de dichas tres décadas se imputan a países en desarrollo. Complementariamente, los volúmenes exportados aumentan en el tiempo, aunque a tasas decrecientes (5,2% en 1984/86-1994/96; 3,1% la década siguiente y 2,0% entre 2004/06-2014/16). Esta baja es más significativa en el caso de los países en desarrollo. En términos de valor, eso sí, la disminución en las tasas de cada decenio se revierte en el último periodo, y con particular fuerza en los países en desarrollo. Como era predecible, la disminución en la velocidad de desarrollo de las exportaciones viene asociada a una pérdida de dinamismo en el crecimiento de las actividades de pesca extractiva y de cultivo.

En el caso de la pesca extractiva mundial, un crecimiento interanual muy bajo entre 1984/86 y 1994/96 se torna negativo en las siguientes dos décadas, mientras en el caso de la acuicultura, a pesar de crecimientos muy saludables, las tasas de variación anuales disminuyen entre un 11,5% y un 5,1% en las últimas tres décadas. En ALC, las tendencias son similares, con pérdidas de dinamismo en las exportaciones y en la producción. En este último caso, la tasa de variación anual de la pesca extractiva disminuye en forma más acentuada que a nivel mundial, y otro tanto ocurre con la de los cultivos, donde bajan desde un 19,1% en la primera década en análisis, hasta un 6%, en la última, cifra de todas formas apreciable, y superior a la media mundial del mismo decenio.

Las importaciones de productos pesqueros aumentan mundialmente a razón de 835 M Tons y US\$ 2.940 MM anuales en el mismo periodo. Los países en desarrollo aportan un 57% del crecimiento en los volúmenes medios anuales importados en los últimos 30 años, pero solo el 36% de los valores, lo que muestra el creciente dinamismo en los mercados de países en desarrollo. Las importaciones en países en desarrollo corresponden mayormente a productos de bajo valor unitario, sustancialmente inferior al del promedio de sus exportaciones, mientras los importadores de economías desarrolladas adquieren productos pesqueros de precios mucho mayores que aquel de sus exportaciones del rubro. De cualquier forma, y en el periodo de 30 años que se analiza, el mundo desarrollado participa con un 43% del crecimiento medio anual de los volúmenes y en un 64% en los valores importados a nivel mundial.

Se aprecia, entonces, que el panorama de la producción, del comercio internacional y del consumo de productos pesqueros es muy dinámico a nivel global y en ALC. Obviamente, parte de esta dinámica se explica por cuestiones sectoriales, pero es necesario reconocer que la influencia de la competencia con otros productos cárnicos; los cambios en los patrones culturales y en los ingresos de la población, en los niveles de urbanización, en la tecnología y en otros factores no han sido capturados sino someramente en estos párrafos, y falta analizarlos con mayor detención.

Baste por ahora mencionar que existen indicaciones de una aceptación creciente de los productos pesqueros a nivel global, y reiterar que la demanda internacional no debería constituirse en impedimento de ninguna relevancia para el desarrollo previsible de las actividades de cultivos acuícolas en ALC ni en el mundo. Igualmente, los mercados domésticos regionales, como México y Brasil, siguen requiriendo importar para satisfacer sus necesidades internas, y en ellos, como en otros, los crecientes niveles de ingreso de la población, y mejores niveles de educación continuarán influyendo en aumentar la demanda y el consumo por productos pesqueros.

RÁPIDA MIRADA AL FUTURO

A diferencia de lo que ya ocurre en otros lugares del mundo, América Latina y África, son continentes especialmente bien dotados con sitios para la acuicultura, con lo que este aspecto no debería limitar las

⁵ Cálculos mediante regresión lineal, de los valores medios trimestrales desde 1984-1986 hasta 2014-2016

cosechas en el futuro previsible, aunque también deba competir con los requerimientos de otros usuarios. ALC también posee los recursos humanos, financieros, y en buena parte de los casos, la infraestructura básica que permite desarrollos futuros, aunque aún no disponga de tecnologías maduras para cultivar masivamente la mayor parte de sus especies nativas, que igualmente se pretende producir con mayor énfasis. Eso sí, ya existen localmente técnicos y científicos con educación apropiada para enfrentar problemas de adaptación tecnológica, y crecientemente, para desarrollar más autónomamente las técnicas requeridas para cultivar comercialmente dichas especies.

A pesar de esto, la región aún no supera ni medianamente los desafíos que impone el proceso de desarrollo de tecnologías consistentes y económicamente viables para cultivar masivamente nuevas especies - esta vez autóctonas – con las que viene trabajando desde hace años. Como estos desarrollos requieren habitualmente de 10 a 20 años de trabajo riguroso y consistente, evidentemente, se ha fallado en la ‘consistencia’ y ‘orientación’ de los mismos, ya que las instituciones locales de I+D difícilmente perseveran en estos empeños durante períodos prolongados, por cambio de autoridades y/o de lineamientos estratégicos, tanto como por faltas de recursos financieros y/o de las voluntades requeridas. Estos hechos, junto a afanes por acometer simultáneamente demasiados ‘proyectos’ de carácter más bien puntual (en vez de asumir ‘programas’ holísticos, que abarquen todos los aspectos esenciales del desarrollo tecnológico del cultivo de que se trate), y con demasiadas especies, le ha restado ‘densidad’ a la I+D, conspirando también contra el logro de resultados apreciables en plazos razonables. A la vez, los fuertes requerimientos financieros asociados a estos procesos, y el relativamente modesto tamaño de la mayor parte de las empresas acuícolas de la región hacen que estos desarrollos dependan mayoritariamente del Estado, entidad sin cuya ayuda la diversificación productiva no sería por ahora viable en ALC, al menos si se busca obtener resultados significativos en las próximas décadas.

Es muy importante, entonces, modificar y renovar la forma de enfrentar la I+D acuícola en la región, y buscar fuentes de financiamiento y mayores recursos de carácter permanente para estos empeños, ofreciendo, como contrapartida, resultados efectivos en plazos razonables.

En cuanto a mercados, ALC muestra un consumo pesquero limitado, prácticamente al 50% del valor medio mundial, con excedentes productivos importantes. Por lo tanto, salvo casos como los de Brasil y México, principalmente, que con consumos per cápita limitados igualmente requieren de grandes volúmenes de importación, la mayor parte de la región continuará teniendo una fuerte vocación exportadora de productos pesqueros en el corto y mediano plazo, y esta situación orientará muchos de los proyectos de la acuicultura de mediano y gran tamaño en al menos los próximos 15 años. En el Caribe, con carencias crónicas de recursos pesqueros para consumo doméstico, con consumos per cápita más altos y pocas facilidades para desarrollar una acuicultura a gran escala, la situación es la contraria, y cualquier intento razonable de cultivo en el futuro, podría enfocarse en los mercados internos y/o aquellos de la comunidad caribeña.

En el caso del Brasil, país que tal vez disponga del mayor potencial regional para ampliar sus cultivos, además de reforzarse la acuicultura rural de pequeña escala, el país debería desarrollar con mayor énfasis dos importantes y nuevas vetas productivas, a saber: (i) los cultivos marinos, y (ii) la acuicultura de mediana y gran escala, necesaria para abastecer los grandes centros urbanos del país. Estas actividades, ampliarían sustancialmente la oferta doméstica, direccionando las cosechas en pequeña escala hacia zonas rurales y centros urbanos de menor tamaño, mientras la mediana y gran empresa se ocupan de los requerimientos del habitante de los grandes conglomerados humanos del país. Asombra que un país con más de 8.000 km de costa, hasta la fecha no haya realizado esfuerzos más allá del camarón por ampliar su matriz productiva acuícola-marina, incluyendo la valiosa variedad de especies que posee en dicho entorno. Entonces, es esperable que esta situación llame con más fuerza la atención de las autoridades sectoriales en el corto plazo, para detonar un proceso de I+D que resuelva poco a poco esta omisión, facilitando que, en la década de 2020, Brasil llegue a posicionarse entre los 10 principales países acuicultores del mundo.

Parece claro también que en el futuro inmediato y hasta los próximos 10 años o período similar, las principales actividades productivas continuarán focalizadas en sus especies ‘estrella’ como salmón y trucha,

camarón marino, tilapia y mejillón, aunque los esfuerzos de diversificación productiva vayan ganando terreno paulatinamente, teniendo cuidado de que prime el desarrollo de empresas altamente competitivas, so pena de no poder exportar, o bien, de verse invadidos por recursos pesqueros de otros orígenes, producidos a menor costo.

La creciente conciencia ambiental en la región y en el mundo entero, también impone la necesidad de desarrollar las nuevas producciones con métodos cada vez más sustentables y sin efectos medioambientalmente indeseables.

El cambio de paradigmas tecnológico-productivos que ha comenzado a evidenciarse con fuerza a nivel internacional, con la masificación de los cultivos en agua dulce y/o marina bajo recirculación, tanto como con el creciente desarrollo de la ‘acuicultura oceánica’ y de la ‘resiembra’ del borde costero, es igualmente ineludible en ALC, y deberá ser considerado seriamente al diseñar las nuevas estrategias productivas en los diversos países de la región. La posibilidad de ‘resembrar’ el borde costero con semillas de moluscos y/o juveniles de peces, erizos, cangrejos, etc., ayudará a suplementar los cada vez más escasos recursos pesqueros silvestres costeros, y a apoyar los esfuerzos de subsistencia del pescador artesanal que ha trabajado por generaciones en el rubro y que actualmente ve amenazadas su fuente de trabajo tradicional. Por su parte, la acuicultura en espacios oceánicos abiertos deberá concentrarse en las producciones de mayor escala, mientras aquella en tierra, con agua de mar o dulce recirculada, con cosechas de tamaño intermedio.

Salvo que se desarrollen esquemas de trabajo asociativos y estables entre pequeños y grandes productores, donde estos últimos provean de juveniles, insumos y asistencia técnica a los acuicultores menores, y compren sus cosechas, el Estado deberá continuar apoyando los cultivos de pequeña escala por al menos un par de décadas. Eso sí, deberán abandonarse enfoques paternalistas y asistencialistas, para reemplazarlos por apoyos con fuerte énfasis en la mejoría de las capacidades organizacionales, técnicas y comerciales de los pequeños productores, intentando que los productores puedan sostenerse y proseguir con sus afanes acuícolas en forma mucho más autónoma y sustentable, una vez completados los programas de apoyo.

Las cada vez más complejas normativas ambientales, y autoridades aún poco preparadas para enfrentar y liderar la diversificación y ampliación productiva, continuarán dificultando el desarrollo acelerado de la acuicultura regional, al concentrarse preferentemente en labores puntuales y de corto aliento, con lo que es difícil imaginar que las tasas de aumento de la producción de la última década (6% anual en ALC; 5,1% a nivel mundial) puedan igualarse en los años venideros, siendo probable que caigan hasta un 4-5% anuales, o menos aún, de verificarse efectos negativos como producto del cambio climático.

Si el crecimiento medio anual es de un 4%, las cosechas acuícolas de ALC al año 2025 podrían alcanzar los 4 MM Tons y 4,9 MM Tons en 2030. Con crecimientos medios anuales de un 5%, las cosechas esperadas serían de 4,4 MM Tons en 2025 y 5,5 MM Tons en 2030, tomando como base una producción de cultivo de 2,94 MM Tons en el año 2017.

Si, por el contrario, se hacen patente las limitaciones adicionales que puede imponer el cambio climático, y/o no se superan restricciones autoimpuestas por las respectivas gobernanzas, los crecimientos pueden ser bastante menores, y/o la producción puede llegar a disminuir, aunque en cantidades difíciles de predecir por el momento.

Considerando el conjunto de las variables que afectan y afectarán el desarrollo acuícola en ALC, y más allá de posibles efectos negativos asociados al cambio climático, la Gobernanza sectorial en cada país actualmente es, y al parecer continuará siendo, una variable determinante, con lo que es menester: (i) desarrollar visiones ambiciosas y realistas a alcanzar, así como estrategias apropiadas para conseguir los logros buscados, (ii) diseñar y utilizar normativas más eficientes para la aprobación de sitios de cultivo, la instalación y operación de nuevos proyectos, (iii) capacitar a quienes ejercen como autoridades a varios

niveles, y (iv), diseñar y utilizar metodologías prácticas, para mejorar las relaciones con la comunidades locales y el público en general, velando por un comportamiento socialmente aceptable, ambientalmente amigable, y económicamente sostenible, (v) generar estatutos especialmente diseñados para facilitar la incorporación y un adecuado desempeño de la acuicultura de pequeña escala, (vi) rediseñar las metodologías actualmente imperantes en la I+D sectorial, poniendo énfasis en la búsqueda de resultados concretos en plazos razonables, (vii) continuar desarrollando el capital humano requerido para mejorar la gestión del Estado, de las instituciones de I+D, y de la industria, y (viii) velar en todo momento por la competitividad de esta industria, su capacidad de acceso a mercados internacionales y para ampliar la demanda doméstica.

También es indispensable ‘repensar’ el proceso regulatorio en su totalidad, pues no parece existir una sensibilidad adecuada para apreciar la sobrecarga regulatoria que se va imponiendo casi inexorablemente en la acuicultura de muchos países, de su costo y de la pérdida de eficiencia y energía asociados a estos hechos, en un mundo que exige empresas y cosechas competitivas, y con buena capacidad de reacción a las necesidades de cambio. También, siendo las relaciones de la acuicultura con las comunidades donde se inserta, con los pescadores artesanales, los pueblos originarios y otros agentes sociales no necesariamente las más adecuadas en muchos lugares, y dificultándose por eso el crecimiento y las posibilidades de conseguir los apoyos políticos requeridos, también deberán rediseñarse los protocolos y hábitos en uso en estos ámbitos.

A pesar de estas realidades, que complejizan el ambiente en el que se desenvuelve esta novel industria en ALC, y del manejo poco equilibrado de varias ONGs en relación con el mundo de los cultivos acuáticos, existen excelentes condiciones naturales y buenas perspectivas de mercado para continuar desarrollando la acuicultura ya consolidada en los principales países productores. Igualmente, trabajos en ejecución o en fase de planeamiento, auguran avances futuros en el cultivo de especies nativas emergentes, aunque no demasiado notables antes de mitades de la próxima década. Acá, la velocidad de incorporación de nuevas especies a la matriz productiva regional dependerá mucho de la capacidad de concentrar esfuerzos humanos y financieros en un número limitado de éstas, asignando mayor densidad a cada fase de los procesos de I+D.

Con todo, desde 2017 a 2030 las cosechas podrían variar entre un 89% y 67%, en los casos de experimentarse crecimientos medios anuales de 5% o 4%, respectivamente, o bien, en cantidades mucho menores, si se sienten con alguna fuerza los efectos del cambio climático.

Cualquiera sea el caso, el sector continuará expandiendo su oferta de trabajos permanentes y mejor remunerados en ALC, su aporte en divisas, y los impactos positivos a la seguridad alimentaria regional, permitiendo, de paso, la reconversión de parte de los pescadores artesanales en acuicultores.

Finalmente, no puede olvidarse que solo en pocos países de la región la acuicultura ha adquirido proporciones destacadas, y consecuentemente, será muy interesante explorar en los próximos años otras estrategias para que nuevos actores de ALC participen más activamente en estos empeños, para convertir a la acuicultura en un quehacer relevante en sus respectivos territorios. Obviamente, es igualmente deseable imaginar que se desarrollen voluntades que promuevan el intercambio de experiencias y el auxilio mutuo entre todos los países y territorios de la región, y de esta con el resto del mundo.

REFERENCIAS

CEPAL (2019). Anuario Estadístico de América Latina y el Caribe 2018. CEPAL, Santiago, Chile.

FAO (2018). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. FAO, Roma, Italia.

Shrimp News International. (2019). <https://www.shrimpnews.com/FreeReportsFolder/SpecialReports/ChinaToBecomeTheLargestShrimpImporterIn2019%20%20.html> (acceso: 01-07-2019).

Wurmann C. (2017). Regional review on status and trends in aquaculture development in Latin America and the Caribbean – 2015, FAO Fisheries and Aquaculture Circular 1135. FAO, Rome, Italy.

Wurmann C. (2011). Regional review on status and trends in aquaculture development in Latin America and the Caribbean – 2010, FAO Fisheries and Aquaculture Circular 1061. FAO, Rome, Italy.

Recibido: 01-07-2019
Aprobado: 04-10-2019
Versión final: 10-10-2019



Are 45 years of reproductive isolation enough to prevent the amplification of mitochondrial genes in the Pacific oyster?

¿Son suficientes 45 años de aislamiento reproductivo para evitar la amplificación de genes mitocondriales en el ostión del Pacífico?

Felipe Reynaga-Franco¹, José Manuel Grijalva-Chon¹, Jorge Eduardo Chávez-Villalba², Reina Castro-Longoria¹, José Alfredo Arreola-Lizárraga², Ramón Héctor Barraza-Guardado¹

¹Universidad de Sonora, Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. Hermosillo, Sonora, México

²Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Guaymas, Sonora, México

Correspondencia: José Manuel Grijalva-Chon  E-mail: manuel.grijalva@unison.mx

Short communication | Comunicación corta

Keywords

Crassostrea gigas
Aquaculture
Oyster culture
Mitochondrial DNA
Population genetics

The Pacific oyster culture in Mexico began 45 years ago, first with spat imported from the USA and now with spat produced in several local hatcheries. Oyster farmers do not know the parameters that define the quality of the spat they buy, among them the level of genetic variability available in the lots offered. In order to evaluate and compare the genetic variability in spat produced by four Mexican hatcheries, an attempt was made to amplify and sequence the non-coding region and the ND5 gene of the oyster mitochondrial DNA with oligos reported in the scientific literature. The amplification of the non-coding region was not possible due to the bad design of the oligos. Despite the integrity of the extracted oyster DNA, the ND5 gene was not able to be amplified possibly due to the modification of the oligo recognition site in the gene. The generational separation of the oyster cultivated in Mexico from its original source population makes it necessary to obtain new mitochondrial sequences in order to design new oligos suitable for the populations established in Mexico.

Palabras clave

Crassostrea gigas
Acuicultura
Ostricultura
ADN mitocondrial
Genética de poblaciones

RESUMEN | El cultivo del ostión del Pacífico en México inició hace 45 años, primero con semilla importada de los EUA y ahora con semilla producida en laboratorios locales. Los ostricultores no conocen los parámetros que definen la calidad de la semilla que ellos compran, como el nivel de la variabilidad genética disponible en los lotes ofertados. Con el fin de evaluar y comparar la variabilidad genética de la semilla producida en cuatro laboratorios mexicanos, se hizo un intento de amplificar y secuenciar la región no codificante y el gen ND5 mitocondriales del ostión con oligos reportados en la literatura científica. La amplificación de la región no codificante no fue posible debido al mal diseño de los oligos. A pesar de la integridad del ADN extraído de los ostiones, el gen ND5 no pudo ser amplificado debido posiblemente a la modificación del sitio de reconocimiento del oligo en ese gen. La separación generacional del ostión cultivado en México de su población fuente original hace necesario obtener nuevas secuencias mitocondriales para diseñar nuevos oligos adecuados a las poblaciones establecidas en México.

The Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, was introduced approximately 45 years ago in Mexico with the purpose of diversifying the aquaculture and fishing activities in the country's Pacific Ocean coast (Islas-Olivares, 1975; De la Rosa-Vélez *et al.*, 1991; Chávez-Villalba, 2014). Since then, it has supported small and medium producers that supply the national market, although they are far from reaching the production level of shrimp farming on the same Mexican coast. Based on molecular data, Salvi *et al.* (2014) and Salvi & Mariottini (2017) have proposed that the genus *Crassostrea* of the Indo-Pacific cupped oysters be changed to *Magallana*, and that *Crassostrea* remain in the Atlantic cupped oyster species. Although the proposal has been accepted by the World Register of Marine Species, there is strong controversy in this regard, so Bayne *et al.* (2017) and Backeljau (2018) recommend continuing with the denomination *Crassostrea gigas*, which is taken into account in this work. The Mexican oyster culture in its beginnings imported the spat from the USA, first of diploid organisms and later also of triploid, depending on their availability. Currently, there are several Mexican oyster hatcheries that supply spat, mainly diploid, to

oyster farms. These laboratories are often supplied with broodstock from the same farms to whom they sell the spat, but occasionally they obtain breeders from South America or Europe.

In species of interest for aquaculture and that are subject to a closed-cycle culture, with total control of reproduction and progeny, genetic variability is a very important factor that contributes to the quality of the species offered to the aquaculturist. This variability may reflect the effects of prolonged artificial selection, cumulative inbreeding, divergence from the original source and bottlenecks, since all of the above leads to a loss of the potential for adaptability in populations (Barg, 1992). Studies on the structure and population genetic variability of the Pacific oyster have been carried out with allozymes, microsatellites, AFLP, and mitochondrial DNA sequences in natural (Ozaki & Fujio, 1985; Yang *et al.*, 2000; Yu *et al.*, 2008), feral (Li *et al.*, 2003; Meistertzheim *et al.*, 2013) and cultured populations (De la Rosa-Vélez *et al.*, 1991; Launey & Hedgecock, 2001; Li *et al.*, 2006; Enríquez-Espinoza & Grijalva-Chon, 2010). In the study of mitochondrial variability, the non-coding control region has been widely used for analysis of polymorphism and population variability (Ferris & Berg, 1987; Allendorf *et al.*, 2013). However, recently the mitochondrial NADH dehydrogenase 5 (ND5) gene has been used successfully for the analysis of the population genetic structure (Makhawi *et al.*, 2013), even in the Pacific oyster (Kawamura *et al.*, 2017). In the case of *C. gigas* cultivated in Mexico, little has been studied, excepting some research using allozymes (De la Rosa-Vélez *et al.*, 1991; Correa *et al.*, 2004; Enríquez-Espinoza *et al.*, 2010), and microsatellites (Cruz *et al.*, 2007; Grijalva-Chon *et al.*, 2013). In order to compare the differences in the genetic variability of the oyster spat that occurs in northwestern Mexico, we aimed to conduct a study of population genetics in the spat produced by the four largest commercial hatcheries in the region.

In May 2014, four lots of 10,000 spat each were received from the four main oyster hatcheries in northwestern Mexico. The spat were grown in Nestier modules distributed in long-line in the La Cruz coastal lagoon, Sonora, Mexico (Gulf of California, 28° 47' 34" N, 111° 53' 27" W, see Reynaga-Franco *et al.* (2019) for details about hatcheries and geographical location). After three months of culture, 50 organisms per lot were taken, the shell was removed with the help of dissection forceps, and the soft tissue was fixed in 1.5 ml tubes with absolute ethyl alcohol (> 95%) and transferred to the Molecular Ecology Laboratory of the University of Sonora to be processed. Subsequently, a 20-25 mg portion of the tissue preserved was cut and the DNA extraction was performed using the QIAamp DNA Mini Kit according to the manufacturer's specifications (QIAGEN). The concentration (ng/μl) and purity (A_{260}/A_{280}) was estimated with a Nanodrop 1000 spectrophotometer.

To corroborate the integrity of the DNA extract as well as the absence of inhibitory factors, a PCR amplification was performed with the universal oligos CAS1S: 5'-GGAATTGACGGAAGGGCACC-3' and CAS2: 5'-ACGGGCGGTGTGTACAAAGG-3', reported by Le Roux *et al.* (1999). These oligos amplify a 521 bp section of the 18S rDNA nuclear gene from a large number of eukaryotic species, including mollusks. To evaluate the genetic variability of *C. gigas*, the mitochondrial non-coding region and the mitochondrial NADH subunit 5 gene (ND5) were selected. For an expected amplicon of 739 pb of the non-coding region of mitochondrial DNA, oligos 5'-TCACAAGTACATTTGTCTTCCA-3' and 5'-AACGTTGTAAGCGTCATGTAAT-3' reported by Aranishi & Okimoto (2005) were used. For the ND5 gene, the oligos CgND5.6 F5: 5'-TAGCCCTACAGTTTCATTATCG-3' and CgND5.6 R5: 5'-AAATACTTACAGGAAAAAGCGA-3', reported by Kawamura *et al.* (2017) were used to amplify a 524 bp fragment. All PCR reactions were carried out with lyophilized PuRe Taq Ready-to-Go PCR beads (GE Healthcare), following the proportions and PCR conditions recommended by the above mentioned authors. Additionally, we conducted some tests modifying the conditions reported by the authors of the oligos used in this study. First, we modified the thermal cycling times of the denaturation, alignment and extension steps reported by Arinichi & Okimoto (2005), since they reported a few seconds for each step and we increased to 60 seconds for each step. In the case of the oligos from the non-coding region and of ND5, gradient PCR of both alignment temperature (from 51 to 61°C for non-coding region oligos, and from 50 to 59°C for ND5 oligos) and concentration of MgCl₂ (from 1.5 to 5.0 mM) were also performed. DNA amplifications were carried out in a BioRad DNA Engine thermal cycler, and a replica in a subset of 10 organisms per lot was carried out in a Techne TC-412 thermal cycler. The electrophoresis was on 2% agarose gels and 15 V/cm for 40 minutes to observe the results of the amplification.

The average of the A_{260}/A_{280} ratio was 2.07 ± 0.2 , considering the 200 samples, which indicates acceptable values of purity. However, it was not possible to obtain amplicons of the two mitochondrial regions in any of the 200 samples, neither with the original conditions reported by the authors, nor with the change of the thermal cycling parameters, nor changing the thermal cycler. However, because the universal oligos corroborated the absence of inhibitory factors, integrity and good quality of the oyster DNA extract (Fig. 1), an analysis of the design quality of the oligos was carried out using the Multiple Primer Analyzer software available online at www.thermofisher.com. This analysis showed that the oligos for ND5 are well designed, but those reported by Arinichi & Okimoto (2005) form cross dimers (Fig. 2), being unusable for the amplification of the oyster DNA.

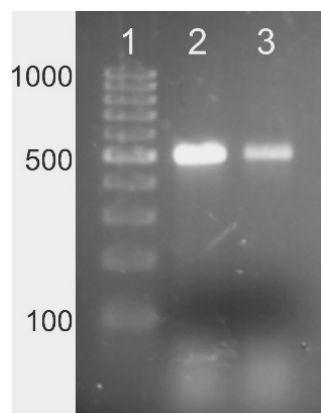


Figure 1 PCR amplification using universal oligos CAS1S/CAS2. Line 1: 100 bp DNA ladder. Line 2 - 3: amplicon of 521 pb of two *Crassostrea gigas* samples.



Figure 2 Cross primer dimer obtained with oligos reported by Arinichi and Okimoto (2005) for *Crassostrea gigas* mitochondrial non-coding region.

The use of oligos reported in the scientific literature saves time, money and effort because they represent the validated effort of a research group. However, there are cases of extended use of oligos where years later it is shown that they result in a high frequency of false negatives (Lynch *et al.*, 2013). Surprisingly, considering the elapsed time, we did not find scientific literature that reported the use of the oligos of Arinichi & Okimoto (2005), nor other studies that report having failed to replicate the findings of these authors. Considering that the universal oligos gave favorable results, and the bad design of the oligos reported by Arinichi & Okimoto (2005), it can be considered that the cause of the negative amplifications of ND5 is the variation in the target sequences in the oysters. If we consider that mitochondrial DNA has a high evolutionary rate, 5 - 10 times faster than nuclear DNA (Brown *et al.*, 1979), and due to the time elapsed and the isolation of populations of Pacific oysters cultivated in Mexico from wild populations in Japan, there may now be a degree of genetic differentiation that prevents PCR amplification using the oligonucleotides reported by Kawamura *et al.* (2017) due to point mutations accumulated in the oyster recognition sequence. However, to get an idea of the magnitude of the divergence between the oyster isolated and cultivated in the American continent and the natural populations of the western Pacific, it is necessary to look for a suitable mitochondrial genetic marker, which would be interesting to address in the short term.

The use of DNA microsatellites is a good alternative to study the population genetic structure in *C. gigas* (Magoulas *et al.*, 1998; Huvet *et al.*, 2000; McGoldrick *et al.*, 2000; Launey & Hedgecock, 2001; Li *et al.*, 2003; Li *et al.*, 2006; Yu *et al.*, 2008; Grijalva-Chon *et al.*, 2013), but the analysis of mitochondrial gene sequences is a methodology that is cheaper since it requires less time in laboratory and in the data

analysis. For this reason, it is necessary to design new oligos for the genetic analysis of the mtDNA of the Pacific oyster cultivated in the American continent, and particularly in Mexico. However, although there is information of mitogenomes of *Crassostrea* (Yu & Li, 2012), there is no information on mitochondrial sequences of organisms grown in America so that new oligos can be designed from them. This is a need that must be addressed and resolved in the short term.

The analysis of the genetic variability of oyster spat produced in northwestern Mexico is one of the necessary elements to evaluate the quality of the spat offered, since a fundamental part of this attribute comes from the breeders, which are selected by their physical attributes and not because of their genetic attributes. As a measure of the diversification of genetic variability, some hatcheries exchange breeders, occasionally with the importation of a lot from abroad (Grijalva-Chon *et al.*, 2013), but no one has imported organisms from Japan or its adjacent waters.

From the perspective of the hatchery owners, it is not very profitable to pay the costs of a possible genetic monitoring in each lot produced, or even once a year. Doing this would make the necessary adjustments to maintain a stable genetic variability and would obtain a spat with better resistance to pathogens, better growth rates and better biological performance in general (Dégremont *et al.*, 2007). In addition, to reinforce the spat quality, a strict follow-up of the pedigree would have to be implemented to maintain an acceptable level of heterozygosity and minimal inbreeding. The relevance of genetic variability in oyster spat is undeniable, so establishing the criteria to evaluate it and to include it in the spat production protocols is the main challenge in this field for oyster hatcheries in the world.

In aquaculture, assessing the genetic variability of selected strains in oyster hatcheries provides information that may be related to the biological performance of cultured organisms. In this way, a strain with a good level of genetic variability will surely generate good yield at the time of harvest. In the case of the Pacific oyster strains studied here, there is no knowledge of the level of genetic variability associated with them. The mutational rate of the mitochondrial genome is much higher than that of the nuclear genome, and considering that the Pacific oyster cultivated in Mexico has more than 40 years of isolation from its native population, it is necessary to obtain the sequence of the non-coding mitochondrial region of the Mexican oyster strains in order to design new oligos that allow using this section of the genome to make estimates of genetic variability.

ACKNOWLEDGEMENT

We thank Andrés Hernández-Ibarra and Josué Valenzuela-Díaz (CIBNOR), Martín Rodrigo Acedo-Valdez (University of Sonora) and Víctor Vera-López (CREMES) for their field technical support. This project was carried out with the aid of Fundación Produce Sonora (project 898-1). The first author received a fellowship from the National Council of Science and Technology (CONACYT, Mexico).

REFERENCES

- Allendorf F.W., G. Luikart, S.N. Aitken. (2013). Conservation and the Genetics of Populations. Wiley-Blackwell. Chichester, UK.
- Arinichi F. & T. Okimoto (2005). Sequence polymorphism in a novel noncoding region of Pacific oyster mitochondrial DNA. *Journal of Applied Genetics*. 46: 201-206.
- Backeljau, T. (2018). *Crassostrea gigas* or *Magallana gigas*: A community-based scientific response. *National Shellfisheries Association Quarterly Newsletter* 2018(1): 3.
- Barg, U.C. (1992). Guidelines for the promotion of environmental management of coastal aquaculture development. FAO Fisheries Technical Paper. No. 328. FAO. Rome. 122 p.

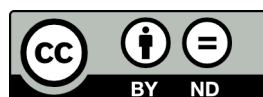
- Bayne B.L., M. Ahrens, S.K. Allen, M. Anglès D'auriac, T. Backeljau, P. Beninger, R. Bohn, P. Boudry, J. Davis, T. Green, X. Guo, D. Hedgecock, A. Ibarra, P. Kingsley-Smith, M. Krause, C. Langdon, S. Lapègue, C. Li, D. Manahan, R. Mann, L. Perez-Paralle, E.N. Powell, P.D. Rawson, D. Speiser, J.L. Sanchez, S. Shumway, H. Wang. (2017). The proposed dropping of the genus *Crassostrea* for all Pacific cupped oysters and its replacement by a new genus *Magallana*: A dissenting view. *Journal of Shellfish Research*. 6: 545-547.
- Brown W.M., M. George Jr., A.C. Wilson (1979). Rapid evolution of animal mitochondrial DNA. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.* 76: 1967-1971.
- Chávez-Villalba, J. (2014). Cultivo de ostión *Crassostrea gigas*: Análisis de 40 años de actividades en México. *Hidrobiológica*. 24: 175-190.
- Correa, F., E. Collinsm, A. Ocegüera, B. Cordero, D. Domínguez (2004). Allozymic variation in the Pacific oyster *Crassostrea gigas* from San Quintín Bay, Baja California, Mexico. *Ciencias Marinas*. 30: 89-97.
- Cruz, P., B. Yáñez-Jacome, A.M. Ibarra, J. Rangel-Becerril (2007). Isolation and characterization of microsatellite loci in the Pacific pleasure oyster, *Crassostrea corteziensis*, and their cross-species amplification in four other oyster species. *Molecular Ecology Notes*. 7: 448-450.
- De la Rosa-Vélez, J., M.T. Gutiérrez-Wing, R. Radilla-Camacho (1991). El ostricultivo de Bahía de San Quintín, B.C. México; Aspectos genéticos. *Ciencias Marinas*. 17: 133-147.
- Dégremont, L., B. Ernande, E. Bédier, P. Boudry (2007). Summer mortality of hatchery-produced Pacific oyster spat (*Crassostrea gigas*). I. Estimation of genetic parameters for survival and growth. *Aquaculture*. 262: 41-53.
- Enríquez-Espinoza, T.L. & J.M. Grijalva-Chon (2010). Genetic variability of *Crassostrea gigas* and *Crassostrea corteziensis* from a hatchery in northwestern Mexico. *Ciencias Marinas*. 36: 333-344.
- Ferris, S.D. & W.J. Berg (1987). The utility of mitochondrial DNA in fish genetics and fishery management. En: *Population Genetics and Fishery Management*. N. Ryman y F. Utter (eds.), pp. 277-299. University of Washington Press. Seattle, USA.
- Grijalva-Chon, J.M., O. Izaguirre-Castro, R. Castro-Longoria, M.A. López-Torres & F. Hoyos-Chairez (2013). Variabilidad genética en ADN microsatélite de un nuevo linaje de ostión (*Crassostrea gigas*) en Sonora. *Biotechnia*. 15(1): 12-18.
- Huvet, A., P. Boudry, M. Ohresser, C. Delsert, F. Bonhomme. (2000). Variable microsatellites in the Pacific Oyster *Crassostrea gigas* and other cupped oyster species. *Animal Genetics*. 31: 71-72.
- Islas-Olivares, R. (1975). El ostión japonés (*Crassostrea gigas*) en Baja California. *Ciencias Marinas*. 2: 58-59.
- Kawamura, K., T. Miyake, M. Obata, H. Aoki, A. Komaru (2017). Population demography and genetic characteristics of the Pacific Oyster *Crassostrea gigas* in Japan. *Biochemical Systematics and Ecology*. 70: 211-221.
- Launey, S. & D. Hedgecock (2001). High genetic load in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Genetics*. 159: 255-265.
- Le Roux, F., C. Audemard, A. Barnaud, F. Berthe (1999). DNA probes as potential tools for the detection of *Marteilia refringens*. *Marine Biotechnology*. 1: 588-597.

- Li, G., S. Hubert, K. Bucklin, V. Ribes, D. Hedgecock (2003). Characterization of 79 microsatellite DNA markers in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Molecular Ecology Notes*. 3: 228–232.
- Li, Q., H. Yu, R. Yu (2006). Genetic variability assessed by microsatellites in cultured populations of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) in China. *Aquaculture*. 259: 95–102.
- Lynch, S.A., E. Dillane, J. Carlsson, A. Culloty (2013). Development and assessment of a sensitive and cost-effective polymerase chain reaction to detect ostreid herpesvirus 1 and variants. *Journal of Shellfish Research*. 32: 657-664.
- Magoulas, A., B. Gjetvag, V. Terzoglou, E. Zouros (1998). The polymorphic microsatellites in the Japanese oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Animal Genetics*. 29: 69-70.
- Makhawi, A.M., X.B. Liu, S.R. Yang, Q.Y. Liu (2013). Genetic variations of ND5 gene of mtDNA in populations of *Anopheles sinensis* (Diptera: Culicidae) malaria vector in China. *Parasites and Vectors*. 6: 290.
- McGoldbrick, D.J., D. Hedgecock, L. English, P. Baoprasertkul, R.D. Ward. (2000). The transmission of microsatellite alleles in Australian and North American stocks of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*): selection and null alleles. *Journal of Shellfish Research*. 19: 779-788.
- Meistertzheim, A.L., S. Arnaud-Haond, P. Boudry, M.T. Thébault (2013). Genetic structure of wild European populations of the invasive Pacific oyster *Crassostrea gigas* due to aquaculture practices. *Marine Biology*. 160: 453-463.
- Ozaki, H., Y. Fujio (1985). Genetic differentiation in geographical populations of the Pacific Oyster (*Crassostrea gigas*) around Japan. *Tohoku Journal of Agriculture Research*. 36: 49-61.
- Salvi, D., A. Macali, P. Mariottini (2014). Molecular phylogenetics and systematics of the bivalve family ostreidae based on rRNA sequence-structure models and multilocus species tree. *PLoS ONE* 9: e108696.
- Salvi, D. & P. Mariottini (2017). Molecular taxonomy in 2D: a novel ITS2 rRNA sequence structure approach guides the description of the oysters' subfamily Saccostreinae and the genus *Magallana* (Bivalvia: Ostreidae). *Zoological Journal of the Linnean Society* 179: 263–276.
- Yang, R., Z. Yu, Z. Chen, X. Kong, J. Dai (2000). Allozyme variation within *Crassostrea plicatula* and *Crassostrea gigas* from Shandong coastal waters. *Fisheries China*. 24: 130-133.
- Yu, H. & Q. Li (2012). Complete mitochondrial DNA sequence of *Crassostrea nippona*: comparative and phylogenomic studies on seven commercial *Crassostrea* species. *Molecular Biology Reports*. 39: 999-1009.
- Yu, H., Q. Li, R. Yu (2008). Genetic differentiation between the oyster *Crassostrea plicatula* and Pacific oyster *Crassostrea gigas* populations in China assessed by microsatellite analysis. *Fisheries Science*. 74: 88–97.

Recibido: 16-05-2019

Aprobado: 05-05-2019

Versión final: 24-10-2019



Hanging culture of juveniles of the winged oyster *Pteria sterna* in two baskets of different design

Cultivo suspendido de juveniles de la ostra alada *Pteria sterna* en dos cestas de diferente diseño

Luis Freites^{1,2}, Franklin Jara¹, María Gregori¹, Jimmy Villón¹, Adrián Márquez³, Daniel Rodríguez-Pesantes³, César Lodeiros^{2,4}.

¹Universidad Estatal de la Península de Santa Elena, Ecuador

²Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Apartado Postal 245, Cumaná 6101, Venezuela

³Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas (CENAIM), Campus Gustavo Galindo Km 30,5 vía Perimetral P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador

⁴Grupo de Investigación en Biología y Cultivo de Moluscos, Dpto. de Acuicultura y Pesca, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Técnica de Manabí, Bahía de Caráquez, Manabí, Ecuador

Correspondencia: Luis Freites  E-mail: lfreitesv@yahoo.es

[Artículo original](#) | [Original article](#)

Keywords

Growth
Suspended culture
Pearl oyster
Predation
Eastern Tropical
Pacific

ABSTRACT | The aim of this study was to determine the growth and survival of juveniles of the winged oyster *Pteria sterna*, culture in two types of baskets manufactured with local materials. These were ‘one floor baskets’ (OFB) and ‘three floor baskets’ (TFB), hung from two ‘long lines’ in two study sites, Ayangue and Palmar, Province of Santa Elena, Ecuador, over a five months experimental culture period. Environmental variables monitored included total particulate matter and its organic and phytoplanktonic fraction (chlorophyll *a*), temperature, and dissolved oxygen. Individuals showed an initial length, height (dorso-ventral) and thickness (inter-valvar) shell axis of 18.7 ± 0.32 ; 18.2 ± 0.29 and 7.4 ± 0.18 mm, respectively; and the soft tissue mass, shell mass and total mass were: 1.03 ± 0.04 ; 0.11 ± 0.005 ; 1.14 ± 0.04 g, respectively. At the end of the period, biometric and survival parameters were recorded. The individuals cultured in Ayangue using TFB showed increments in shell, soft tissues and total mass that were significantly higher than those from the OFB. Similar results, but with lower increments, were obtained by the individuals cultivated at Palmar site. The ANOVA II showed that the site, type of basket and the interaction between the two had a significant effect on the growth of the oysters. Survival exceeded 80% at both sites and for both basket types, but no significant differences were observed between site and basket type. Considering the growth and survival obtained for both types of baskets, we recommend the TFB baskets for winged oyster cultivation in these regions.

Palabras clave

Crecimiento
Cultivo suspendido
Ostras perlas
Depredación
Pacífico Tropical
Oriental.

RESUMEN | El objetivo de este estudio fue determinar el crecimiento y la sobrevivencia de juveniles de la ostra alada *Pteria sterna*, cultivadas en dos tipos de cestas manufacturadas con materiales locales. Estas fueron ‘cestas de un piso’ (OFB, en sus siglas en inglés) y ‘cestas de tres pisos’ (TFB, en sus siglas en inglés), suspendidas en dos líneas largas o ‘long lines’ ubicados en dos sitios de estudio, Ayangue y Palmar, Provincia de Santa Elena, Ecuador, por un periodo experimental de cinco meses de cultivo. Las variables ambientales monitoreadas incluyeron la materia total particulada y su fracción orgánica, Clorofila *a*, temperatura y oxígeno disuelto. Los individuos mostraron tallas iniciales de los ejes de la concha: largo, alto (dorso-ventral) e inter-valvar de $18,7 \pm 0,32$; $18,2 \pm 0,29$ and $7,4 \pm 0,18$ mm, respectivamente; y masa seca de los tejidos suaves, concha y total de $1,03 \pm 0,04$; $0,11 \pm 0,005$; $1,14 \pm 0,04$ g, respectivamente. Al finalizar el periodo de cultivo, los parámetros biométricos y la sobrevivencia fueron documentadas. Los individuos cultivados en Ayangue en las cestas TFB mostraron incrementos en masas de la concha, tejidos suaves y total significativamente más altos que la de los cultivados en las OFB. Resultados similares, pero con menores incrementos, fueron obtenidos por los individuos cultivados en Palmar. El ANOVA II mostró que el sitio, tipo de cesta y su interacción tuvieron un efecto significativo en el crecimiento de las ostras. La sobrevivencia fue mayor al 80% en ambos sitios de cultivo y tipos de cestas, aunque sin diferencias significativas. Considerando el

crecimiento y la supervivencia obtenidas en ambos tipos de cestas, se recomienda el uso de las TFB tipo de cestas, para el cultivo de las ostras en esta región.

INTRODUCTION

Pteria sterna is commonly known as the rainbow-lipped pearl oyster or the Pacific wing-oyster. It is a marine bivalve mollusc of the family Pteriidae, currently found in shallow water (2.6 to 20 m) along the tropical and subtropical Pacific coast of America, extending from Bahía La Choya, Gulf of Baja California, Mexico (31.4°N), to Ancón, Lima, Perú (11.8°S) (Paredes *et al.*, 1998; Coan and Valentich-Scott, 2012). In the Eastern Tropical Pacific coast, a high but periodic availability of *P. sterna* spat has been observed through natural catch using artificial collectors (up to 4–5 juveniles of 10 mm length over 5 cm² of sardine fishing net (Lodeiros *et al.*, 2017). This may support a growing industry in the production of pearls and/or food, as well as for the by-products from the shells. Preliminary studies (Jara *et al.*, 2016; Lodeiros *et al.*, 2017, Treviño *et al.*, 2019) reported high growth rate of *P. sterna* in equatorial waters (0° and 2°S). However, more studies are necessary to examine *P. sterna* growth and survival in tropical waters to determine the feasibility of cultivation.

Growth and survival of cultured bivalves is influenced by many factors including stocking density, predation, fouling, cleaning regime and type of culture unit (Pit and Southgate, 2003). With regards to this last aspect, numerous studies shown that the design of culture enclosures significantly effects the growth and survival of winged and pearl oysters in hanging culture conditions (Gaytan-Mondragon *et al.*, 1993; Southgate and Beer, 1993; Friedman and Southgate, 1999; Ruiz-Rubio *et al.*, 2006; Millione and Southgate, 2011). Thus, the development of optimal culture methods can maximize growth and survival rates in juvenile pearl oysters and reduce the time required to reach operable size for pearl production (Millione and Southgate, 2017).

On the other hand, the mortality caused by the action of some predators is an important factor that affects production rates and economic profitability in the aquaculture industry (Hickman, 2001). Predation could be minimized by suspending oysters in mid-water meshes of appropriate size, hence inaccessible to benthic predators (Quayle and Newkirk, 1990). However, suspended culture may increase the vulnerability of bivalves to other predators, particularly some species of fish of the Families Balistidae, and Monacanthidae (Alagarswami, 1987). Accordingly, Southgate and Beer (1996) showed that predation is a factor that contributes to high mortality of blacklip pearl oyster juveniles, *Pinctada margaritifera* (L.), during nursery culture in Kiribati, Micronesia.

Similar predation activity occurs on the Ecuadorian coast in the cultivation of *Crassostrea gigas* using hanging lantern nets on a long line (Lodeiros *et al.*, 2018). This has been inferred by damaged mesh on the lantern nets only on the side in which the oysters were accumulated (Fig. 1). For this reason, the cultivation nets (Japanese pearl nets and lantern nets) have been covered with sacks made with “anchovetera”-type nets (1/2" mesh) to protect oysters from predatory fish (Sonnenholzner *et al.*, 2017). With the protective sack (used traditionally in some hanging cultures of *Crassostrea gigas*) fouling was reduced by up to 40%. However, oyster growth in the protected nets was decreased, presumably because reduced water exchange inside the baskets limited food availability (Sonnenholzner *et al.*, 2017). In addition, the protective meshes require greater financial investment, labor and maintenance costs and therefore reduce the profitability of the crop. Given the decrease in the availability of food in the double mesh baskets, and the consequent decrease in growth of the bivalves cultivated, optimization of the culture method and studies on materials that are resistant to predator are essential.

In the present study, the growth and survival of juveniles of the winged oyster *Pteria sterna* were determined for two types of baskets manufactured with local materials.



Figure 1. Evidence of predatory action on the mesh of a lantern net. Freitas *et al.*

MATERIALS AND METHODS

Study area

Juveniles were obtained by means of natural recruitment using catchers made with “anchovetera” fishing net. These were installed on the Ayangue long line in May 2017 until the end of July 2017. The grow-out study was carried out between 10 August 2017 and 17 December 2017. Culture baskets were deployed on two long lines anchored 800 m from the shore at Palmar (2°01'46.44"S, 80° 44'45.71"O) and Ayangue (1°59'16.85", 80°45'38.61" O), Santa Elena Peninsula, Ecuador. The water depth at the longlines was 8 m and 18 m, at Ayangue and Palmar, respectively. Palmar was located at the mouth of and estuary with notable amounts of total material particulate matter (TPM) and low salinity (especially in the rainy season).

Experimental culture

At the beginning of the experimental period, a pre-selection of the initial size of juveniles based on shell axis length was made to exclude very large or small specimens. Size measurement of the shell axis was made with a digital calliper. Individuals showed an initial size of length, height (dorso-ventral) and inter-valvar (thickness) shell axis of 18.7 ± 0.32 ; 18.2 ± 0.29 and 7.4 ± 0.18 mm, respectively (Fig. 2). Initial soft tissue mass, shell mass and total mass were: 1.03 ± 0.04 ; 0.11 ± 0.005 ; 1.14 ± 0.04 g, respectively. At the end of the experimental period, three baskets were subsampled randomly. The number of live oysters in each basket was recorded to determine the survival rate. Selected individuals were carefully cleaned of fouling on the shells. Soft tissues were then carefully dissected from each individual to obtain the mass of shell and soft tissues. All components were dehydrated in an oven (60 °C for 48 h) to obtain dry mass with an uncertainty of 0.001 g. The dimensionless condition index (CI) of the oysters was then calculated as the ratio of dry meat weight to dry shell weight (Beninger and Lucas, 1984).

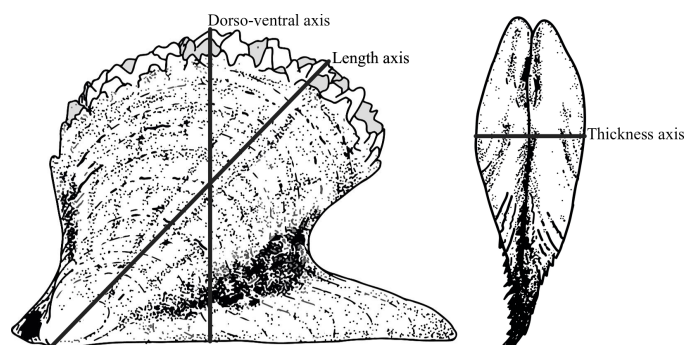


Figure 2 Shell axis measurements used to determine the growth: Shell length (from the umbo to the ventral edge of the shell), height (dorsal-ventral), and thickness axis (distance between the maximum convexity of the valves), as applied to *Pteria sterna*. Freitas *et al.*

Basket design

The cylindrical baskets used were manufactured with two layers. One layer was a 20-mm mesh plastic screening of dimensions 45 x 130 cm, tied to 3 or 4 circular frames (electrical PVC pipeline) with nylon fishing lines (80 pounds resistance). Each circular frame was hung from three plastic rope segments placed in an equidistant manner (Fig. 2). The baskets were built with two different designs. The first consisted of one floor or level (OFB), in which juvenile oysters were attached to three sections of 2-mm mesh plastic screening 40 cm in length x 15 cm width suspended in the central part of the upper basket level (Fig. 3A). In each mesh section, 15 juveniles of the oyster were placed and fastened with biodegradable classic rayon used for the stringing of mussel seeds in the Spanish method, for a total of 45 juveniles per basket. The second basket design had three floors or levels (TFB) separated from each other by 15 cm (Fig. 3B). Each floor was made with a circular piece of 20 cm radius (1256 cm² area) of the same mesh used for the body cylinder of the baskets, with three layers for the bottom of the basket and one in the other the levels. In each internal level, 15 juveniles were wrapped with the biodegradable net to avoid the loss of juveniles since the initial size of these was less than that of the mesh size. The groups of juveniles were placed in each of the three floor levels, giving a total of 45 juveniles per basket. Four replicate were used per basket type and deployed at 4 m depth on the long lines in Palmar and Ayangué.

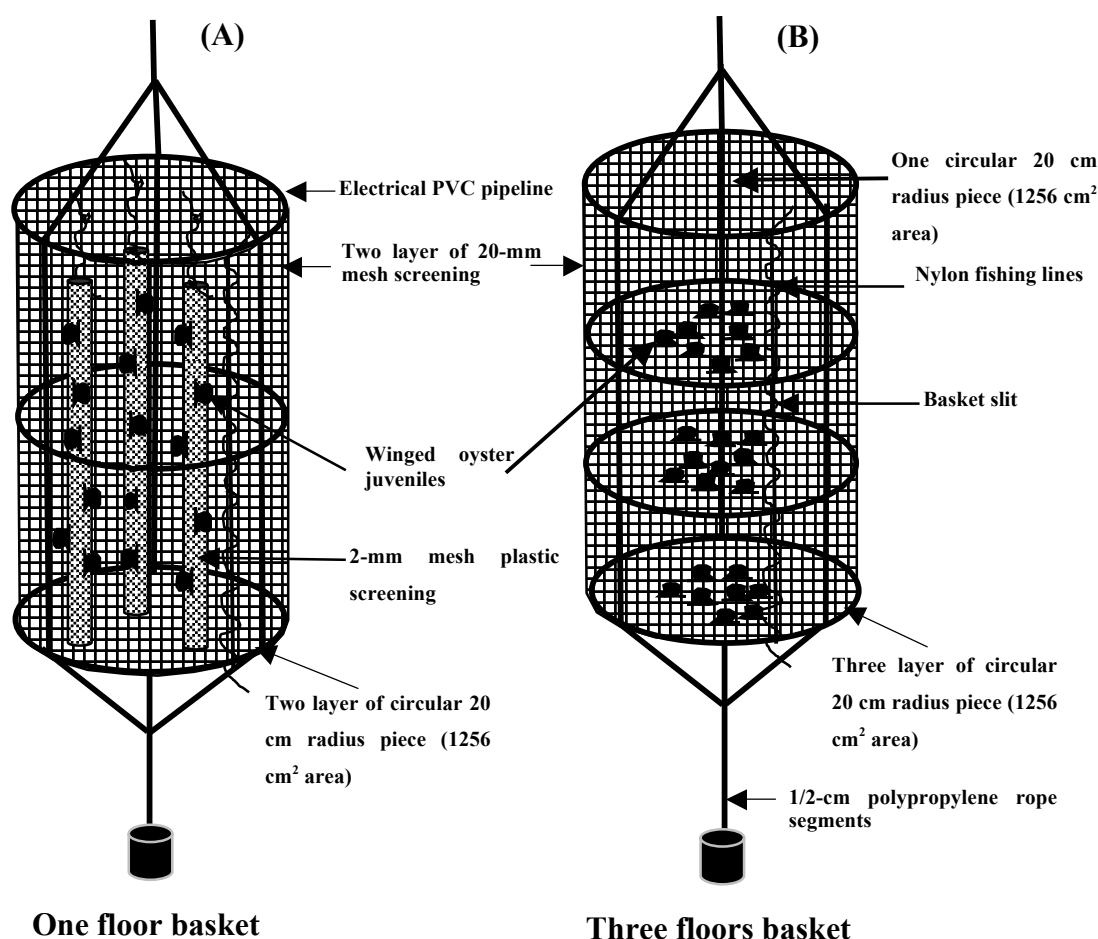


Figure 3 Two different design of the experimental baskets studied. A) one floor basket (OFB) and B) three floor basket (TFB).

Environmental variables

All variables were samples for three weeks. Water temperature was monitored with an electronic YSI 550A-12 CC. Samples for phytoplankton biomass and total seston were taken using a Niskin bottle and

transferred on board to an opaque plastic bottle. All samples were transported to the laboratory in isothermal containers. Then, two 1 L replicates were pre-filtered (153 μm) to remove large particulate matter and zooplankton and used to determine chlorophyll *a* and total particulate matter for each water depth. These samples were filtered on pre-combusted (450 °C for 4 h) and weighed GF/F 0.7- μm filters and rinsed with isotonic ammonium formate (0.5 M). Phytoplankton abundance was estimated as chlorophyll *a* using the spectrophotometric method following Strickland and Parsons (1972). Total dry particulate matter (TPM) was established as the weight measured after drying the filters to constant weight at 80 °C for 48 h. Particulate organic seston (POM) corresponded to the weight loss after ignition at 450 °C for 4 h in a muffle furnace.

Predatory action of fishes

At the end of the experimental period, the baskets were inspected for evidence of the predatory triggerfish on the mesh plastic screening and on the winged oyster individuals. Predation for each basket type and their respective replicates was gauged by the number of damaged sites on the mesh that allow the fish to insert their jaws and access the oysters, and in the number of broken or lost juveniles.

Statistical analysis

At the end of the experiment, the growth, condition index, and survival of winged oysters were analyzed using a one-way ANOVA after the verification of the assumptions of normality and homogeneity of variances. If any of these factors showed a significant effect ($p < 0.05$), a Duncan post-hoc analysis was applied. Further, biometric data (shell, soft tissue and total dry mass, length, height, intervalvar shell axis), CI and survival were also analyzed using two-way ANOVA, where biometric parameters were considered as dependent variables and two culture sites and basket design were used as fixed factors. The biometric oyster data were log-transformed and survival percentages transformed into arcsine (Sokal and Rohlf, 1979).

RESULTS

Environmental variables

Similar trends in environmental variables were observed at the Ayangue and Palmar sites (Fig. 3). The average values of Chl-*a*, POM, TPM and temperature were also similar. The largest differences between sites were noted for TPM, although not were significantly different (Fig. 3D).

Growth

Shell, soft tissues and total mass increment

Individuals of the winged oyster cultured in the long line located at Ayangue in the TFB (Fig. 4A) obtained increases in shell mass (16.60 ± 1.73 g), soft tissue mass (2.93 ± 0.21 g) and total mass (18.98 ± 1.77 g) that were significantly higher ($p < 0.05$) than for the oysters cultured in the OFB (11.60 ± 1.12 g, 1.77 ± 0.29 g and 12.36 ± 1.38 g, respectively). Similar results but to a lesser magnitude were obtained for the individuals cultivated at Palmar site (Fig. 4B). With the exception of the soft tissue mass for the oysters grown in the TFB (1.43 ± 0.36 g), no significant differences were observed between the oyster of the OFB (0.83 ± 0.28 g).

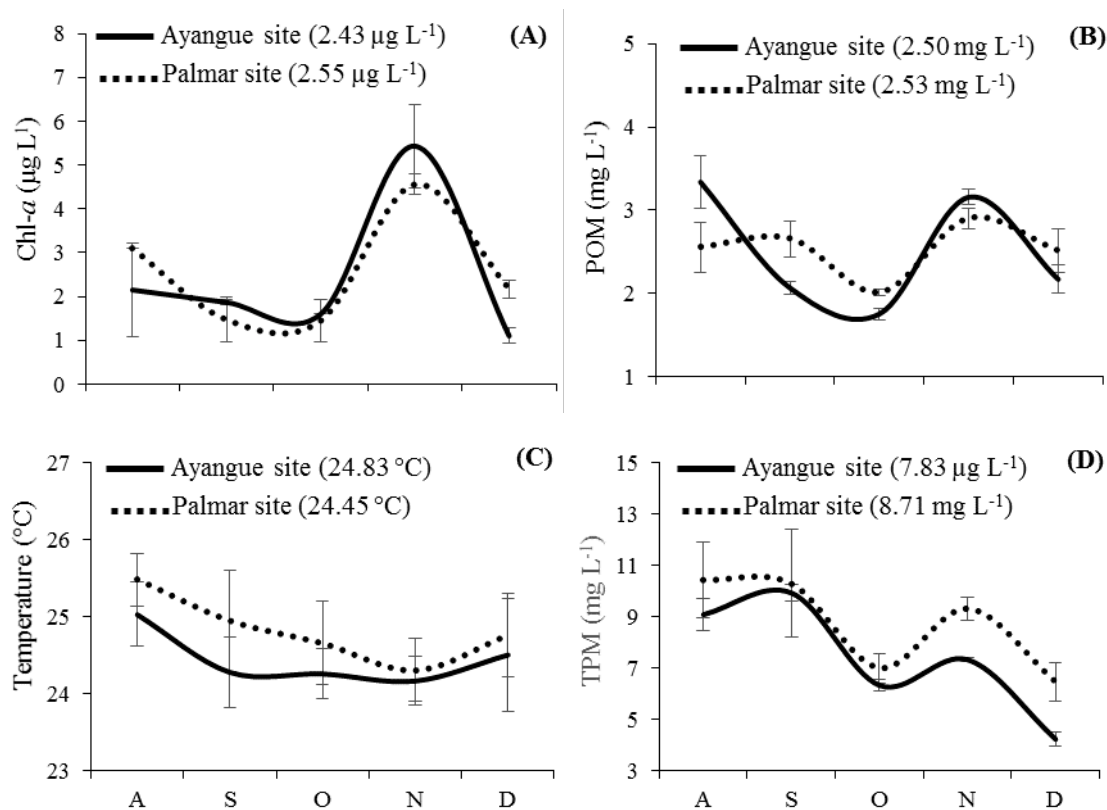


Figure 4 Environmental variables during the experimental period. A) Chlorophyll *a*; B) POM; C) Temperature; D) TPM. Freites *et al.*

Shell axis increment

No significant differences were observed between the shell axes lengths in individuals cultivated in both basket designs at Ayangue (Fig. 5A). At Palmar, however, a significantly higher increment in the length (35.58 ± 4.21 mm) and height (30.90 ± 3.97 mm) of the oysters grown in the TFB was observed (Fig. 5B) compared to the oysters cultured in the OFB (32.90 ± 1.93 mm and 28.67 ± 2.01 mm, respectively). Two-way ANOVA analysis showed that culture sites and basket design had a significant effect on the increment of the different biometric variables studied including shell mass, soft tissues mas, total mass, shell length and height ($p < 0.05$; Table 1), whereas their interactions had a non-significant effect, except for the total mass.

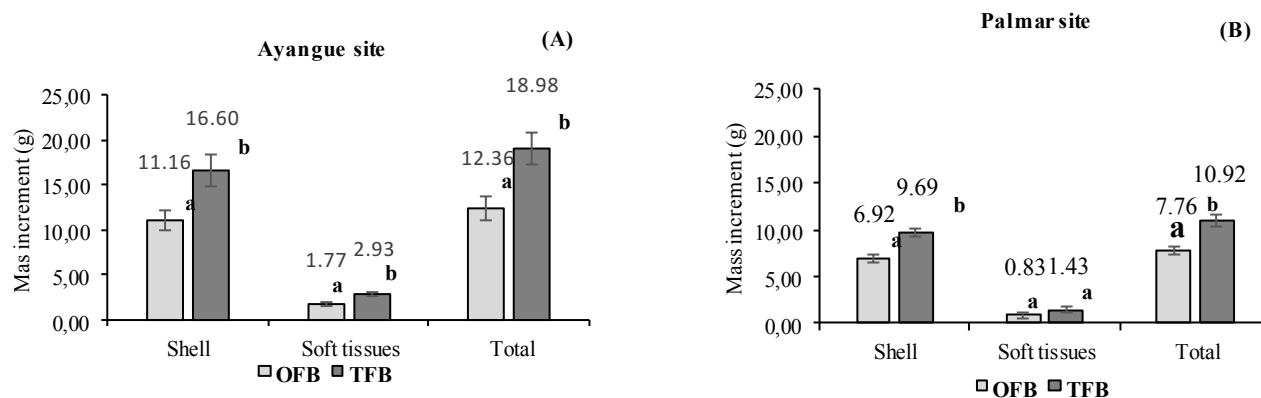


Figure 5 Increment in shell axis, soft tissues, and total mass of juveniles of the winged oyster *P. sterna* cultivated in OFB and TFB at the two different sites (Ayangue and Palmar). Different letters above the bars indicate significant differences among treatments (ANOVA, $P < 0.05$). Values over the bars represent the biometric mean.

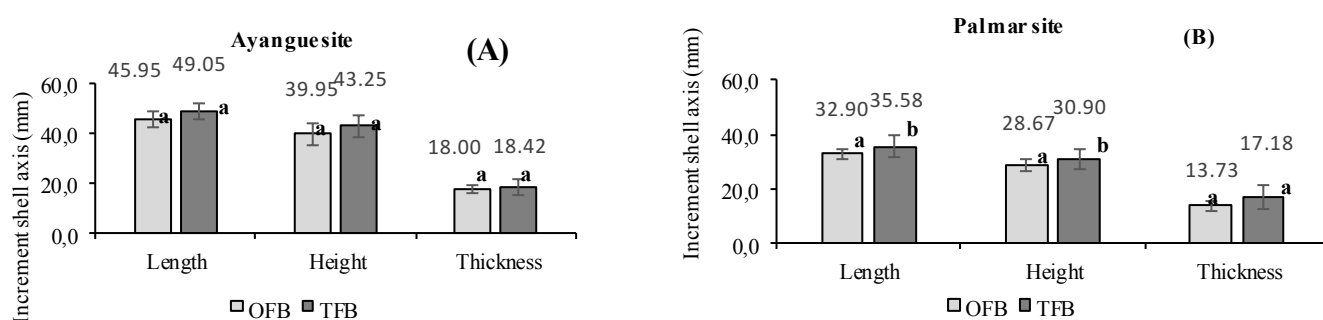
Table 1 Results of two-way ANOVA analysis evaluating the effects of ‘sites’ (Ayangue and Palmar) and ‘basket design’ (one floor and three floors) factors on the growth of shell tissue and total dry mass; besides, length, height and thickness axis of shell, condition index and survival).

Variable	Source of variation	d.f.	Sum of squares	F-ratio
Shell mass	A: Site	1	93.287	81.41***
	B: Treatment	1	50.520	44.09***
	Interaction: A*B	1	5.3681	4.68NS
	Error	8	9.1670	
Soft tissue mass	A: Site	1	4.450	53.74***
	B: Treatment	1	2.313	27.93***
	Interaction: A*B	1	0.236	NS
	Error	8	0.662	
Total mass	A: Site	1	120.295	84.78***
	B: Treatment	1	71.668	50.51***
	Interaction: A*B	1	9.024	6.36*
	Error	8	11.352	
Shell length	A: Site	1	544.033	104.63***
	B: Treatment	1	52.920	10.18**
	Interaction: A*B	1	0.963	0.19NS
	Error	8	41.60	
Shell height	A: Site	1	444.083	45.63***
	B: Treatment	1	33.333	3.42NS
	Interaction: A*B	1	1.920	0.20NS
	Error	8	35.217	
Thickness shell	A: Site	1	29.079	6.61*
	B: Treatment	1	19.969	4.54NS
	Interaction: A*B	1	8.200	1.86NS
	Error	8	35.217	
Condition index	A: Site	1	1.613	0.65NS
	B: Treatment	1	12.102	4.87NS
	Interaction: A*B	1	8.736	3.52NS
	Error	8	19.881	
Survival	A: Site	1	0	0.00NS
	B: Treatment	1	80.658	0.34NS
	Interaction: A*B	1	0	0.00NS
	Error	8	1902.880	

NS, not significant; * $p > 0.05$; ** $p > 0.01$; *** $p > 0.001$.

Condition Index

Oysters cultivated in the TFB suspended at Ayangue site showed significantly higher ($p < 0.05$) condition index (14.34 ± 1.92) than those cultivated in the OFB (10.63 ± 1.36) (Fig. 6A). In contrast, oysters grown in at Palmar site in the TFB (11.92 ± 1.66) did not show significant differences with oysters grown in the OFB (11.60 ± 1.29) (Fig. 6B). Two-way ANOVA analysis showed that at the end of the study period, basket design, culture site and their interaction had a non-significant effect on the CI ($p < 0.05$; Table 1).

**Figure 6** Increments of length, height and intervalvar axis of the shell of juveniles of the winged oyster *P. sterna* cultivate in OFB and TFB at the two different sites (Ayangue and Palmar). Different letters above the bars indicate significant differences among treatments (ANOVA, $P < 0.05$). Values over the bars represent the biometric mean.

Survival

Survival of the cultured oysters (Fig. 7) exceeded 80% at both sites and in both basket designs with no significant differences between sites. Two-way ANOVA analysis showed that at the end of the study period basket design, culture site and their interaction had a non-significant effect on survival ($p < 0.05$; Table 1).

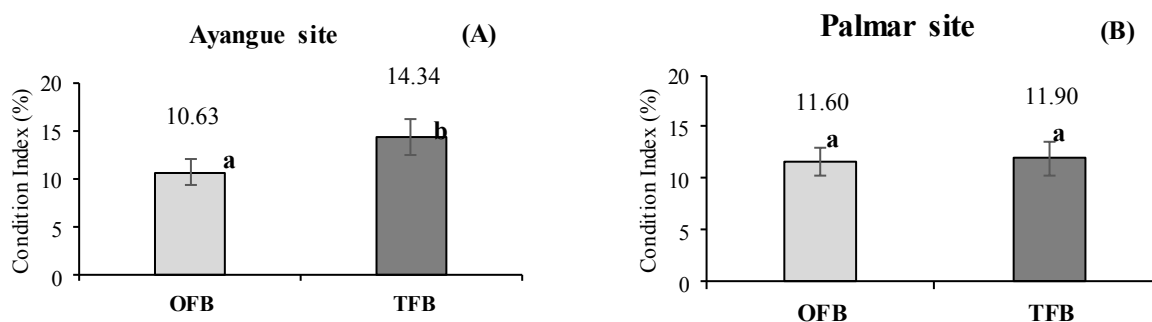


Figure 7 Condition Index (CI) of the juveniles of the winged oyster *P. sterna* cultivated in OFB and TFB at two different sites (Ayangue and Palmar). Different letters above the bars indicate significant differences among treatments (ANOVA, $P < 0.05$). Values over the bars represent the biometric mean.

Predatory activity

In neither case (site or basket design), the observed mortality could not be attributed to the predatory action of the triggerfish *Pseudobalistes naufragium* (Jordan & Starks, 1895) because the damage on the external net was of low (Fig. 8A) to medium magnitude (Fig. 8B). Neither were any juveniles of this fish species observed inside the baskets. However, juveniles of predatory gastropods of the Ranellidae and Muricidae Families, specifically individuals of *Linatella caudata* (Gmeling, 1791) and *Stramonita* (*Thais*) *biserialis* (Blainville, 1832), were observed.

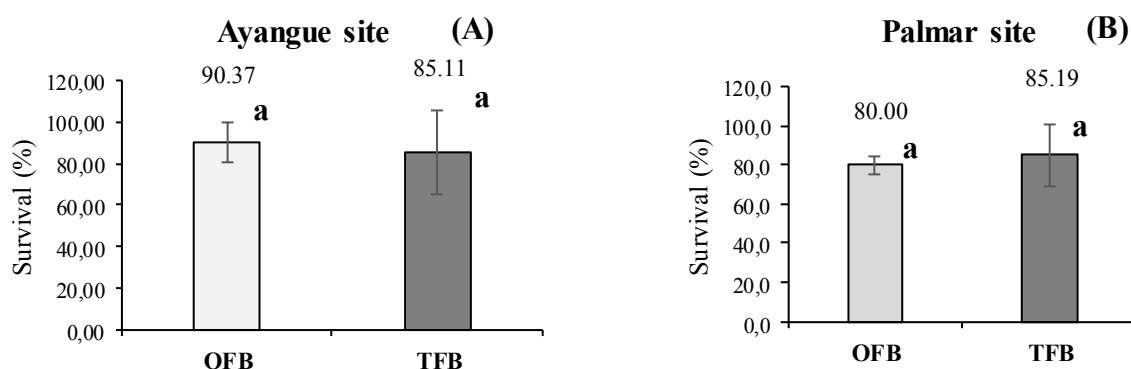


Figure 8 Survival of the juveniles of the winged oyster *P. sterna* cultivated in OFB and TFB at two different sites (Ayangue and Palmar). Different letters above the bars indicate significant differences among treatments (ANOVA, $P < 0.05$). Values over the bars represent the survival mean.

Discussion

Our results showed that the growth rate in the shell length of juveniles cultivated at Ayangue was 11.40 mm month⁻¹ (TFB) and 10.69 mm month⁻¹ (OFB). These values could be considered to be relatively high compared with the 7.15 mm month⁻¹ shown by Lodeiros *et al.* (2018) for *P. sterna* (cohort II) at the same site and over the same cultivation period (August-December). These workers used pearl net baskets protected with a cover bag made of sardine fishing net (10-mm mesh screening) to avoid predation by fishes of the family Balistidae. The lower growth rate observed by Lodeiros *et al.* (2018) could be attributed to the type of basket used, to the smaller mesh screening of the pearl nets and mesh used to protect the

baskets, or to inter-annual differences in the environmental variables such as food availability and temperature. The growth rates shown in the present study were also higher than those for *P. sterna* (0.70-7.65 mm month⁻¹) cultivated in Acapulco, Mexico, by Serna-Gallo *et al.* (2014). Growth rates of *P. sterna* (8.1 mm month⁻¹) cultivated in lantern nets at Palmar by Jara *et al.* (2016) were similar to those in the present study in TFB (8.27 mm month⁻¹). With respect to the growth rate observed in other winged oyster species in Australia, Millione and Southgate (2000) reported a shell growth rate of *Pteria penguin* of 4.4-5.4 mm month⁻¹, while Beer (1999) reported a growth rate of 5.9 mm month⁻¹. Both growth rates are relatively lower than shown here for Ecuador.

Furthermore, the rate of growth of 11.40 mm month⁻¹ for the winged oyster cultured in the TFB at Ayangue suggests that shell length could reach 80 mm in only six months, as follows:

Initial shell length (18.7 mm) + size increment obtained in TFB (49.05 mm) + one month of culture (11.40 mm) = 79.15 mm

This size is within the minimum size range required for pearl production (70–80 mm; Saucedo *et al.*, 2014), and contrasts with the 24 months projection that Gaytán-Mondragon *et al.* (1993) estimate to reach the appropriate size for nuclei implantation in this species in the Mexican Pacific.

The conditions at the culture site can influence the growth of pearl oysters (Yoo *et al.*, 1986; Pouvreau and Prasil, 2001) and winged oyster juveniles (Millione and Southgate, 2011, 2012; Freitas *et al.*, 2017). In accordance with the results of these authors, the culture site had a significant effect on the increment of the different biometric variables studied. These results suggest that, in spite of the short distance between the two sites (≈5 km), small changes in the culture conditions affect the growth rate of the cultured oysters. In this way, information on the growth performance of the winged oyster cultured under different environmental conditions is important to pearl farmers (Millione and Southgate, 2012). Shell growth rates also provide information on pearl growth, as shell increment and nacre deposition are positively correlated (Coeroli and Mizuno, 1985).

In contrast, the CI did not show significant differences between sites, suggesting that both groups of individuals had a similar physiological condition. This could be explained if the environmental variables showed similar values and trends in addition to similar average values of the experimental period. Only a minor difference in the TPM concentration was observed (<0.9 mg L⁻¹), while the differences in POM concentration were 0.03 mg L⁻¹.

The results show that the cultivated individuals did not suffer the predatory activity by the fishes of the Family Balistidae, judging by the magnitude of the damage caused to the outer layer of the basket only. Hence, the fish would not have had access to the oysters. Neither were observed any juvenile triggerfish inside the baskets. In addition, the dead oysters within the two types of baskets showed no evidence of fracture or rupture of the shells, or missing shells, as would be case if triggerfish were present. The empty shell of the dead individuals was present and without any obvious damage, which is instead characteristic of the predatory action of gastropods observed in the two basket types. These belong to the Family Rannelidae and Muricidae, specifically individuals of *Linatella caudata*. This species has been studied in the Western Pacific (Morton, 1990; Zhou and Pan, 2000), Indo-Pacific (Dharmaraj *et al.*, 1987; Muthiah *et al.*, 1987) and the Caribbean Sea (Freitas *et al.*, 2000; Malavé *et al.*, 2012). *Stramonita (Thais) biserialis*, observed in almost all of the culture baskets, have also been blamed as a predator of marine bivalves (Herbert, 2004).

Although the oysters were exposed for five months to the potential action of predators, the survival observed in both sites and types of baskets was 80% (OFB in Palmar site) whereas survival was >90% in the OFB at Ayangue site. Over the five month study period, no maintenance was carried out to eliminate predators, or cleaning of biofouling. Freitas *et al.* (2000) observed a mortality rate of 25 scallop/months (>90% scallop) that was caused by a single individual from the gastropod predator *Cymatium poulsenii* (*Synonym Linatella caudata*).

Based on the relatively high growth rates (>10 mm month⁻¹) and survival ($>80\%$), in addition to easily available cheap materials from national markets for manufacturing the baskets (<5 USD by basket), we recommend routine use of three floor baskets for the cultivation of *P. sterna*. However, new studies with the objective to determine culture condition such as management of density, depth and culture site, and influence of the environmental variables on the rate of growth, need to be carried out.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was carried out as part of the research project “Captación y cultivo de las ostras perlíferas *Pinctada mazatlanica* y *Pteria sterna*, bajo condiciones de cultivo en el medio ambiente natural, su vinculación con la comunidad y con el desarrollo productivo y económico de la provincia de Santa Elena, Ecuador”. Luis Freites participated in this study during a partnership with CENAIM (Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas) and UPSE (Universidad Estatal de la Península de Santa Elena), through the Prometeo Project of SENESCYT (Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación), Ecuador. The authors thank Andrew Dale (GEOMAR, Germany) for improving the English-language manuscript.

REFERENCES

- Alagarwami K. (1987). Cultured pearls-production and quality. In: Pearl Culture, Alagarwami, K. (ed.). Bulletin Central Marine Fisheries Research Institute, Cochin, India, 39: 107-111.
- Beer A. C. (1999). Larval culture, spat collection and juvenile growth of the winged pearl oyster *Pteria penguin*. World Aquaculture '99 abstracts. Pearl oyster Inf. Bulletin, 13: 34-35.
- Beninger G. P., Lucas A. (1984) Seasonal variations in condition, reproductive activity and gross biochemical composition of two species of adult clam reared in a common habitat: *Tapes decussatus* L. (Jeffreys) and *Tapes philippinarum* (Adams and Reeve). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 79: 19-37
- Coan E. V., Valentich-Scott P. (2012). Bivalve seashells of tropical west America. Marine bivalve mollusks from Baja California to Northern Peru (p. 1257). Santa Barbara, CA: Santa Barbara Museum of Natural History.
- Coeroli M., Mizuno K. (1985). Study of different factors having an influence upon the pearl production of the black lip pearl oyster. Proc. 5th Int. Coral Reef Symp., Tahiti, 5: 551-556.
- Dharmaraj S., Chellam A., Velayudhan T. S. (1987). Biofouling, boring and predation of pearl oyster. Bulletin Central Marine Fisheries Research Institute, Cochin, India, 39: 92-99.
- Freites L., Lodeiros C. J., Himmelman J. H. (2000). Impact of predation by gastropods and decapods recruiting onto culture enclosures on the survival of the scallop *Euvola ziczac* (L.) in suspended culture. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 244: 297-303.
- Freites L., Rojas M., Dale A.W., Márquez A., Revilla J., Lodeiros C., Troccoli L. (2017). Growth and survival of the winged oyster *Pteria colymbus* in suspended culture: influence of environmental factors associated to upwelling periods. Aquaculture International. 25: 1653-1666.
- Friedman K. J., Southgate P. C. (1999). Growout of blacklip pearl oysters, *Pinctada margaritifera* collected as wild spat in Solomon Islands. Journal Shellfish Research, 18: 159-168.
- Gaytán-Mondragon I., Cáceres-Martínez C., Tobias-Sanchez M. (1993). Growth of the pearl oysters *Pinctada mazatlanica* and *Pteria sterna* in different culture structures at La Paz Bay, Baja California Sur, México. Journal World Aquaculture Society, 24: 541-546.

- Herbert G. S. (2004). Observations on diet and mode of predation in *Stramonita biserialis* (Gastropoda:Muricidae) from the northern Gulf of California. *Festinus* 36: 41-45.
- Hickman C. (2001). Evolution and development of gastropod larval shell morphology: experimental evidence for mechanical defence repair. *Evolution Development*, 3: 18-23.
- Jara F., Gregori M., Freitas L. (2016). Prospección del crecimiento de la ostra nacarada *Pteria sterna* con miras a la futura viabilidad de la perlicultura en el Ecuador. In: XVIII Congreso Ecuatoriano de Acuicultura & Aquaexpo. Octubre 2016. p. Cámara Nacional de Acuicultura y Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.
- Lodeiros C., Rodríguez-Pesantes D., Márquez A., Revilla J., Freitas L., Lodeiros-Chacón C., Sonnenholzner S. (2018). Growth and survival of the winged pearl oyster *Pteria sterna* (Gould, 1851) in suspended culture in the tropical Eastern Pacific: Influence of environmental factors. *Aquaculture Research*, 49: 832-838.
- Malavé C., Freitas L., Lodeiros C., Mendoza J., Troccoli L., Dale A.W. (2012). Annual recruitment, predation rates and biocontrol of *Linatella caudata* (Mollusca: Gastropoda) in suspended enclosure culture of the pearl oyster *Pinctada imbricata*. *Aquaculture*, 354-355: 75-83.
- Mendoza Y., Freitas L., Lodeiros C. J., López J. A., Himmelman J. H. (2003). Evaluation of biological and economical aspects of the culture of the scallop *Lyropecten nodosus* in suspended and bottom culture. *Aquaculture*, 221: 207-219.
- Milione M., Southgate P. C. (2011). Environmental conditions and culture method effects on growth and survival of juvenile winged pearl oyster, *Pteria penguin*. *Journal Shellfish Research*, 30(2): 223-229.
- Millione M., Southgate P. C. (2012). Growth of the winged pearl oyster, *Pteria penguin*, at dissimilar sites in northeastern Australia. *Journal Shellfish Research*, 31: 13-20.
- Morton B. (1990). Prey capture, preference and consumption by *Linatella caudata* (Gastropoda: Tonnoidea: Ranellidae) in Hong Kong. *Journal of Molluscan Studies* 56 (4): 477-486.
- Muthiah, P., Sundararajan, D., Srinivasan, G. & Vaithinathan, N. (1987). Pest and predators of oysters. In: Oyster culture—status and prospects. Nayar, K.N. & Mahadevan, S. (Eds). Bulletin Central Marine Fisheries Research Institute, Cochin, India, 38: 71-74.
- Paredes C., Tarazona J., Canahuire E., Romero L., Cornejo O., Cardoso F. (1998). Presencia de moluscos tropicales de la Provincia Panameña en la costa central del Perú y su relación con los eventos El Niño. *Rev. Peru. Biol.*, 5(2), 123-128.
- Pit J. H., Southgate P. C. (2003). Fouling and predation: how do they affect growth and survival of the blacklip pearl oyster, *Pinctada margaritifera*, during nursery culture? *Aquaculture International*, 11: 545-555.
- Pouvreau S., Prasil V. (2001). Growth of the black-lip pearl oyster, *Pinctada margaritifera*, at nine culture sites of French Polynesia: Synthesis of several sampling designs conducted between 1994 and 1999. *Aquatic Living Research*, 14: 155-163.
- Quayle B. D., Newkirk G. F. (1990). Farming bivalve molluscs: methods for study and development. In: Sandifer, P.A. (Ed.), *Advances in World Aquaculture*, World Aquaculture Society, Louisiana State University, Baton Rouge, p. 293.

- Ruiz-Rubio H., Acosta-Salmón H., Olivera A., Southgate P.C., Rangel-Dávalos C. (2006). The influence of culture method and culture period on quality of half-pearls ('mabé') from the winged pearl oyster *Pteria sterna*, Gould, 1851. *Aquaculture*, 254: 269-274.
- Saucedo P. E., Monteforte M., Blanc F. (1998). Changes in shell dimensions of pearl oysters *Pinctada mazatlanica* (Hanley 1856) and *Pteria sterna* (Gould 1851) during growth as criteria for Mabé pearl implants. *Aquaculture Research*, 29: 801-814.
- Serna-Gallo I., Ruíz-Velazco J., Acosta-Salmón H., Peña-Messina E., Torres-Zepeda G., Saucedo P. (2014). Growth and reproduction patterns of the winged pearl oyster, *Pteria sterna*, cultivated in tropical environments of Mexico: Implications for pearl farming. *Ciencias Marinas*, 40: 75-88.
- Sokal R.R., Rohlf F. (1979). *Biometría: Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica*. Madrid: H. Blumé, 832 p.
- Sonnenholzner J., Alcivar G., Márquez A., Lodeiros C. (2017). Los erizos *Arbacia incisa* y *Eucidaris thouarsii* (Echinodermata) como agentes de biocontrol del "fouling" en canastas de cultivo de *Crassostrea gigas* (Mollusca: Ostreidae). *Revista de Biología Tropical*, 65: 35-41.
- Southgate P. C., Beer A. C. (2000). Growth of blacklip pearl oyster (*Pinctada margaritifera* L.) juveniles using different nursery culture techniques. *Aquaculture*, 187: 97-104.
- Southgate P., Beer A. (1996). Hatchery production of the blacklip pearl oyster. *Austasia Aquaculture*, 10(4): 58-60.
- Strickland J., Parsons T. (1972). *A practical handbook of seawater analysis*. Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada, 167, 310 pp.
- Treviño L., Vélez-Falcones J., Lodeiros C. (2019). Effects of stocking density in the grow-out culture of winged pearl oyster *Pteria sterna* (Gould, 1851) *Aquaculture Research*, 50: 964-967.
- Yoo S.K., Chang Y., Lim H.S. (1986). Growth comparison of pearl oyster *Pinctada fucata* between the two culturing areas. *Bulletin of Korea Fish Society*. 19: 591-598.
- Zhou Y., Pan J. (1999). Species, distribution and damage of *Cymatium* in sea water pearl oyster culture zones of Hainan Island. *Tropic Oceanology* 18 (1): 83-89.

Recibido: 07-05-2019
Aprobado: 22-09-2019
Versión final: 07-10-2019



Actividad antioxidante de un aceite vegetal enriquecido con la microalga cultivada *Dunaliella salina* (Chlorophyceae)

Antioxidant activity of oil vegetable enriched with the cultured microalgae *Dunaliella salina* (Chlorophyceae)

Miguel Guevara¹, Edgar Zapata-Vívenes², María León³, Mercedes Acosta^{1, 3}

¹Instituto Superior de Formación Docente "Salomé Ureña". ISFODOSU-FEM. Santo Domingo, República Dominicana

²Escuela de Acuicultura y Pesquería, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Técnica de Manabí, Bahía de Caráquez, Manabí, Ecuador

³Departamento de Biología, Escuela de Ciencias, Universidad de Oriente, Venezuela

Correspondencia: Miguel Guevara  E-mail: miguevara2003@gmail.com

Artículo original | Original article

Palabras clave

Aceite
Antioxidante
 β -caroteno
Microalga

RESUMEN | *Dunaliella salina* (Chlorophyceae) es una microalga que contiene un porcentaje considerable de pigmentos, en especial acumula niveles significativos de β -carotenos; compuestos que poseen alto poder antioxidante. En esta investigación, se evaluó la capacidad antioxidante de un aceite vegetal de soya enriquecido con *D. salina*. La biomasa de una cepa hipercarotenogénica de *D. salina* (previamente seleccionada) fue mezclada y macerada con el aceite vegetal comestible. Seguidamente, el aceite fue filtrado y almacenado a $23\pm 1^\circ\text{C}$ durante 28 días. El contenido de β -caroteno, así como la actividad antioxidante, del aceite enriquecido con la microalga fueron cuantificados durante distintos períodos de almacenamientos (0, 7, 14, 21 y 28 días), en contraste con un aceite testigo y una mezcla con un antioxidante referencial. Los resultados evidenciaron que el aceite comestible tratado con biomasa de *D. salina* mantuvo contenidos de β -caroteno de $2,1 \mu\text{g/L}$ y una actividad antioxidante de 45,6 % con respecto al aceite testigo. Esta investigación demostró el potencial antioxidante del aceite vegetal comestible enriquecido con β -caroteno obtenido de *D. salina*, sugiriendo su uso como alternativa para mejorar la vida útil de aceites vegetales.

Keywords

Oil
Antioxidant
 β -carotene
Microalgae

ABSTRACT | *Dunaliella salina* (Chlorophyceae) is a microalgae that have a considerable percentage of pigments, especially it accumulates significant levels of β -carotenes; compounds that possesses high antioxidant control. In this investigation, the antioxidant capacity of a vegetal oil of soya enriched with *D. salina* was evaluate. The biomass of a hypercarotenogenic of *D. salina* (selected previously); it was mixed and macerated with the eatable vegetable oil. Subsequently, the oil was filtered and stored to $23\pm 1^\circ\text{C}$ during 28 days. The content of β -carotene, as well as the antioxidant activity, of the oil enriched with the microalgae were quantified during diverse storage periods (0, 7, 14, 21 y 28 days), in contrast with a control oil and mixture with a referential antioxidant. The results evidence that the eatable oil treaty with biomass of *D. salina* maintain contents of β -carotene of $2.1 \mu\text{g/L}$ and an antioxidant activity of 45.6% in contrast to the control oil. This investigation demonstrated the antioxidant potential of eatable vegetable oil enriched with *D. salina*, suggesting the use as alternative to improve the useful life of vegetal oils.

INTRODUCCIÓN

Dunaliella salina (Chlorophyceae) es una microalga que carece de una pared celular, lo que le permite efectuar rápidos cambios de volumen en respuesta a cambios externos de la presión osmótica (Ben-Amotz, 1987). Esta especie presenta formas variables y su tamaño oscila entre 12-16 μm de largo y de 25-28 μm de ancho (Ben-Amotz y Avron, 1983; Borowitzka y Borowitzka, 1988). *D. salina* contiene entre 50 a 60% de proteínas y un porcentaje considerable de pigmentos como clorofila, carotenoides y xantofilas, los cuales por su actividad pro-vitámica tienen aplicación tanto en la industria alimentaria como farmacéutica (Hernández *et al.*, 1999).

Numerosos estudios han demostrado que *D. salina* acumula altas concentraciones de β -caroteno como respuesta a la limitación de nutrientes y exposición de luz UV (Ben-Amotz *et al.*, 1982; Ben-Amotz y Avron, 1983), estrés salino (Borowitzka *et al.*, 1990) y alta irradiancia (Ben-Amotz y Avron, 1989; Xu *et al.*, 2018). La capacidad carotenogénica de diferentes cepas del género *Dunaliella*, aisladas en las costas venezolanas, ha sido demostrada por Guevara *et al.* (2005) y Romero *et al.* (2008). La acumulación de β -carotenos en esta microalga ha sido sugerido como un posible mecanismo de protección celular (Sánchez *et al.*, 2006). Adicionalmente, Yépez y Morales (1998) estudiaron el comportamiento de *D. viridis* en función de la concentración de nutrientes a distintas salinidades, y Vásquez *et al.* (2007) evaluaron el crecimiento y los cambios en la composición bioquímica en diferentes cepas de *Dunaliella*.

Los aceites vegetales comestibles están constituidos por compuestos lipídicos obtenidos a partir de semillas u otras partes de las plantas, los cuales son destinados al consumo humano y/o animal (Zoué *et al.*, 2012). La incorporación de sustancias antioxidantes en tales aceites presenta un valor agregado, lo cual permite retardar algunas reacciones de autooxidación de sus componentes (ácidos: oleico, palmitoleico, linoleico y linolénico), evitando la rancidez del producto. Usualmente, en los aceites comestibles se emplean sustancias sintéticas de alto poder antioxidante como el terbutil hidroxiquinona (TBHQ) y terbutil hidroxianisol (BHA); sin embargo, se sospecha que pueden ser peligrosos para la salud (Ree *et al.*, 2001).

Los carotenoides han sido utilizados principalmente en la industria de los alimentos como colorantes, además que incorporan aromas, evitan la degradación de los alimentos (Marasco y Schmidt, 2003) e inhibición de daños oxidativos (Maldonado *et al.*, 2007). Se conoce que existen alternativas de uso de carotenoides aislados de algunas microalgas (por ejemplo *D. viridis* y *Haematococcus* sp.) en aceites vegetales (Moulton y Burford, 1990; Kang y Sim, 2008). De acuerdo a esta información, en este trabajo se evaluó la capacidad antioxidante, a distintos períodos de almacenamientos, de un aceite vegetal comestible enriquecido con una cepa hipercarotogénica cultivada de *D. salina*.

METODOLOGÍA

Organismos y condiciones de cultivo

D. salina (cepa Perú) fue cultivada durante 14 días a $23 \pm 1^\circ\text{C}$ en agua de mar filtrada (200 UPS; filtros Whatman GF/C), esterilizada en autoclave ($120^\circ\text{C}/15\text{ min}/15\text{ psi}$) y enriquecida con medio f/2 (Guillard, 1975) con una concentración de nitrato 0,5 mM. Los cultivos (por triplicado) recibieron aireación constante a $200\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ y fueron sometidos a una irradiancia de 15 000 lux con un fotoperiodo de 12:12 (Romero *et al.*, 2008). Esta cepa fue seleccionada a partir de un ensayo experimental previo donde se contrastaron siete diferentes cepas: cepa Coche (BGAUDO-21); cepa Coquimbo (BGAUDO-13); cepa Conc 007 (BGAUDO-48); cepa Perú (BGAUDO-62); cepa BGAUDO 19/30; cepa UTEX 2538 y cepa UTEX LB 1644. Todas estas cepas se encuentran depositadas en el Banco de Germoplasma de algas de la Universidad de Oriente del Instituto Oceanográfico de Venezuela. La cepa Perú, con una $K=0,53\text{ Div día}^{-1}$, $TD=1,88$ días y densidad máxima de $0,76 \times 10^6\text{ cel.mL}^{-1}$, fue seleccionada por presentar los mayores niveles de carotenoides totales ($8,93 \pm 0,48\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$) con respecto a las cepas evaluadas.

Preparación del aceite

Muestras de 100 mL (por triplicado) de los cultivos de *D. salina* (cepa Perú) se filtraron al vacío en equipo Millipore, usando filtros de fibra de vidrio de 47 mm de diámetro y $1,2\text{ }\mu\text{m}$ de tamaño de poro. La biomasa de microalgas retenida fue triturada junto con 50 mL de aceite vegetal comestible (aceite de soya) durante 15 minutos. Seguidamente, este extracto fue filtrado y almacenado en frascos ámbar a $23 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 28 días. El contenido de β -caroteno y actividad antioxidante presente en el aceite vegetal mezclado con *D. salina* fueron evaluados a intervalos de 7 días.

Contenido de β caroteno

El aceite vegetal con o sin *D. salina* fue mezclado, de manera separada, con 25 mL de n-hexano (100%) durante 5 min. Posteriormente, se midió la absorbancia a $\lambda=446$ nm en un espectrofotómetro Jenway, modelo 6104. El contenido de β caroteno se calculó usando la siguiente fórmula:

$$\beta - \text{caroteno } (\mu\text{g/L de extracto}) = \frac{[(V \times 383 \times (A_{bm} - A_{bb}))]}{100 \times P_m}$$

donde: V es el volumen de hexano (en mL); 383 es el coeficiente de extinción molar del β -caroteno; A_{bm} es la absorbancia de la muestra; A_{bb} es la absorbancia del blanco y P_m es la masa (en mg) de la muestra (Dauqan *et al.* 2011).

Actividad antioxidante

Para evaluar la actividad antioxidante del aceite vegetal fue empleado el método de la oxidación linoleico- β - caroteno (Miller, 1971). Este método se basa en la capacidad de diversos extractos de disminuir la decoloración oxidativa del β caroteno en una emulsión ácida de β caroteno/ácido linoleico. El ácido linoleico se oxida fácilmente en presencia de agua oxigenada y, los radicales generados atacan al β -caroteno, provocando su oxidación con la correspondiente pérdida de absorbancia a $\lambda=470$ nm.

Un mililitro de una solución de β caroteno en cloroformo (100 m/v) fue colocado en un matraz de 100 mL de capacidad; seguidamente, se evaporó el cloroformo con una corriente de nitrógeno y se añadió 20 mL de una solución madre antioxidante (constituida por 20 mg de ácido linoleico, 200 μ L de Tween 80, y 50 mL de agua desionizada saturada con oxígeno) y 800 μ L del aceite vegetal a evaluar: (1) aceite solo (testigo), (2) aceite enriquecido con carotenoides de *D. salina* y (3) aceite con butilato de hidroxitolueno (como antioxidante referencial). Como blanco se usó la solución madre antioxidante. Se le midió la absorbancia a $\lambda=470$ nm previa agitación como tiempo cero contra la solución blanco. Seguidamente, se incubó a 50°C por 2 horas, haciendo lecturas de las absorbancias cada 15 minutos. La actividad antioxidante fue calculada como el porcentaje de inhibición, mediante la cinética de disminución de las absorbancias, mediante la siguiente ecuación: %AA = $\frac{(R_{\text{blanco}} - R_{\text{muestra}})}{R_{\text{blanco}}} \times 100$; donde: R_{blanco} y R_{muestra} son las tasas de blanqueo del β -caroteno en el blanco y en las muestras, es decir la pendiente (m).

Análisis estadísticos

Los datos del contenido de β -caroteno y la actividad antioxidante en el aceite vegetal enriquecido con carotenoides de la cepa de *D. salina* seleccionada se analizaron a través de un análisis de varianza dos factores (tiempo de almacenamiento y aceite tratado) (Sokal y Rohlf, 2012).

RESULTADOS

β -caroteno

El aceite vegetal (testigo) utilizado como solvente de extracción presentó promedios iniciales de 2,0 mg/L de β caroteno. La adición de *D. salina* aumentó el contenido de este pigmento a 4,46 mg/L, evidenciando la potencialidad del aceite como extractante de β -caroteno desde la microalga. El contenido de β -caroteno mostró diferencias significativas ($F_s= 231,7$; $p < 0,05$) entre los diferentes tipos de aceites (aceite vegetal solo y del aceite vegetal enriquecido), incluso en los tiempos de almacenamiento ($F_s= 25,85$; $p < 0,05$). Se observó una ligera tendencia a la disminución en el contenido de β -caroteno en el transcurso del almacenamiento para ambos tratamientos (Fig. 1).

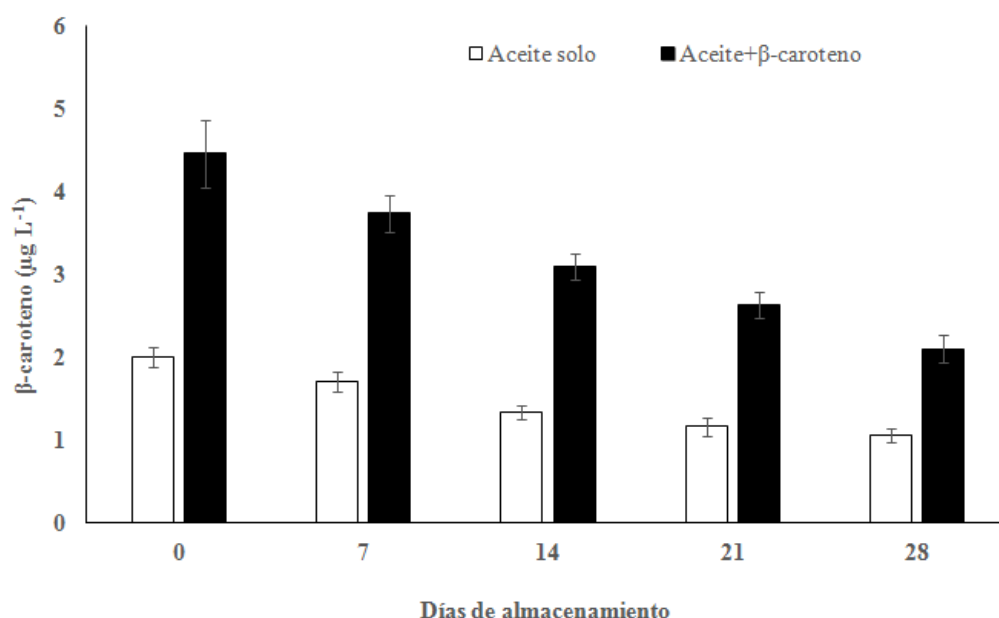


Figura 1 Contenido de β -caroteno en el aceite vegetal comestible y en el aceite enriquecido con *Dunaliella salina* durante los diferentes días de almacenamiento.

Actividad antioxidante

La actividad antioxidante entre los diferentes tipos aceites analizados y los días de almacenamiento presentó diferencias significativas ($F_s = 546,91$; $p < 0,05$) (Fig. 2). Se observó que, durante los 28 días de almacenamiento, el aceite comestible enriquecido con *D. salina* exhibió un mayor protección antioxidante con respecto al aceite testigo; aunque no supera la actividad antioxidante mostrada por el aceite comestible tratado con BHT (antioxidante referencial), observándose una reducción en su actividad antioxidante a partir del día 14. Hasta el día 28, el aceite enriquecido con β -caroteno mantuvo una actividad antioxidante del 45% con respecto al aceite testigo.

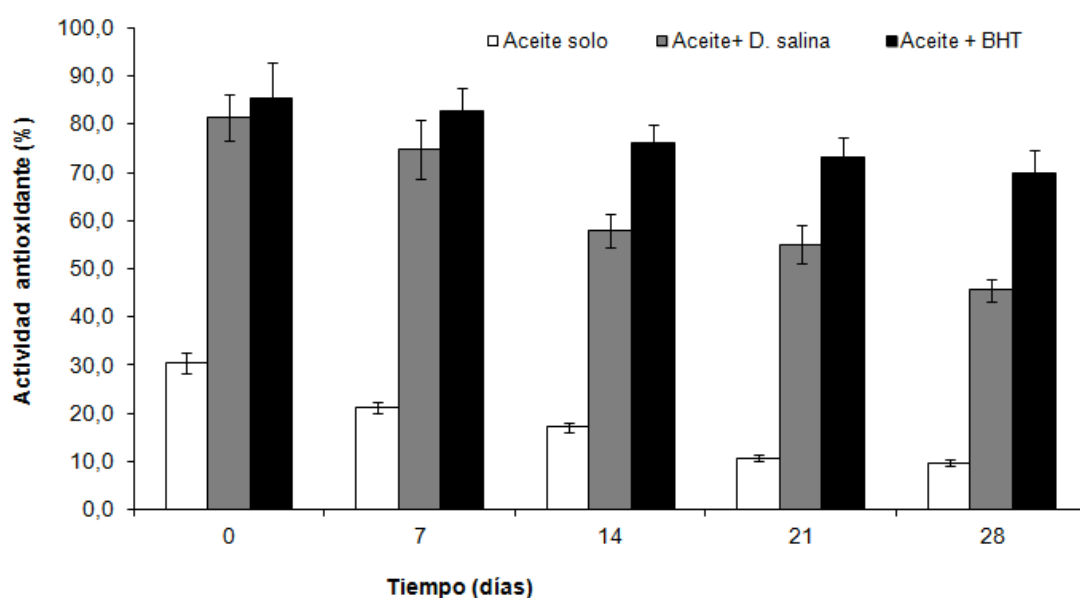


Figura 2 Actividad antioxidante de los diferentes tipos de aceites (solo, aceite enriquecido con *D. salina* y aceite con butilato de hidroxitolueno (BHT) durante los diferentes días de almacenamiento.

DISCUSIÓN

El uso de aceite vegetal comestible como solvente de extracción de β -caroteno de *D. salina* resultó ser efectivo, dado que este pigmento constituyó el 50% de los carotenoides totales. Resultados similares han sido referidos por Moulton y Burford (1990), quienes al tratar la biomasa de *D. viridis* con aceite vegetal lograron extraer hasta un 70% de β -caroteno. De igual forma, Kang y Sim (2008) indicaron que el uso del aceite vegetal como solvente es mejor para extraer carotenoides, obteniendo niveles entre 87-94% de astaxantina a partir de *Haematococcus*, utilizando diferentes tipos de aceites vegetales (oliva, soya, maíz y semillas de uva).

Investigaciones más recientes han puesto de manifiesto que los carotenoides de las microalgas pueden enriquecer los aceites, permitiendo mejorar su calidad nutricional. Adicionalmente, fue observado un incremento en la coloración del aceite vegetal, el cual se tornó de amarillo pálido hasta naranja suave, lo cual se debió a la presencia de los carotenoides de *D. salina*. Similarmente, Limón *et al.* (2014) encontraron que la inclusión de extractos de la microalga *Scenedesmus almeriensis* es una buena estrategia para mejorar la calidad del aceite oliva al incrementar su contenido de carotenoides e intensificar su color.

La mayor estabilidad y actividad antioxidante del aceite vegetal enriquecido con *D. salina*, durante su periodo de almacenamiento, pudo deberse mayoritariamente a la incorporación del β -caroteno. Al respecto, Stahl y Sies (1995), Aparicio *et al.* (1999) y Limón *et al.* (2014) indicaron que los carotenoides funcionan como compuestos antioxidantes, siendo los responsables de la estabilidad en el aceite de oliva. De igual forma, Rao *et al.* (2007) demostraron un aumento de la actividad antioxidante de aceite vegetal enriquecido con astaxantina extraído de *Haematococcus pluvialis*.

El uso de este aceite enriquecido con β -caroteno de *D. salina* podría ser utilizado como ingrediente en dietas para organismos cultivados, dado que se ha demostrado que muchos animales acuáticos depositan los carotenoides, obtenidos principalmente de foto-autótrofos (microalgas), en sus gónadas, caparazones, músculos e integumentos (De Carvalho y Caramujo, 2017), siendo éstos responsables del incremento de la supervivencia de sus larvas (Tsushima *et al.*, 1997).

Con esta investigación se corrobora que el enriquecimiento de los aceites vegetales con microalgas hipercarotenogénicas de *D. salina* aumenta su estabilidad durante el almacenamiento, proponiéndose como una estrategia para asegurar el consumo de estos compuestos. Además, los carotenoides, específicamente β -caroteno de *D. salina* se absorbe mucho más rápido por el organismo que muchas frutas, vegetales y suplementos (Granado *et al.*, 2009). Hasta la fecha existen escasos reportes sobre la comercialización de aceites vegetales enriquecidos con carotenoides de microalgas, por lo que la optimización de este tipo de productos sería de mucha importancia para el tratamiento de enfermedades causadas por deficiencias de antioxidantes.

CONCLUSIONES

El aceite vegetal enriquecido con *D. salina* mantuvo su actividad antioxidante casi en 45% durante los 28 días de almacenamiento. El uso de extractos obtenidos de *D. salina*, ricos en β -carotenos, puede ser una excelente alternativa para mejorar la vida útil de los aceites vegetales comestibles.

CONFLICTO DE INTERESES

No se declara conflicto de intereses.

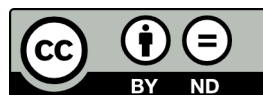
REFERENCIAS

Aparicio R., Roda L., Albi M., Gutiérrez F. (1999). Effect of various compounds on virgin olive oil stability measured by Rancimat. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47: 4150-4155.

- Ben-Amotz A., Katz A., Avron M. (1982). Accumulation of β -carotene in halotolerant algae: purification and characterization of β -carotene rich globules from *Dunaliella bardawil* (Chlorophyceae). *Journal of Phycology*, 25: 175-178.
- Ben-Amotz A., Avron M. (1983). On the factors which determine massive β -carotene accumulation in the halotolerant algae *Dunaliella bardawil*. *Journal of Plant Physiology*, 72: 593-597.
- Ben-Amotz A. (1987). Effect of irradiance and nutrient deficiency on the chemical composition of *Dunaliella bardawil* Ben-Amotz and Avron (Volvocales, Chlorophyta). *Journal of Plant Physiology*, 131: 479-487.
- Ben-Amotz A., Avron M. (1989). The biotechnology of mass culturing *Dunaliella* for products of commercial interest. En: *Algal and Cyanobacterial biotechnology*. Creswell, R.; Rees, T. y Shah, N. (eds). Logman scientific and technical press, Londres. Págs. 90-113.
- Borowitzka M., Borowitzka L. (1988). *Dunaliella*. En: *Microalgal biotechnology*. Borowitzka, M., Borowitzka, L. (eds). Cambridge University Press, Cambridge. Págs. 27-58.
- Borowitzka M., Borowitzka L., Kessly D. (1990) Effects of salinity increase on carotenoid accumulation in the green alga *Dunaliella salina*. *Journal of Applied Phycology*, 2: 111-119.
- Dauqan E., Abdullah H., Abdullah A., Muhamad H., Gapor A. (2011). Vitamine E and β -carotene composition in four different vegetable oils. *American Journal of Applied Sciences*, 8(5): 407-412.
- De Carvalho C., Caramujo M. (2017). Carotenoids in aquatic ecosystems and aquaculture: A Colorful business with implications for human health. *Frontiers in Marine Science*, 4:93.doi: 10.3389/fmars.2017.00093
- Guevara M., Lodeiros C., Gómez O., Lemus N., Núñez P., Romero L., Vásquez A., Rosales N. (2005). Carotenogénesis de cinco cepas del alga *Dunaliella sp.* (Chlorophyceae) aisladas de lagunas hipersalinas de Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 53: 331-337.
- Guillard R. (1975). Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates. En: *Culture of marine invertebrate animals*. Smith, W. y Chanley, M. (eds). Plenum Press, New York. Págs. 29-60.
- Granado F., Herrero C., Acién G., Molina E., Fernández J., Pérez B. (2009). *In vitro* bioaccessibility of lutein and zeaxanthin from the microalgae *Scenedesmus almeriensis*. *Food Chemistry*, 114: 747-752.
- Hernández L., Quintanilla M., Morris H., Fernández M. (1999). Contenido de algunas vitaminas en cultivos de microalga *Chlorella sp.* *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 13: 9-13.
- Kang C., Sim S. (2008). Direct extraction of astaxanthin from *Haematococcus* culture using vegetable oils. *Biotechnology Letters*, 30: 441-444.
- Limón P., Malheiro R., Casal S., Acién G., Fernández J., Rodríguez N., Cruz R., Bermejo R., Pereira J. (2014). Improvement of stability and carotenoids fraction of virgin olive oils by addition of microalgae *Scenedesmus almeriensis* extracts. *Food Chemistry*, 175: 203-211.
- Maldonado I., Scamparini A., Rodríguez D. (2007). Selection and characterization of carotenoid producing yeasts from Campinas region, Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*, 38: 65-70.
- Marasco E., Schimdt, C. (2003). Towards the biotechnological production of aroma and flavour compounds in engineered microorganisms. *Applied Biotechnology*, 1(3): 145-157.
- Miller H. (1971). A simplified method for the evaluation of antioxidant. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 45: 91-98.
- Moulton T., Buford M. (1990). The mass culture of *Dunaliella viridis* (Volvocales, chlorophyta) for oxygenated carotenoids: laboratory and pilot plant studies. *Hidrobiologia*, 204: 401-408.

- Ree M., Fujiwara H., Thompson D. (2001). Comparative metabolism, covalent binding and toxicity of BHT congeners in rat liver slices. *Chemico-Biological Interactions*, 138: 155-170.
- Rao, A. R., Sarada, R., Ravishankar G. A. (2007). Stabilization of astaxanthin in edible oils and its use as an antioxidant. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(6), 957–965.
- Romero L., Guevara M., D'Armas H., Lodeiros C. (2008). Cuantificación de carotenoides totales y β -caroteno en dos cepas de *Dunaliella salina* (Chlorophyta, Volvocales) aisladas de lagunas hipersalinas de Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 47(1): 67– 76.
- Sánchez L., Freile Y., Rivera R., Robledo D., Narvaéz J. (2006). Regulation of two photosynthetic pigment-related genes during stress-induced pigment formation in the green alga, *Dunaliella salina*. *Biotechnology Letters*, 28: 787-791.
- Stahl W., Sies H. (2003). Antioxidant activity of carotenoid. *Molecular Aspects of Medicine*, 24: 345-351.
- Sokal R., Rohlf F. (2012). *Biometry*, 4th edn. W.H. Free-man and Co., New York.
- Tsushima M., Kawakami T., Mine M., Matsuno T. (1997). The role of carotenoids in the development of the sea urchin *Pseudocentrotus depressus*. *Invertebrate Reproduction Development*, 32: 149–153. doi: 10.1080/07924259.1997.9672616
- Vásquez A., Guevara M., Salazar G., Arredondo B., Cipriani R., Lemus N., Lodeiros C. (2007). Crecimiento y composición bioquímica de cuatro cepas de *Dunaliella* para ser utilizadas en acuicultura. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 41: 181-194.
- Xu Y., Ibrahim I., Wosu C., Ben-Amotz A., Harvey P. (2018). Potential of new isolates of *Dunaliella salina* for natural β -carotene production. *Biology*, 7:1-18.
- Yépez M., Morales E. (1998). Efecto de la concentración de nitrato y cloruro de sodio sobre la densidad celular y contenido de pigmentos de *Dunaliella viridis*. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 32(1): 1-12.
- Zoué L., Bédikou M., Gonnety J., Faulet B., Niamké S. (2012). Two novel non-conventional seed oil extracts with antioxidant and antimicrobial activities. *Tropical Journal of Pharmaceutical*, 11(3): 469-475.

Recibido: 18-07-2019
Aprobado: 19-08-2019
Versión final: 14-10-2019



Presuntas hipnosporas de *Perkinsus* sp. en la almeja *Megapitaria squalida* del golfo de California

Presumptive *Perkinsus* sp. hyphospores in the clam *Megapitaria squalida* from the Gulf of California

Andrés Martín Góngora-Gómez¹, Juan Francisco Arzola-González², Lizeth Carolina Villanueva-Fonseca¹, Felipa Sotelo-López, Juan Antonio Hernández-Sepúlveda¹, Manuel García-Ulloa¹

¹Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Sinaloa, Guasave, Sinaloa, Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes No. 250, Col. San Joaquín, AP 280, Guasave, Sinaloa, CP 81101, México. Tel: + 687 8729626, ext. 87651, México

²Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa, México

Correspondencia: Manuel García-Ulloa  E-mail: turbotuag@hotmail.com

Artículo original | Original article

Palabras clave

Parasitología
Almeja
Prevalencia
Infección
Sinaloa

RESUMEN | Se detectaron presuntas hipnosporas de *Perkinsus* sp. en una población silvestre de la almeja *Megapitaria squalida* (enero-diciembre 2013) al norte del estado de Sinaloa, México, con la técnica de tinción de tioglicolato (MFTR). Se colectaron 30 almejas cada mes ($64,08 \pm 4,75$ mm altura de la concha y $68,76 \pm 14,34$ g de peso). Se obtuvieron los parámetros fisicoquímicos del agua (temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, profundidad y transparencia). La prueba MFTR detectó células esféricas de color oscuro, indicando la presencia de presuntas hipnosporas de *Perkinsus* sp. todos los meses de muestreo menos en diciembre. La intensidad de la infección promedio fluctuó de negativa a ligera, mientras que la prevalencia máxima fue de 70% observada en mayo. La carga parasitaria mostró correlación con los indicadores métricos de la almeja. No se obtuvo correlación ($p > 0.05$) entre la prevalencia del patógeno con todos los parámetros estudiados. Los resultados sugieren que *M. squalida* es poco susceptible a la infección de *Perkinsus* sp.

Keywords

Parasitology
Clam
Prevalence
Infection
Sinaloa

ABSTRACT | Presumptive *Perkinsus* sp. hyphospores were detected in a wild population of the callista clam *Megapitaria squalida* (January-December 2013) from the north of the state of Sinaloa, Mexico, using the thioglycollate staining technique (MFTR). 30 clams were collected each month (64.08 ± 4.75 mm shell height and 68.76 ± 14.34 g weight). The physicochemical parameters of the water (temperature, salinity, pH, dissolved oxygen, depth, and transparency) were obtained. The MFTR test detected spherical cells of dark color every sampling month, except in December, indicating the presence of presumptive *Perkinsus* sp. hyphospores. The intensity of infection fluctuated from negative to light, while the maximum prevalence was 70% observed in May. The parasitic load showed correlation with the metric indicators of the clam. No correlation ($p > 0.05$) was obtained between the prevalence of the pathogen with all the parameters studied. The results suggest that *M. squalida* is little susceptible to the infection of *Perkinsus* sp.

INTRODUCCIÓN

Los protozoarios del género *Perkinsus* spp. han sido asociados a la mortalidad de varias especies de moluscos bivalvos de importancia comercial, y en ocasiones, se mencionan como los responsables directos de colapsos en la producción, entre los que destacan reportes para diversas especies de ostiones y almejas en diferentes países. En poblaciones silvestres, por ejemplo, Sanil *et al.* (2012) registraron por primera vez la presencia de *Perkinsus beihaiensis* en bancos naturales del ostión *Crassostrea madrasensis* en la costa

sur de la India, mientras que el mismo parásito fue detectado por Pinho Ferreira *et al.* (2015) en ejemplares de una comunidad silvestre de la almeja *Anomalocardia brasiliensis* en Brasil. Diferentes especies de *Perkinsus* spp. (*P. atlanticus* y *P. olseni*) se encontraron en almejas dentro del Mar Mediterráneo y en costas del noroeste del Atlántico noreste (Murrel *et al.*, 2002; Ruano *et al.*, 2015). *Perkinsus marinus* fue señalado como el responsable de mortalidades en el ostión del este *Crassostrea virginica*, en la línea de costa del Atlántico estadounidense durante el siglo pasado (Ray, 1996).

En México, Cáceres-Martínez y Vázquez-Yeomans (2013) reportaron un inventario de enfermedades y parásitos en ostiones comercialmente importantes, destacando la presencia de *P. marinus* en el ostión del este *C. virginica* en varias lagunas costeras del Golfo de México. Por el lado del Océano Pacífico, Enríquez-Espinoza *et al.* (2010) asociaron la mortalidad de *C. gigas* cultivado en el Golfo de California, a la infección de *P. marinus*. Más hacia el sur, el mismo parásito fue reportado en el ostión de piedra *Crassostrea corteziensis* (Cáceres-Martínez *et al.*, 2010) y el ostión de mangle *Saccostrea palmula* (Cáceres-Martínez *et al.*, 2012). La prevalencia e intensidad de la infección de *Perkinsus* sp. en un cultivo de *C. gigas* en la costa media de Sinaloa fue reportada por Villanueva-Fonseca y Escobedo-Bonilla (2013). Mientras que el desarrollo de *P. marinus* en ostreidos está más vinculado a la salinidad en el Golfo de México (Cáceres-Martínez y Vázquez-Yeomans, 2013), los meses más calurosos del año dictan la expresión del parásito en las especies de bivalvos del Golfo de California y costa del Pacífico mexicano, como reportaron Cáceres-Martínez *et al.* (2012) y Villanueva-Fonseca y Escobedo-Bonilla (2013). Sin embargo, todos los registros de *Perkinsus* spp. fueron realizados en ostreidos de importancia comercial y son pocos los reportes disponibles acerca de otras especies de bivalvos de menor relevancia. En Sonora, Enríquez-Espinoza *et al.* (2015) encontró *P. marinus* en un cultivo de la almeja *Chione fluctifraga*, mientras que Góngora-Gómez *et al.* (2016) detectaron *Perkinsus* sp. en el callo de hacha *Atrina maura* de una población silvestre del norte de Sinaloa.

Una parte del trabajo que el grupo de investigación del Laboratorio de Malacología (LM) del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Sinaloa (CIIDIR-Sinaloa), del Instituto Politécnico Nacional (IPN) desarrolla en las poblaciones naturales de bivalvos de Sinaloa, se enfoca en estudiar la dispersión de este parásito en otras especies importantes para la economía estatal y nacional. El presente trabajo, complementa la información que ha sido generada para la almeja chocolate mexicana *Megapitaria squalida*, de la que existen solamente reportes técnicos o tesis en poblaciones silvestres (Góngora-Gómez, en revisión) y cultivadas (Góngora-Gómez *et al.*, aceptado en Hidrobiológica), en la costa central de Sinaloa. El objetivo de este estudio consiste en reportar la prevalencia e intensidad de infección de *Perkinsus* sp. de una población natural de la almeja *M. squalida* al norte de Sinaloa, dentro del Golfo de California, usando la técnica del medio fluido de tioglicolato de Ray.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las almejas (n = 30 cada mes) fueron recolectadas del estero Bacorehuis, Sinaloa (26° 16' 00" N y 109° 07' 59" O) mediante buceo libre (< 1 m de profundidad), desde enero a diciembre de 2013. Los ejemplares se colocaron en un recipiente con agua de mar fresca y aireación constante para ser transportados al LM. Los parámetros del agua (temperatura, oxígeno, salinidad, pH, transparencia y profundidad) se registraron cada mes en el sitio de muestreo.

Antes de ser procesadas para *Perkinsus* sp., las almejas fueron lavadas, medidas (altura, longitud y ancho de la concha, mm) y pesadas (g). Inmediatamente después, se desconcharon y se realizó un análisis visual de la condición morfológica de los tejidos, en los cuales, no se observaron deformaciones, coloración inusual ni daño físico que sugirieran un efecto infeccioso del parásito. Después, se abrieron para extraer una muestra de 5 g de tejidos, la cual, fue colocada en un tubo conteniendo Medio Fluido de Tioglicolato de Ray, MFTR (agua = 750 ml, MFTR = 23,35 g, dextrosa = 21,77 g, NaCl = 14,46 g, pemprocilina = 500 U/ml, estreptomycin = 500 U/ml y nistatina = 500 U/ml) para su incubación durante 7 días en oscuridad, a 22-25 °C (OIE, 2009). Finalmente, las muestras fueron colocadas en un portaobjetos, teñidas con dos gotas de lugol (20%), maceradas con una hoja de bisturí y cubiertas con un cubreobjetos para su observación al microscopio con magnificación usando objetivos 10X y 40X.

La presencia de *Perkinsus* sp. fue evaluada obteniendo la carga parasitaria (hipnosporas/g de tejido, Yarnall *et al.*, 2000), la prevalencia (% de almejas con presencia de hipnosporas, Cáceres-Martínez *et al.*, 2010) y la intensidad de la infección, clasificada como negativa (0 hipnosporas), ligera ($< 1 \times 10^4$ hipnosporas/g), moderada (1×10^4 a 5×10^5 hipnosporas/g) o fuerte ($> 5 \times 10^5$ hipnosporas/g) (Bushek *et al.*, 1994).

Los análisis estadísticos fueron aplicados después de examinar la normalidad de los datos (prueba de Lilliefors). Se usó estadística descriptiva (media, desviación estándar, valor máximo, valor mínimo y coeficiente de variación) para todos los parámetros estudiados (ambientales, biométricos e infecciosos). Los promedios mensuales de la carga parasitaria fueron transformados ($1/Y$) para su análisis estadístico (Bhujel, 2008). La prevalencia y carga parasitaria fueron relacionadas (correlación de Pearson) con todas las variables biométricas de la almeja y factores ambientales. Todas las pruebas estadísticas se realizaron con el programa Statgraphic Plus 5.0, a un nivel de significancia de 95%.

RESULTADOS

Después del análisis visual de las almejas desconchadas, no se observaron deformaciones, coloración inusual ni daño físico que sugirieran un efecto infeccioso del parásito. La Tabla 1 muestra el resumen de todos los factores estudiados durante los 12 meses de muestreos.

Tabla 1. Estadística descriptiva de los parámetros ambientales (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH, profundidad y transparencia), métricos de *M. squalida* (altura, largo y ancho de la concha, peso total) e infecciosos (prevalencia y carga parasitaria de *Perkinsus* sp.), en el estero Bacorehuis, Sinaloa, México.

	Temperatura (°C)	Salinidad (‰)	Oxígeno (mg/L)	pH	Profundidad (m)	Transparencia (m)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Peso (g)	Prevalencia (%)	*Carga parasitaria
Media	26,68	35,16	5,70	8,15	1,07	0,96	64,08	51,56	30,20	68,76	29,66	0,36
DE [§]	5,55	2,97	1,86	0,18	0,37	0,3	4,75	3,77	1,98	14,34	19,82	0,35
Mínimo	16,9	29	2,72	7,85	0,5	0,5	56,17	44,5	26,29	46,95	0	0
Máximo	34	40	10,17	8,4	1,95	1,5	70,86	52,29	33,66	91,25	70	1
CV	20,66	8,44	32,63	2,20	34,57	31,25	7,41	7,31	6,55	20,85	66,82	97,22

*Hipnosporas/g de tejido; transformados a $1/Y$. [§]DE = Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación

El intervalo mensual de la carga parasitaria fue desde 0 (enero y diciembre) hasta 117 hipnosporas encontradas por gramo de tejido analizado (julio), mientras que la prevalencia fluctuó desde 0 (diciembre) hasta 70% (mayo) (Figura 1). El 29% ($n = 105$) de las almejas analizadas ($n = 360$) mostró presuntas hipnosporas en sus tejidos.

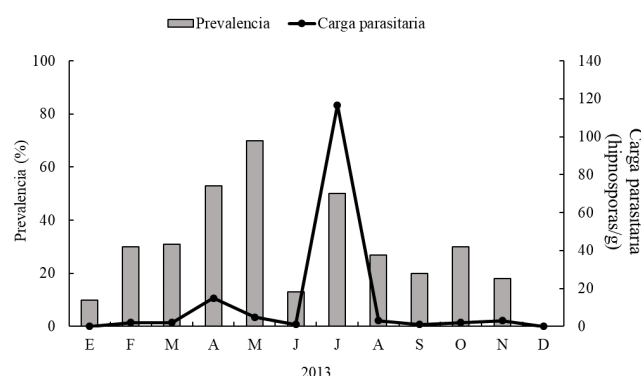


Figura 1. Prevalencia y carga parasitaria mensual de *Perkinsus* sp. en la almeja chocolate *Megapitaria squalida*, del estero Bacorahuis, Sinaloa, México.

La intensidad de la infección promedio varió de no infectado a ligera. En el mes de julio se observó la mayor carga parasitaria, habiendo registrado una almeja con 2 hipnosporas/g como el valor más bajo, hasta

un ejemplar que contabilizó 2,150 hipnosporas/g como máxima cantidad encontrada. La prevalencia y la carga parasitaria no mostraron correlación entre sí ($r = -0.239$, $P = 0.45$). De ambos indicadores infecciosos, sólo la carga parasitaria mostró correlación significativa ($P < 0.05$) con los parámetros métricos de la almeja (Tabla 2).

Tabla 2. Correlación de la carga parasitaria (CP) de *Perkinsus* sp. y los factores biométricos de *M. squalida*, en el estero Bacorehuis, Sinaloa, México.

	Valor de r	Valor de P
CP vs. Altura de la concha	0,705	0,010
CP vs. Largo de la concha	0,718	0,008
CP vs. Ancho de la concha	0,664	0,018
CP vs. Peso total	0,717	0,008

Ambos indicadores de la infección (prevalencia y carga parasitaria) no mostraron estar relacionados con la temperatura ($r = 0,359$, $P = 0,250$ y $r = 0,260$, $P = 0,413$, respectivamente) o con la salinidad ($r = 0,047$, $P = 0,884$ y $r = -0,064$, $P = 0,842$, respectivamente).

DISCUSIÓN

Considerando la fácil capacidad de transmisión del género *Perkinsus* spp. (Villalba et al., 2004) entre sus hospederos conocidos, los reportes de su infección en ostiones (Enríquez-Espinoza et al., 2010; Cáceres-Martínez y Vázquez-Yeomans, 2008) y otros bivalvos (Enríquez-Espinoza et al., 2015; Góngora-Gómez et al., 2016) dentro del Golfo de California, y la presente detección del parásito en la almeja chocolate *M. squalida* en la costa norte de Sinaloa, es posible indicar que el género *Perkinsus* continúa encontrando nuevos moluscos bivalvos, a los cuales, puede potencialmente infectar.

Aunque la técnica de tinción de MFTR no discrimina entre las especies del género *Perkinsus*, es barata, simple (OIE, 2009), más sensible cuando se compara con histología (McLaughlin & Faisal, 1999) y los datos de infección colectados pueden ser contabilizados (Auderman et al., 2008) y categorizados en una escala (Mackin, 1962; Bushek et al., 1994). La detección y observación microscópica de esferas de color oscuro en el tejido blando de la almeja chocolate *M. squalida* del estero Bacorehuis, Sinaloa, analizada con MFTR, confirmó el diagnóstico para la presencia de presuntas hipnosporas de *Perkinsus* sp., con un grado de infección que fluctuó de no infectado a ligero. Aunque la prevalencia de *Perkinsus* sp. en *M. squalida* se registró en casi todos los meses de muestreo de 2013, el grado de infección fue ligero, lo que sugiere que la almeja es poco susceptible a ser infectada por el parásito.

Se ha reportado que cuando el grado de infección provocado por el parásito es considerable, el tejido presenta granulomas blanquecinos (Park y Choi, 2001) o una consistencia acuosa (Ruano et al., 2015), lo cual, no se observó en la revisión visual del tejido de *M. squalida* del estero Bacorehuis, en Sinaloa.

Este trabajo forma parte de un inventario de moluscos en los que se ha detectado el parásito *Perkinsus* sp. en la zona norte-centro de las costas de Sinaloa, México, correspondiente a la parte más al sureste del Golfo de California. Al mismo tiempo, complementa el registro de detección de dicho protozoario en la almeja *M. squalida* encontrado en los principales bancos naturales (estero Bacorehuis, presente estudio, y Bahía Altata, Góngora-Gómez et al., en revisión), además de la población sembrada con fines de repoblación dentro de un corral pesquero en la costa central del estado (Góngora-Gómez et al., aceptado en Hidrobiológica).

Hasta ahora, son tres los grupos de bivalvos, silvestres o cultivados (ostreidos, Villanueva-Fonseca y Escobedo-Bonilla, 2013; pinnidos, Góngora-Gómez et al., 2016; venéridos, el presente trabajo), de las costas sinaloenses en los que se ha detectado la presencia de *Perkinsus* sp. usando la técnica de MFTR (y de confirmación con PCR en los dos primeros), sin concluir para todos ellos, que la ocurrencia del parásito comprometa su estado sanitario. Para verificar el potencial daño en los tejidos de *M. squalida* de este estudio, es necesario realizar análisis complementarios con la técnica histológica.

CONCLUSIONES

Se detectó la presencia de presuntas hipnosporas de *Perkinsus* sp. en una población silvestre de la almeja chocolata mexicana *Megapitaria squalida*, al norte de la costa sinaloense, en México, mediante la técnica de MFTR, con un grado de infección ligera, sugiriendo poca susceptibilidad de la almeja al efecto infeccioso de este protozooario.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflictos de interés relacionado con el presente trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional (IPN) por el apoyo financiero y logístico otorgado al presente trabajo (Proyecto IPNSIP 20140118: Efecto de los factores ambientales sobre el crecimiento y la supervivencia entre organismos diploides y triploides de ostión japonés *C. gigas* cultivados en el estero de Bacorehuis, Ahome, Sinaloa), a través de la Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado (SIP-IPN) y de la Comisión de Operaciones y Fomento de Actividades Académicas (COFAA-IPN).

REFERENCIAS

- Audemard, C., Carnegie, R. B., Bureson, E. M. (2008). Shellfish tissues evaluated for *Perkinsus* spp. Using the Ray's fluid thioglycollate medium culture assay can be used for downstream molecular assays. *Diseases of Aquatic Organisms*, 80:235-239.
- Bhujel, R. C. (2008). *Statistics for aquaculture*. 1st. Ed., Wiley-Blackwell Publishing, Iowa, USA.
- Bushek, D., Ford, S. E., Allen, S. K. (1994). Evaluation of methods using Ray's fluid thioglycollate medium for diagnosis of *Perkinsus marinus* infection in the eastern oyster, *Crassostrea virginica*. *Annual Review of Fish Diseases*, 4, 201-217.
- Cáceres-Martínez, J., Vázquez-Yeomans, R. (2013). Enfermedades, parásitos y episodios de mortalidad de ostiones de importancia comercial en México y sus implicaciones para la producción. *Ciencia Pesquera*, 21: 5-48.
- Cáceres-Martínez, J., Vázquez-Yeomans, R., Padilla-Lardizábal, G. (2010). Parasites and symbionts of the pleasure oyster *Crassostrea corteziensis* cultured in Nayarit, México. *Journal of Aquatic of Animal Health*, 22: 141-151.
- Cáceres-Martínez, J., García-Ortega, M., Vázquez-Yeomans, R., Pineda-García, T. J., Stokes, N. A., Carnegie, R. B. (2012). Natural and cultured populations of the mangrove oyster *Saccostrea palmula* from Sinaloa, Mexico, infected by *Perkinsus marinus*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 110: 321-325.
- Enríquez-Espinoza, T. L., Grijalva-Chon, J. M., Castro-Longoria, R., Ramos-Paredes, J. (2010). *Perkinsus marinus* in *Crassostrea gigas* in the Gulf of California. *Diseases of Aquatic Organisms*, 89: 269-273.
- Enríquez-Espinoza, T. L., Castro-Longoria, R., Mendoza-Cano, F., Grijalva-Chon, J. M. (2015). *Perkinsus marinus* in *Crassostrea gigas* and *Chione flucitifraga* from Kino Bay, Sonora, Mexico. *Biotecnica*, 27(1): 10-13.
- Góngora-Gómez, A. M., Rubio-Zepeda, F., Villanueva-Fonseca, L. C., Álvarez-Dagnino, E., Muñoz-Sevilla, N. P., Hernández-Sepúlveda, J. A., García-Ulloa, M. (2016). Primer registro de *Perkinsus* sp.

- (Protozoa, Apicomplexa) en el callo de hacha *Atrina maura* en Sinaloa, México. Revista de Biología Marina y Oceanografía, 51(3): 689-694.
- Mackin, J. G. (1962). Oyster disease caused by *Dermocystidium marinum* and other microorganisms in Louisiana. Institute for Marine Science University of Texas. USA. 7:132-229.
- McLaughlin, S. M., Faisal, M. (1999). A comparison of diagnostic assays for detection of *Perkinsus* spp. in the softshell clam *Mya arenaria*. Aquaculture, 172: 197-204.
- Murrell, A., Kleeman, S. N., Barker, S. C., Lester, R. J. G. (2002). Synonymy of *Perkinsus olsenii* Lester & Davis 1981 and *Perkinsus atlanticus* Azevedo 1989 and an update on the phylogenetic position of the genus *Perkinsus*. Bulletin of the European Association of Fish Pathology, 22: 258-265.
- OIE. (2009). Manual of diagnostic tests for aquatic animals. World Health Organization. Office International des Epizooties, Paris.
- Park, K.-I., Choi, K.-S. (2001). Spatial distribution of the protozoan parasite, *Perkinsus* sp., found in the manila clam, *Ruditapes philippinarum* in Korea. Aquaculture, 203: 9-22.
- Pinho Ferreira, L., Costa Sabry, R., da Silva, P. M., Vasconcelos Gesteira, T. C., de Souza Romão, L., Pinheiro Paz, M., Galdino Feijó, R., Pinheiro Dantas Neto, M., Maggioni, R. (2015). First report of *Perkinsus beihaiensis* in wild clams *Anomalocardia brasiliana* (Bivalvia: Veneridae) in Brazil. Experimental Parasitology, 150: 67-70.
- Ray, S. M. (1996). Historical perspective of *Perkinsus marinus* disease of oysters in the Gulf of Mexico. Journal of Shellfish Research, 15: 9-11.
- Ruano, F., Batista, F. M., Arcangeli, G. (2015). Perkinsosis in the clams *Ruditapes decussatus* and *R. philippinarum* in the Northeastern Atlantic and Mediterranean Sea: A review. Journal of Invertebrate Pathology, 131: 58-67.
- Sanil, N. K., Suja, G., Lijo, J., Vijayan, K. K. (2012). First report of *Perkinsus beihaiensis* in *Crassostrea madraensis* from the Indian subcontinent. Diseases of Aquatic Organisms, 98: 209-220.
- Villanueva-Fonseca, L. C., Escobedo-Bonilla, C. M. (2013). Prevalencia del protozoario *Perkinsus* sp. en un cultivo de ostión japonés *Crassostrea gigas* en Sinaloa, México. Latin American Journal of Aquatic Research, 4(15): 996-1002.
- Yarnall, H. A., Reece, K. S., Stokes, N. A., Bureson, E. M. (2000). A quantitative- competitive polymerase chain reaction assay for the oyster pathogen *Perkinsus marinus*. Journal of Parasitology 86: 827-837.

Recibido: 08-08-2019
Aprobado: 29-10-2019
Versión final: 04-11-2019

