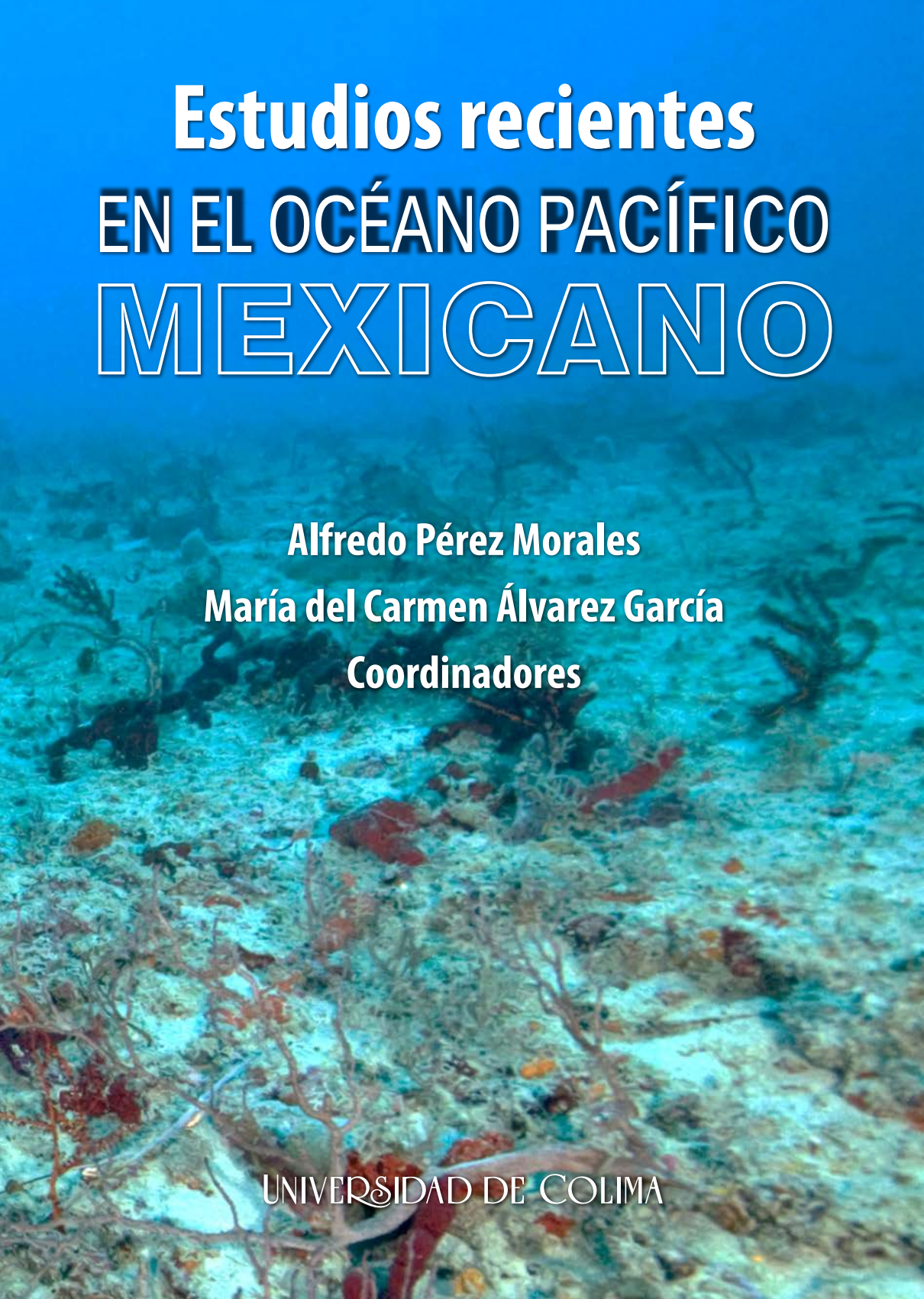




Estudios recientes **EN EL OCÉANO PACÍFICO** **MEXICANO**

Alfredo Pérez Morales
María del Carmen Álvarez García
Coordinadores

UNIVERSIDAD DE COLIMA

Estudios recientes
EN EL OCÉANO PACÍFICO
MEXICANO

enfoque académico

Universidad de Colima

Mtro. José Eduardo Hernández Nava, Rector

Mtro. Christian Jorge Torres Ortiz Zermeño, Secretario General

Mtra. Vianey Amezcua Barajas, Coordinadora General de Comunicación Social

Mtra. Gloria Guillermina Araiza Torres, Directora General de Publicaciones

Estudios recientes EN EL OCÉANO PACÍFICO MEXICANO

Alfredo Pérez Morales
María del Carmen Álvarez García
COORDINADORES



UNIVERSIDAD DE COLIMA

© UNIVERSIDAD DE COLIMA, 2018
Avenida Universidad 333
C.P. 28040, Colima, Colima, México
Dirección General de Publicaciones
Teléfonos: (312) 316 10 81 y 316 10 00, extensión 35004
Correo electrónico: publicaciones@ucol.mx
www.ucol.mx

ISBN: 978-607-8549-38-2

Derechos reservados conforme a la ley

Proceso editorial certificado con normas ISO desde 2005
Dictaminación y edición registradas en el Sistema Editorial Electrónico PRED
Registro: LI-012-18
Recibido: Junio de 2018
Publicado: Diciembre de 2018

Índice

Introducción.....	9
Autofluorescencia verde y amarillo-naranja en el plancton de Cuenca Alfonso, bahía de La Paz, Golfo de California	11
<i>Aída Martínez-López</i> <i>Cristian Hakspiel-Segura</i> <i>Alfredo Pérez-Morales</i> <i>Gerardo Verdugo-Díaz</i>	
Colonización y sucesión de organismos marinos implicados en el proceso de biofouling en paneles sumergidos en La Paz, Baja California Sur, México	25
<i>Elizabeth del Carmen Galicia-Nicolás</i> <i>Ruth Noemí Águila-Ramírez</i> <i>Erika Guadalupe Rico-Virgen</i> <i>Marco Antonio Medina-López</i>	
Depredación de copépodos sobre paralarvas del complejo <i>Sthenoteuthis-oualaniensis-Dosidicus gigas</i> en el Golfo de California	43
<i>José Ricardo Palomares-García</i> <i>Roxana De Silva-Dávila</i> <i>Raymundo Avendaño-Ibarra</i>	
Efecto de condiciones ambientales en la producción de exopolímero en cultivos de diatomea <i>Navicula yarrensis</i> y su efecto antibacterial ...	63
<i>Ricardo Alfonso Méndez-Sepúlveda</i> <i>Sonia Isabel Quijano-Scheggia</i> <i>Aramis Olivos-Ortiz</i> <i>Juan Heberto Gaviño-Rodríguez</i>	
Especies fitoplanctónicas formadoras de FAN en el Pacífico tropical mexicano: riesgos locales y regionales.....	77
<i>Alfredo Pérez-Morales</i> <i>José Antolín Aké-Castillo</i> <i>Carlos Francisco Rodríguez-Gómez</i>	

Evaluación de ácido domoico en moluscos bivalvos de la costa de Oaxaca (julio de 2014–junio de 2015)	93
---	----

Ivonne Sandra Santiago-Morales

Yolanda Huante-González

Bany Jiménez Solar

Jaime Saúl Serrano-Guzmán

Norma Arcelia Barrientos-Luján

Heladio Espíndola-Ávila

Andrés Pacheco-Ruiz

Evaluación microbiológica del agua y ostión en las bahías: Puerto Ángel, La Mina y Tijera en la costa de Oaxaca, México	111
--	-----

Yolanda Huante-González

Ivonne Sandra Santiago-Morales

Minerva e Isis Camacho-Sánchez

Yolanda Guadalupe García-Huante

Fitoplancton y su relación con la concentración de clorofila y nutrientes en la parte central de la costa de Oaxaca.....	131
---	-----

Miriam Hueytletl-Pérez

Aramis Olivos-Ortiz

Sonia Isabel Quijano-Scheggia

Carlos Augusto Zenteno-Palma

Ivonne Sandra Santiago-Morales

Saúl Jaime Serrano-Gúzman

Yolanda Huante-González

Gustavo Oviedo-Piamonte

María de los Ángeles Horta-García

Incendios forestales sobre la vegetación del municipio de Tomatlán, Jalisco, en el periodo 2010-2016	153
---	-----

Julio César Morales-Hernández

Víctor Manuel Cornejo-López

Jorge Ignacio Chavoya-Gama

Javier Leopoldo López-Rubio

Iris Leticia Camba-Pérez

La biodiversidad de copépodos en la bahía de La Paz, Golfo de California	171
<i>José Ricardo Palomares-García</i> <i>Sergio Hernández-Trujillo</i> <i>Gabriela María Esqueda-Escárcega</i> <i>Alfredo Pérez-Morales</i>	
Cultivo de larvas de peces en el Pacífico mexicano: Problemáticas y perspectivas.....	189
<i>Emyr Saúl Peña-Marín</i> <i>Leonardo Ibarra-Castro</i> <i>Juan Manuel Martínez-Brown</i> <i>Dariel Tovar-Ramírez</i> <i>Gloria Gertrudys Asencio-Alcudia</i> <i>Alfredo Pérez-Morales</i> <i>Carlos Alfonso Álvarez-González</i>	
Potencial bioactivo de organismos marinos del Pacífico mexicano	211
<i>Claudia Judith Hernández-Guerrero</i> <i>Mauricio Muñoz-Ochoa</i> <i>Sergio Martínez-Díaz</i>	
Recopilación de datos climáticos históricos para observar tendencias básicas de cambio climático en Puerto Vallarta, Jalisco ...	233
<i>Abner Alain Torres-Mascot</i> <i>Victor Manuel Cornejo-López</i> <i>Julio César Morales-Hernández</i>	
Riqueza de paralarvas de cefalópodos en el Pacífico mexicano	249
<i>Roxana De Silva-Dávila</i> <i>Jasmín Granados-Amores</i> <i>Rubén Melvyn García-Guillén</i> <i>Raymundo Avendaño-Ibarra</i> <i>Martín Enrique Hernández-Rivas</i> <i>Gerardo Aceves-Medina</i> <i>Jaime Gómez-Gutiérrez</i> <i>Gloria del Carmen Pelayo-Martínez</i> <i>María del Carmen Franco-Gordo</i> <i>Aramis Olivos-Ortiz</i> <i>Deivis Samuel Palacios-Salgado</i>	

Rompeolas alternativos y su efecto en la redistribución de la energía del oleaje	275
<i>David Cueva-Rodríguez</i>	
<i>Manuel Gerardo Verduzco-Zapata</i>	
<i>Marco Antonio Galicia-Pérez</i>	
<i>Aramis Olivos-Ortiz</i>	
<i>Ernesto Torres-Orozco</i>	
Simulación numérica tridimensional de un sistema de bombeo para desalinización de agua marina impulsado por oleaje.....	293
<i>Manuel Gerardo Verduzco-Zapata</i>	
<i>Juan Carlos Alcérreca-Huerta</i>	
<i>Julieta Hernández-López</i>	
Conclusiones.....	307
Autores/as.....	309

Introducción

El libro *Estudios recientes en el océano Pacífico mexicano* es una obra académica y de divulgación científica que presenta resultados de proyectos de investigación y de análisis de información actual, y que se concibe como una plataforma para la formación científica y académica de estudiantes de licenciatura y posgrado, ya que en ella se presentan trabajos que son el inicio de un quehacer que los ahora estudiantes deberán adoptar como un proceso constante de generar y divulgar sus resultados derivados de diversas investigaciones. En esta obra participan diversas universidades, institutos y centros de investigación de todo el país que han enfocado sus esfuerzos en aportar conocimiento a esta región del mundo.

Los trabajos presentados en este libro se centran en las temáticas de la oceanografía en la mayoría de sus especialidades: biología, ecología, acuacultura y pesquerías, cambio climático, ingeniería oceánica y gestión de recursos oceánicos. Se incorporan temas tales como: La autofluorescencia por parte del plancton en el Golfo de California; El incrustamiento de organismos marinos implicados en el proceso de biofouling; Depredación de copépodos sobre paralarvas de calamares; Producción de exopolímero en cultivos de diatomeas y su efecto antibacterial; Especies fitoplanctónicas formadoras de florecimientos contemplando sus riesgos locales y regionales; Evaluación de compuestos tóxicos como el áci-

do domoico en moluscos bivalvos; Evaluación microbiológica del agua y ostión en la costa de Oaxaca; Fitoplancton y su relación con la concentración de clorofila y nutrientes; Incendios forestales; La biodiversidad de copépodos en la bahía de La Paz; Cultivo de larvas de peces en el Pacífico mexicano; Potencial bioactivo de organismos marinos; Datos climáticos históricos para determinar tendencias en el cambio climático; Riqueza de paralarvas de cefalópodos en el Pacífico mexicano; Rompeolas alternativos y la energía del oleaje; y Modelación de un sistema de bombeo para la desalinización de agua marina.

Para la Universidad de Colima es importante brindar los medios para difundir las investigaciones científicas y tecnológicas que se desarrollan en nuestro país por investigadores de alto prestigio y sus colaboradores, incluyendo a sus discípulos. Esta práctica también contribuye a los objetivos institucionales entre los que se encuentran el desarrollo sostenible y la educación universitaria con responsabilidad social, por lo que esta plataforma contribuye a la producción y difusión de conocimientos socialmente pertinentes.

También es una obra que brinda un espacio al uso amplio, sistemático y socialmente responsable de la comunicación y de la interacción con pares académicos y sectores sociales a través de trabajo multidisciplinario y colaborativo que se ve reflejado en trabajos pertinentes e importantes para entender y con esto aprovechar de manera adecuada y sustentable los recursos marinos.

Me es grato presentar este libro que seguramente será de gran ayuda y utilidad para diversos investigadores que abordan las distintas líneas de investigación que incluye; a su vez, el público en general puede informarse de todo el nuevo conocimiento que se genera gracias a las investigaciones en México.

Dr. Alfredo Pérez Morales
Comité Editorial

Autofluorescencia verde y amarillo-
naranja en el plancton de Cuenca
Alfonso, bahía de La Paz,
Golfo de California

*Plankton's green and yellow-orange
fluorescence in Alfonso Basin, Bahía de La Paz,
Gulf of California*

Aída Martínez-López^{1*}
Cristian Hakspiel-Segura¹
Alfredo Pérez-Morales²
Gerardo Verdugo-Díaz¹

¹ Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN (CICIMAR). Av. Instituto Politécnico Nacional s/n. Col. Playa Palo de Santa Rita. CP 23090. La Paz, Baja California Sur, México. Correo-e: amartin@ipn.mx.

² Centro Universitario de Investigaciones Oceanológicas. Universidad de Colima. Carretera Manzanillo-Barra de Navidad Km 20. Col. El Naranjo. CP 28860. Manzanillo, Colima, México.

Resumen

En este estudio se reportan observaciones microscópicas de epifluorescencia de muestras recolectadas en el sitio de Cuenca Alfonso, bahía de La Paz. Se detectaron emisiones de fluorescencia citoplásmica verde de *Phalacroma doryphorum* y fluorescencia verde y amarillo / naranja por simbioses en consorcios con dinoflagelados (*Ornithocercus* e *Histioneis*) y diatomeas (*Rizosolenia*). Estos consorcios están comúnmente presentes en las comunidades planctónicas con la entrada del agua superficial tropical oligotrófica durante la temporada de verano en el sur del Golfo de California.

Palabras clave

Cianobacterias, consorcios simbioses, dinoflagelados, fluorescencia amarilla/naranja, fluorescencia verde.

Abstract

In this study, microscopic observations of epifluorescence are reported from samples collected at the site of Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz. Green cytoplasmic fluorescence emissions of *Phalacroma doryphorum* and green and yellow / orange fluorescence by symbionts in consortia with dinoflagellates (*Ornithocercus* and *Histioneis*) and diatoms (*Rizosolenia*) were detected. These consortia are commonly present in the planktonic communities with the entry of the oligotrophic Tropical Surface Water during the summer season in the southern Gulf of California.

Keywords

Cyanobacteria, dinoflagellates, green fluorescence, symbiont consortia, yellow/orange fluorescence.

Introducción

La autofluorescencia verde (AV) se ha observado en un amplio rango de organismos desde plantas (Knox y Singh, 1985) hasta células animales (Aubin, 1979; Benson *et al.*, 1979). En el océano, la AV se ha reportado en estructuras de microalgas de diversos grupos, siendo considerada por algunos investigadores como un rasgo con valor taxonómico. Sin embargo, esto es controversial y en algunos casos se le considera limitado.

La AV es un rasgo frecuente en muchas especies de dinoflagelados, diatomeas, algas verdes, cianobacterias y rafidoficeas cuando son expuestas a luz azul y es causada por moléculas diferentes a la clorofila, resaltando que dichos compuestos fluorescentes pueden variar de una especie a otra (Carpenter *et al.*, 1991; Tang y Dobbs, 2007).

En el caso de los dinoflagelados, la AV es común no sólo en especies desnudas sino también en especies tecadas, particularmente en las especies heterótrofas; algunas de las cuales presentan una fluorescencia verde intensa (Okolodkov, 1999). Observaciones de AV se han reportado inicialmente en regiones tropicales y subtropicales tales como el Atlántico noroccidental y posteriormente en diversas regiones del mundo tales como aguas templadas y tropicales de Australia, en las Bahamas, en costas de España y en el océano Pacífico (Hallegraeff y Lucas, 1988; Shapiro *et al.*, 1989; Carpenter *et al.*, 1991; Masquelier y Vulot, 2008; González-Gil *et al.*, 2010). Sin embargo, a la fecha no se cuenta con reportes de observaciones de AV para la región del Pacífico tropical mexicano.

Observaciones del género *Phalacroma* han documentado a menudo la ausencia de cloroplastos, así como la presencia de AV en varias de las especies de este género, incluida *Phalacroma doryphorum* (Hallegraeff y Lucas, 1988). Esta característica ha sido asociada con frecuencia a individuos con metabolismo parcialmente heterotrófico (ya sea por osmotrofía o fagotrofía), posiblemente inducida por factores abióticos tales como la disponibilidad de nutrientes inorgánicos, o la presencia de suficientes cantidades de carbono orgánico disuelto lábil o de presas (Granéli *et al.*, 1999). No obstante, la existencia de un gradiente continuo entre metabolismos

completamente autotróficos y heterotróficos, así como de los posibles factores que inducen su tipo de alimentación no se han explorado para este género.

Por otra parte, diferentes estudios han empleado consistentemente la emisión de AV para reconocer diferentes estadios intracelulares del dinoflagelado parásito del género de *Amoebophrya* dentro de varias especies de dinoflagelados, incluyendo a *Phalacroma rotundatum* (Coats y Bockstahler, 1994; Coats y Park, 2002; Salomon *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2004; González-Gil *et al.*, 2010; Lu, 2016). En estas detecciones por microscopía, la AV del parásito difiere sustancialmente de la autofluorescencia naranja/roja debida a los diferentes pigmentos del hospedero (*e.g.* clorofila y ficoeritrina), por lo que la incidencia de AV debe ser observada con minucioso detalle para determinar si es una característica conspicua del hospedero o adquirida.

En el presente estudio se investigó la incidencia de AV en vivo de *P. doryphorum* y *Ornithocercus orbiculatus*, ambos colectados en la bahía de La Paz durante verano del 2012, periodo en el que predomina una condición fuertemente estratificada de la columna de agua (Verdugo-Díaz, 2012). Este trabajo también examinó la posible asociación entre la presencia de AV y los potenciales factores ambientales que promovieron el crecimiento de estos microorganismos. De acuerdo con las observaciones al microscopio, la comprensión de los patrones de AV en *P. doryphorum* es propuesta como un rasgo de identificación taxonómica y bioindicador de condiciones estacionales en esta región. La presencia de AV en *P. doryphorum*, en conjunto con la presencia de endosimbiontes autofluorescentes en *O. orbiculatus*, son asociados al tipo de alimentación predominante (heterotrófica) frente a condiciones oligotróficas. Este consorcio heterótrofo-autótrofo, entre dinoflagelados y cianobacterias simbiotes (*e.g.* *Synechococcus* o *Synechocystis*), diatomeas y cianobacterias, etc. también puede proveer el ambiente propicio para la fijación de nitrógeno.

Metodología

Recolecta de muestras y observaciones en el microscopio de fluorescencia

Células fitoplanctónicas vivas fueron tomadas de muestras recolectadas mediante arrastres verticales, con una profundidad inicial de 200 m hasta la superficie, utilizando para ello una red de plancton de ~ 0.3 m de diámetro con 20 μm de luz de malla. Los arrastres se efectuaron en la bahía de La Paz, Golfo de California, México ($24^\circ 35'\text{N}$, $110^\circ 36'\text{W}$) el 21 de agosto del 2012. Al concluir los arrastres, las muestras de fitoplancton se transfirieron a frascos de policarbonato con agua de mar, subsecuentemente fueron colocados en oscuridad y refrigerados durante su transporte a las instalaciones del Laboratorio de Fitoplancton del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Una vez ahí, las muestras se colocaron en cámaras de sedimentación y las células se observaron con ayuda de un microscopio de fluorescencia bajo una excitación de luz azul (BP 460 a 490 nm, espejo dicróico de 505 nm, barrera de 515 nm) equipado con una lámpara de mercurio de 50 W (Olympus, Tokyo, Japón). Las microfotografías se tomaron utilizando una cámara digital (Q-IMAGING, EUA).

Resultados

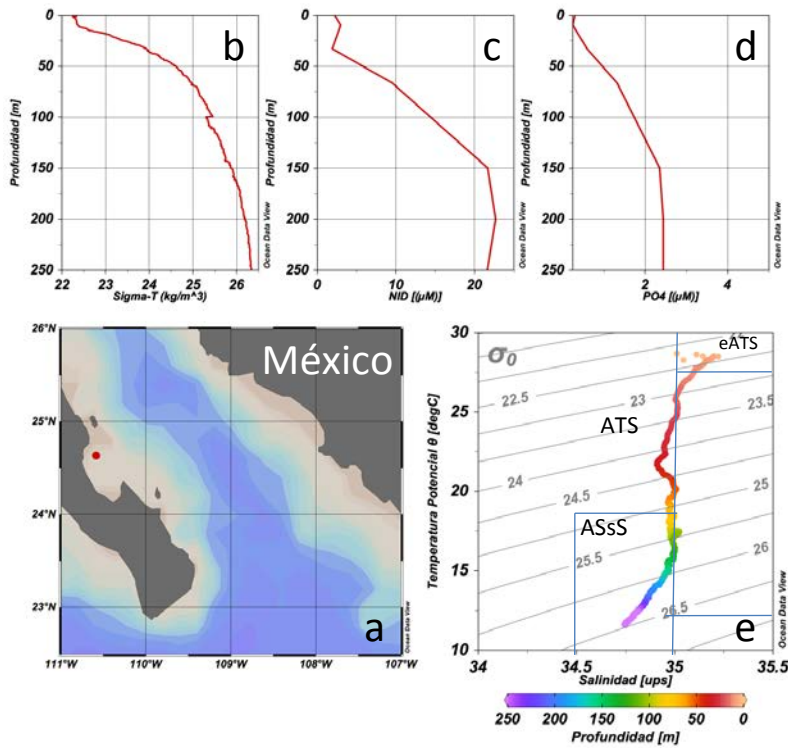
Las condiciones prevalecientes en la columna de agua del sitio de muestreo (figura 1a) durante el muestreo fueron de estratificación en la columna de agua como lo indican los valores de sigma-t cuyos valores cambiaron rápidamente entre 0-50 metros (figura 1b). Este gradiente estuvo acompañado por un cambio en la concentración de nitrógeno inorgánico disuelto (promedio NID = $2.39 \mu\text{M}$) y de los fosfatos (promedio $\text{PO}_4 = 0.38 \mu\text{M}$) (figuras 1c, d). La diferencia entre el estrato 0-50 m y el resto de la columna (50-250 m) fue muy marcada (promedio $\text{PO}_4 = 2.75 \mu\text{M}$; promedio NID = $24 \mu\text{M}$). Asimismo, la temperatura presentó un rango de $28.7\text{-}24^\circ\text{C}$ en los primeros 25 m.

Las condiciones antes descritas están determinadas por la presencia de los tipos agua con características de Tropical Superficial evaporada (eAST) y Tropical Superficial (ATP) las cuales se

localizaron entre 0-75 m (figura 1e). Las mayores concentraciones tanto de NID como de fosfatos se observaron por debajo de 75 m en el agua con características de Subsuperficial subtropical (ASsS).

Figura 1

a) Localización del sitio de estudio (punto rojo); perfil vertical de b) sigma-t; c) nitrógeno inorgánico disuelto (NID); d) fosfatos y e) diagrama T-S donde se observan los tipos de agua identificados en agosto de 2012.

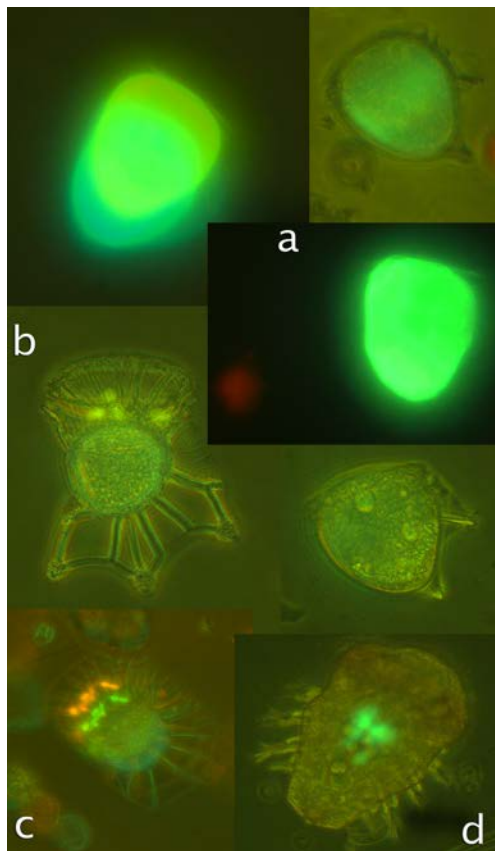


En cuanto a las observaciones de fluorescencia bajo luz de excitación azul (450–490 nm), ésta se observó en los dinoflagelados *Phalacroma doryphorum*, *Ornithocercus magnificus* y en *Ornithocercus orbiculatus*. Sin embargo, en este último género la fluorescencia verde correspondió a microorganismos de la talla del pico-plancton, ubicados en la aleta singular.

Particularmente en el caso de *O. orbiculatus* (figura 2c) además de microorganismos con fluorescencia verde se observan pico-cianobacterias con fluorescencia naranja. Adicionalmente se observó fluorescencia verde dentro de un organismo del microzooplancton (figura 2d).

Figura 2

Imagen de fluorescencia microscópica con excitación de luz azul a células vivas de: a) *Phalacroma doryphorum*, b) *Ornithocercus magnificus* y c) *Ornithocercus orbiculatus* con ectosimbiontes presentes en la aleta cingular (fluorescencia verde sin identificar pico-microorganismos), d) larva Nauplio (microzooplancton pastoreador) con potencial ingesta de bacterias heterotróficas autofluorescentes.

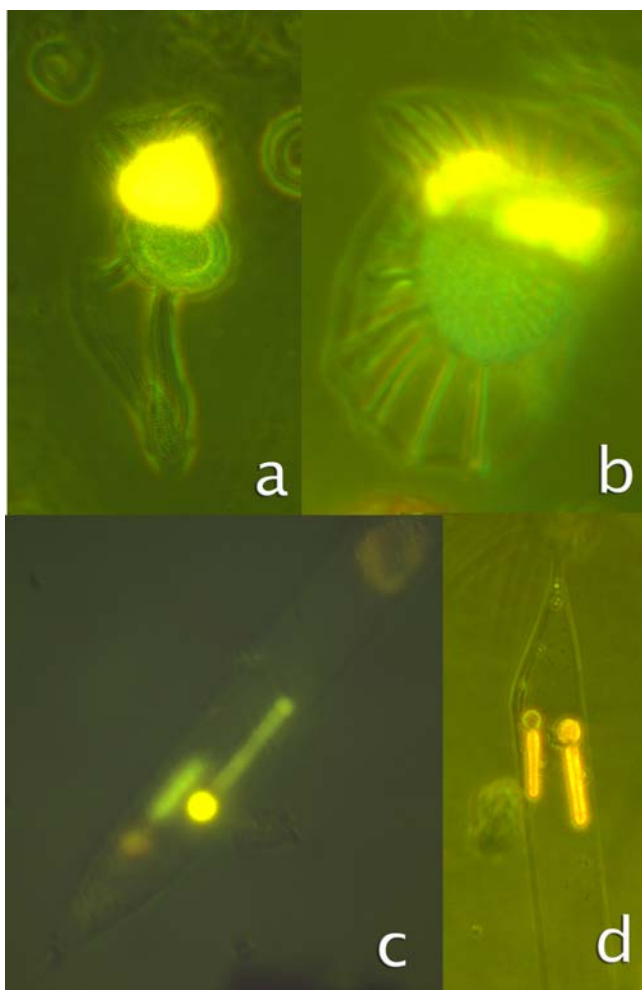


Otras observaciones de fluorescencia amarilla/naranja correspondieron a los cianobiontes de dinoflagelados y diatomeas. En el caso de los dinoflagelados *Histioneis* y *Ornithocercus steinii* los cianobiontes localizados en la aleta sulcal se observan con fluorescencia amarilla (figuras 3 a y b), mientras que los patrones de excitación de las células y del heterocisto terminal de los simbioses cianobacterianos de *Rhizosolenia* fueron amarillo/naranja. En este caso *Rhizosolenia* presentó dos tricomas de *Richelia intracellularis* (cianobionte) asociadas a cada diatomea (figuras 3 c y d). Debido a la amplia variación en el tamaño y la forma de las microalgas, es difícil comparar cualitativamente la intensidad de autofluorescencia entre diferentes taxa. Por ejemplo, los dinoflagelados *Histioneis* y *O. steinii* exhibieron una intensidad de fluorescencia mucho mayor que la diatomea *Rhizosolenia*, presumiblemente debido a un mayor apilamiento de cianobiontes unicelulares con esta propiedad y/o posiblemente con diferente tamaño celular (figura 3). Generalmente, las células vegetativas del tricoma de *R. intracellularis* dentro de la diatomea exhibieron una fluorescencia más débil que la célula heterocística terminal caracterizada por su mayor tamaño.

Figura 3

Cianobiontes de: a) *Histioneis*, b) *Ornithocercus steinii*, c y d) *Rhizosolenia* con dos tricomas de *Richelia intracellularis* asociadas a cada diatomea. Imágenes bajo excitación de luz azul (450-490 nm).

En el caso de los dinoflagelados los cianobiontes se observan con fluorescencia amarilla. Mientras que los patrones de excitación de las células y del heterocistos terminal de los simbiontes cianobacterianos de *Rhizosolenia* son amarillo/naranja.



Discusión

Una característica documentada es el notable decremento de nutrientes orgánicos en la capa eufótica durante finales del verano en la bahía de La Paz, además de la temperatura superficial $> 28^{\circ}\text{C}$ (Verdugo-Díaz *et al.*, 2012; Hakspiel-Segura, 2014). Con base a estas propiedades físicas el agua superficial tropical oligotrófica, mostró una mayor influencia que, el agua con características del Golfo de California que usualmente domina la capa superficial en invierno y primavera. El agua superficial tropical se detectó hasta los 75 m de profundidad. Una limitación de nutrientes originada principalmente por la disminución del transporte advectivo de nitrógeno y fósforo desde la subsuperficie hacia capas superiores (Martínez-López *et al.*, 2016), lo cual aparentemente favorece la presencia de especies heterótrofas, mixotróficas o en relaciones simbióticas.

En este estudio, una variedad de autofluorescencia verde y amarilla/naranja se detectó en las muestras de plancton bajo una excitación de luz azul. El citoplasma de *Phalacroma doryphorum* fue el único caso que mostró fluorescencia verde. Las observaciones por microscopía de fluorescencia sobre *P. doryphorum*, indicaron que su AV no fue causada por un parásito intracelular tal como *Amoebophrya* sp. Evidencia adicional de microscopía indica la ingesta por parte del microzooplankton de presas que producen fluorescencia verde cuando son excitadas con luz azul.

Phalacroma doryphorum es una especie termófila tropical (Licea *et al.*, 1995), su distribución en México va desde Bahía Magdalena, Baja California Sur hasta Chiapas (Hernández-Becerril *et al.*, 2008). Estudios recientes mencionan a esta especie como indicadora del evento la Niña para la cuenca Pacífica colombiana (Higuera y Ortiz, 2007). Para el sitio de este estudio no existe tal evidencia y se requiere mayor número de observaciones para probar esta hipótesis.

Las condiciones hidrológicas observadas en el sitio de estudio corresponden con las reportadas para un verano típico, en donde la presencia de agua de origen tropical superficial, corresponde con la ocurrencia de AV y amarilla/naranja de otros dinoflage-

lados tales como *Ornithocercus* e *Histioneis* producida por ectosimbiontes.

En el Golfo de Áqaba, cianobacterias simbiotes se han encontrado repetidamente con amplias limitaciones de nitrógeno en asociación a diferentes especies de dinoflagelados heterotróficos tal como *Histioneis milneri*, *H. carinata*, *H. biremis* y *Citharistes regius*, así como sobre algunas especies del género *Ornithocercus* (*O. quadratus* y *O. splendidus*) (Gordon *et al.*, 1994) tal como se reporta en este estudio. Este consorcio heterótrofo-autótrofo al igual que el consorcio diatomeas-cianobacteria (*Rhizosolenia-Richelina intracellularis*), se explican como un mecanismo en el cual los hospederos dinoflagelados heterotróficos o diatomeas, proveen el microambiente anaeróbico necesario para que las cianobacterias simbiotes (*e.g. Synechococcus*, *Synechocystis*, *Richelia intracellularis* y morfologías unicelulares no cultivables - UCYN-A -) realicen fijación de nitrógeno de manera eficiente (Foster *et al.*, 2011, Martínez-Pérez *et al.*, 2016). Aunque también se ha propuesto la capacidad alternativa de las cianobacterias para suministrar exudados orgánicos respirables al huésped (Gordon *et al.*, 1994).

Por otra parte, la incidencia de estructuras ovoides autofluorescentes dentro de la larva nauplio sugieren que células tanto de la fracción del nanoplancton, como del picoplancton, constituyen presas potenciales del microzooplancton. Esto es consistente con algunas observaciones estacionales, para ecosistemas dentro y fuera del Golfo de California, en torno a que durante el periodo de mayor estratificación se incrementa la importancia relativa de la trama trófica microbiana.

Conclusión

Mediante un enfoque taxonómico la detección de autofluorescencia provee una herramienta clave para la comprensión de algunas propiedades ecofisiológicas del fitoplancton. Las observaciones de AV por microscopía y la ausencia de cloroplastos (fluorescencia roja) indican el carácter heterotrófico de las especies de dinoflagelados observados, así como que la causa de AV no es causada por un parásito intracelular como *Amoebophrya* tal como se ha detectado en otros estudios. Existe evidencia de que las pobla-

ciones de dinoflagelados incrementan la frecuencia de células con AV y de consorcios de dinoflagelados o diatomeas con cianobacterias simbiotes durante meses cálidos cuando las condiciones de limitación aguda del nitrógeno prevalecen. Se recomienda que futuros estudios integren, dentro del enfoque auto-ecológico, la descripción de la auto-fluorescencia como una propiedad intrínseca de algunas poblaciones fitoplanctónicas, de manera que su incidencia pueda ser asociada a ventajas estratégicas frente el aprovechamiento de las condiciones ambientales.

Agradecimientos

El financiamiento para este estudio fue otorgado por el Instituto Politécnico Nacional a través de la Dirección de Estudios de Posgrado e Investigación (SIP-20161404). AML y GVD son becarios COFAA y EDI del Instituto Politécnico Nacional de México. A CONACYT y BEIFI (IPN) por las becas proporcionadas a CHS.

Literatura citada

- Aubin, J. E. (1979). Autofluorescence of viable cultured mammalian cells. *Journal Histochemistry and Cytochemistry*, 27, 36-43.
- Benson, R. C., Meyer, R. A., Zaruba, M. E. & McKhann, G. M. (1979). Cellular autofluorescence-is it due to flavins? *Journal Histochemistry and Cytochemistry*, 27, 44-48.
- Carpenter, E. J., Chang, J. & Shapiro, L. P. (1991). Green and blue fluorescing dinoflagellates in Bahamian waters. *Marine Biology*, 108, 145-149.
- Coats, D. W. & Bockstahler, K. R. (1994) Occurrence of the parasitic dinoflagellate *Amoebophrya ceratii* in the Chesapeake Bay populations of *Gymnodinium sanguineum*. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 41, 586-593. doi.10.1111/j.1550-7408.1994.tb01520.x.
- Coats, D. W. & Park, M. G. (2002) Parasitism of photosynthetic dinoflagellates by three strains of *Amoebophrya* (Dinophyta): parasite survival, infectivity, generation time, and host specificity. *Journal of Phycology*, 38, 520-528. doi.10.1046/j.1529-8817.2002.01200.x.
- Foster, R. A., Kuypers, M. M. M., Vagner, T., Paerl, R. W., Musat, N. & Zehr J. P. (2011). Nitrogen fixation and transfer in open ocean diatom-cyanobacterial symbioses. *ISME Journal*, 5, 1484-1493. doi.10.1038/ismej.2011.26.
- González-Gil, S., Velo-Suárez, L., Gentien, P., Ramilo, I. & Reguera, B. (2010). Phytoplankton assemblages and characterization of a *Dinophysis acuminata* population during an upwelling-downwelling cycle. *Aquatic Microbiology and Ecology*, 58, 273-286. doi.10.3354/ame01372.
- Gordon, N., Angel, D. L., Neori, A., Kress, N. & Kimor, B. (1994) Heterotrophic dinoflagellates with symbiotic cyanobacteria and nitrogen limitation in

- the Gulf of Aqaba. *Marine Ecology Progress Series*, 107, 83-88. doi.10.3354/meps107083.
- Granéli, E., Carlsson, P. & Legrand, C. (1999). The role of C, N and P in dissolved and particulate organic matter as a nutrient source for phytoplankton growth, including toxic species. *Aquatic Ecology*, 33, 17-27. doi.10.1023/A:1009925515059.
- Hakspiel-Segura, C. (2014). Rutas y procesos fisiológicos del ciclo del nitrógeno en Cuenca Alfonso, Golfo de California. (Tesis Doctoral). Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Baja California Sur, México.
- Hallegraeff, G. M. & Lucas, I. A. N. (1988). The marine dinoflagellate genus *Dinophysis* (Dinophyceae): photosynthetic, neritic and non-photosynthetic, oceanic species. *Phycologia*, 27, 25-42. doi.10.2216/i0031-8884-27-1-25.1.
- Hernández-Becerril, D. U., Ceballos-Corona, J.G.A., Esqueda-Lara, K., Tovar-Salazar, M. A. & León-Álvarez, D. (2008). Marine planktonic dinoflagellates of the order Dinophysiales (Dinophyta) from coasts of the tropical Mexican Pacific, including two new species of the genus *Amphisolenia*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 8, 1-15. doi.10.1017/S0025315408000143.
- Higuera P. J. & Ortiz, J. R. (2007). Comportamiento del fitoplancton durante el evento ENOS en el océano Pacífico colombiano. En: Colombia ingeniería de recursos naturales y del ambiente. pp. 5-15. Colombia: Universidad del Valle.
- Kim, S., Park, M, Yih, W. & Coats, W. D. (2004). Infection of the bloom-forming thecate dinoflagellates *Alexandrium affine* and *Gonyaulax spinifera* by two strains of *Amoebophrya* (Dinophyta). *Journal of Phycology*, 40, 815-822.
- Knox, R. B. & Singh, M. B. (1985). Immunofluorescence applications in plant cells. En: Robards, A. W. (ed.) Botanical microscopy. pp. 205-232, E.U.A. Oxford University Press, Oxford.
- Licea Durán, S., Moreno, J. L., Santoyo, H. & Figueroa, G. (1995). *Dinoflagelados del Golfo de California*. Universidad Autónoma de Baja California, SEP-FO-MEX. México.
- Lu, Y. (2016). Control of toxigenic dinoflagellates through parasitism: Implications for host-parasite coevolution. (Ph.D dissertation). University of Bremen, Germany.
- Martínez-Pérez, C., Mohr, W., Löscher, C. R., Dekaezemacker, J., Littmann, S., Yilmaz, P., Lehnen, N., Fuchs, B. M., Lavik, G., Schmitz, R. A., LaRoche, J. & Kuypers, M. M. M. (2016). The small unicellular diazotrophic symbiont, UCYN-A, is a key player in the marine nitrogen cycle. *Nature Microbiology*. doi.10.1038/nmicrobiol.2016.163.
- Masquelier, S. & Vaultot, D. (2008). Distribution of micro-organisms along a transect in the South-East Pacific Ocean (BIOSPE cruise) from epifluorescence microscopy. *Biogeosciences* 5, 311-321. doi.10.5194/bg-5-311-2008.
- Okolodkov, Y. B. (1999). Differentiation of phototrophic and heterotrophic dinoflagellates (Dinophyceae) by epifluorescence microscopy in the northern Greenland Sea. *Botanical Journal, Russian Academic of Sciences*, 84, 53-61.

- Salomon, P. S., S. Janson & Granéli, E. (2003). Multiple species of the dinophagous dinoflagellate genus *Amoebophrya* infect the same host species. *Environmental Microbiology*, 5, 1046 – 1052.
- Tang Y. Z. & Dobbs, F. C. (2007). Green autofluorescence in dinoflagellates, diatoms, and other microalgae and its implications for vital staining and morphological studies, *Applied and Environmental Microbiology*, 73, 2306-2313.
- Verdugo-Díaz, G., Martínez-López, A., Gaxiola-Castro, G y Valdez-Holguín, J. E. (2012). Parámetros fotosintéticos del fitoplancton en la región sur del Golfo de California. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 47, 527-535.

Colonización y sucesión de organismos marinos implicados en el proceso de *biofouling* en paneles sumergidos en La Paz, Baja California Sur, México

Colonization and succession of marine organisms involved in the biofouling process in submerged panels in La Paz, Baja California Sur, Mexico

Elizabeth del Carmen Galicia-Nicolás¹
Ruth Noemí Águila-Ramírez²
Erika Guadalupe Rico-Virgen²
Marco Antonio Medina-López¹

¹ Universidad Autónoma de Baja California Sur. Área de Ciencias Marinas y Costeras. Carretera al Sur Km 5.5., Apartado Postal 19-B, C.P. 23080, La Paz Baja California Sur, México.

² Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Departamento de Desarrollo de Tecnologías. Av. IPN S/N, Col. Playa Palo de Santa Rita, La Paz, B.C.S. Correo-e: raguilar@ipn.mx.

Resumen

El incrustamiento marino mejor conocido como *biofouling* se refiere a la absorción, colonización y desarrollo o acumulación de organismos en superficies inmersas. El costo económico que esto implica ha dado lugar a una amplia variedad de investigaciones que se ocupan de su prevención o reducción. Para poder desarrollar medidas alternativas de control, ambientalmente sostenibles, es necesario comprender mejor las variables que influyen en el proceso y a los organismos involucrados. Por ello, el objetivo de este estudio fue analizar la colonización inicial de los microorganismos formadores de biopelícula, así como la sucesión de macroorganismos durante tres meses de exposición, en cuatro recubrimientos deslizantes a base de resinas siliconadas flexibles de bajo impacto ambiental. Se utilizaron estructuras de PVC conteniendo cuatro paneles metálicos con los recubrimientos que fueron sumergidos al mar durante tres meses. Las evaluaciones del microfouling se llevaron a cabo desde las primeras dos horas de exposición, el análisis del *macrofouling* se realizó mensualmente mediante la identificación de los organismos presentes en las probetas y el porcentaje de cobertura. Se encontró que tras la inmersión de las probetas en el mar comenzó el proceso de colonización, a las dos horas se aislaron bacterias, encontrando la mayor cantidad a la semana de exposición. Al mes, la cantidad de microalgas se incremento significativamente, encontrando también una gran cobertura de macroorganismos, destacando la ascidia *Distaplia stylifera* que fue la más abundante y que a partir del segundo mes colonizó la mayor superficie de las probetas, incluso cubriendo a los organismos ya establecidos.

Palabras clave

Bacterias, microalgas, invertebrados, colonización, recubrimientos.

Abstract

Marine fouling better known as biofouling refers to the absorption, colonization and development or accumulation of organisms on immersed surfaces. The economic cost involved has given rise to a wide variety of research that deals with its prevention or reduction. In order to develop alternative measures of environmentally sustainable control, it is necessary to better understand the variables that influence the process and the organisms involved. Therefore, the objective of this study was to analyze the initial colonization of biofilm forming microorganisms, as well as the succession of macroorganisms during three months of exposure, in four sliding coatings based on flexible silicone resins with low environmental impact. PVC structures containing four metal panels were used with the

coatings that were submerged in the sea for three months. Microfouling evaluations were carried out from the first two hours of exposure, macrofouling analysis was performed monthly by identifying the organisms present in the specimens and the percentage coverage. It was found that after the immersion of the specimens in the sea began the colonization process, at two hours bacteria were isolated, finding the largest quantity per week of exposure. At one month, the amount of microalgae increased significantly, finding also a great coverage of macroorganisms, emphasizing the ascidia *Distaplia stylifera* that was the most abundant and that from the second month colonized the largest surface of the specimens, even covering organisms already established.

Keywords

Bacteria, microalgae, invertebrates, colonization, covering.

Introducción

El incrustamiento marino mejor conocido como *biofouling* se refiere a la absorción, colonización y desarrollo o acumulación de organismos en superficies inmersas (Clare, 1996). Desde la adsorción inicial de macromoléculas hasta el desarrollo de comunidades complejas y diversas de vegetales y animales, el *biofouling* marino afecta a la mayoría de las superficies artificiales temporal o permanentemente sumergidas en el mar (Evans, 1988). El costo económico que esto implica ha dado lugar a una amplia variedad de investigaciones que se ocupan de su prevención o reducción (Holmström y Kjelleberg, 1994). Sin embargo, la prevención y la solución (eventualmente) a este problema requiere un conocimiento básico de los mecanismos que regulan y mantienen la estructura de las comunidades contaminantes (Terlizzi *et al.*, 2000).

Las biopelículas se forman cuando las bacterias libres flotantes perciben una superficie y se adhieren a ella; siendo éstas, el primer eslabón en la formación del *biofouling*. A partir de aquí se emiten señales químicas para coordinar la diferenciación y formación de estructuras, incluyendo el desarrollo de una cubierta polisacárida, esto genera una nueva interfaz de sustrato con propiedades físico-químicas alteradas. Las bacterias y las asociaciones de diatomeas han sido identificadas como fuentes importantes de señales que pueden inducir o inhibir el asentamiento de larvas (Qian *et al.*, 2007; Dobretsov *et al.*, 2013). A estos microorganismos colo-

nizadores primarios se les ha considerado como organismos pioneros y se les localiza a las pocas horas después de la inmersión, han sido relacionados con la biocorrosión por tensión y/o por causar picaduras en el material (Beech y Sunner, 2004). Los colonizadores secundarios comprenden a protozoos y esporas de macroalgas (Schultz, 2007). Mientras que la última etapa la comprenden organismos macroscópicos, derivados de larvas o esporas que se asientan sobre sustratos duros para completar su ciclo de vida (colonizadores terciarios) como mejillones, gusanos tubulares y briozoarios, que se asentarán en estas superficies artificiales después de 2 o 3 semanas de inmersión.

Debido a la gran variedad de organismos involucrados y a la complejidad del proceso de *biofouling*, es necesario comprender mejor las variables que influyen en el proceso y a los organismos involucrados. Un método ampliamente utilizado para investigar el desarrollo de éstas comunidades incrustantes y examinar las respuestas de las especies individuales a una variedad de condiciones es el uso de paneles.

Por otro lado, el desarrollo de una medida de control eficaz para combatir la contaminación biológica sigue siendo un desafío técnico importante (Almeida *et al.*, 2007). En respuesta a las crecientes preocupaciones ambientales, se ha desarrollado una nueva generación de recubrimientos ecológicamente sostenibles de fácil limpieza (FR fouling-release) como alternativa a las pinturas biocidas (Almeida *et al.*, 2007; Marechal y Hellio, 2009). El objetivo de este estudio fue analizar la colonización inicial de los microorganismos formadores de la biopelícula, así como la sucesión de macroorganismos durante tres meses de exposición, en cuatro recubrimientos FR empleados actualmente.

Metodología

Se utilizaron estructuras de PVC conteniendo cuatro paneles metálicos con recubrimientos deslizantes a base de resinas siliconadas flexibles de bajo impacto ambiental (FR fouling-release) proporcionados por la Fundación Gaiker e Industrias Químicas IRURENA, S.A., éstos fueron sumergidos en el mar por duplicado, de manera horizontal, sujetos a un muelle flotante en la marina “La Cos-

ta" en La Paz Baja, California Sur, a una profundidad de 1 m aproximadamente. Estos paneles fueron pesados individualmente antes del experimento.

Los tipos de recubrimientos utilizados en los paneles sumergidos en la marina fueron los siguientes: S1 compuesto por resina-2 Rojo (Híbrido epoxi de silicona) con endurecedor HARD-1 (Silano bifuncional que posee un grupo amino primario reactivo y grupos etoxisililo hidrolizables), S2 resina-2 Rojo (Híbrido epoxi de silicona) con endurecedor HARD-21 (Resina de silicona amino-funcional), S3 resina-1 Rojo (IRUPOX: Resina acrílica amino-funcional) con endurecedor HARD-3 (Agente de curado de copolímero epoxi-acrílico) y S4 siliconas, sin biocidas y de curado por humedad del aire (sistema comercial).

Análisis del *microfouling*

A las dos horas de exposición en el mar se tomó una muestra para llevar a cabo el aislamiento y conteo de bacterias adheridas a los paneles. Se realizó un enjuague previo con solución salina estéril a la superficie de cada uno de los paneles y se hizo un raspado con un hisopo estéril, el cual fue transportado al laboratorio en tubos de ensaye con solución salina estéril.

En el laboratorio se realizaron diluciones seriadas hasta 10^{-4} para el conteo de las UFC (unidades formadoras de colonias), las cuales fueron sembradas en cajas de Petri con agar marino por duplicado. Se incubaron a 35°C por 24 horas. Transcurrido el tiempo se revisaron en el microscopio estereoscópico para el conteo de las UFC, además se identificaron las diferentes morfologías y fueron purificadas por siembra en estría. Se identificaron a las bacterias con capacidad de adhesión y por lo tanto partícipes en el proceso de colonización o formación del biofilm mediante pruebas que consistieron en inocular un pozo con cada una de las cepas (por duplicado) en 100 μl de caldo marino en microplacas de 96 pozos, se incubaron por 48 horas a 35°C , transcurrido el tiempo se retiró el caldo marino, se enjuagó la placa en repetidas ocasiones con agua estéril para eliminar cualquier resto de caldo y células no adheridas, se dejaron secar unos minutos y se agregaron 100 μl de cristal violeta al 1% durante 10 minutos. Se enjuagó la placa nuevamente con agua estéril hasta eliminar el exceso del coloran-

te y se determinó visualmente la presencia de bacterias adheridas al pozo mediante la coloración purpura intensa de la biopelícula.

A las horas 4 , 6 , 8 y 24 así como a los 8, 15 y 30 días de inmersión se repitió el mismo procedimiento para el aislamiento y conteo de bacterias. De estos últimos (8, 15 y 30 días) se tomó también una muestra de cada probeta para llevar a cabo el conteo de microalgas adheridas a ellas. Para esto se siguió el mismo procedimiento que para la obtención de las bacterias haciendo un raspado con un hisopo estéril posterior al enjuague y fue colocado en un tubo con solución salina. En el laboratorio se tomaron 50 μ l de esta solución para llenar la cámara de Neubauer (por duplicado) y llevar a cabo el conteo de microalgas presentes en cada muestra.

Análisis del *macrofouling*

Mensualmente se tomaron fotografías en campo para llevar a cabo el análisis de la cobertura de organismos incrustantes. Al final del experimento se retiraron los paneles y se transportaron en un recipiente con agua de mar al laboratorio, se les retiró el exceso de agua y se pesaron para obtener la biomasa húmeda. Las fotografías obtenidas durante los tres meses fueron analizadas utilizando el software CPCe para calcular la cobertura colonizada y posteriormente hacer la comparación entre tiempos de exposición. Además, se tomaron muestras de cada organismo diferente para la identificación hasta la máxima jerarquía posible. Se llevaron a cabo análisis estadísticos ANOVA entre tratamientos y tiempos de exposición.

Resultados

Análisis del *microfouling*

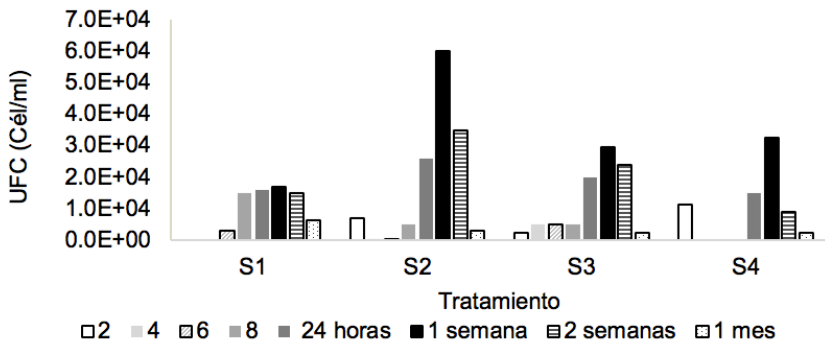
Durante los diferentes tiempos de exposición en que se llevaron a cabo los conteos de bacterias adheridas a las probetas se encontraron variaciones, tanto entre los tratamientos como entre las horas de muestreo (figura 1). En todos ellos se encontró el mayor número de UFC a la semana de ser sumergidos en el mar, siendo significativamente diferente a las primeras horas de muestreo ($p=0.0007$), el tratamiento S2 fue el que presentó el mayor número de UFC (1.7×10^4 cél/ml), sin embargo no se observaron diferen-

cias estadísticamente significativas con respecto a los otros tres tratamientos.

Se aislaron 62 cepas con diferentes morfologías las cuales fueron descritas y caracterizadas (tabla 1-anexo). De éstas, 22 resultaron ser formadoras de *biofilm*, confirmando así su participación en el proceso de formación de *biofouling*. Estas bacterias fueron identificadas mediante secuenciación parcial del ARNr, correspondiendo en su mayoría a especies cercanas a *Bacillus* y otras especies consideradas como formadoras de biopelículas (tabla 1-anexo).

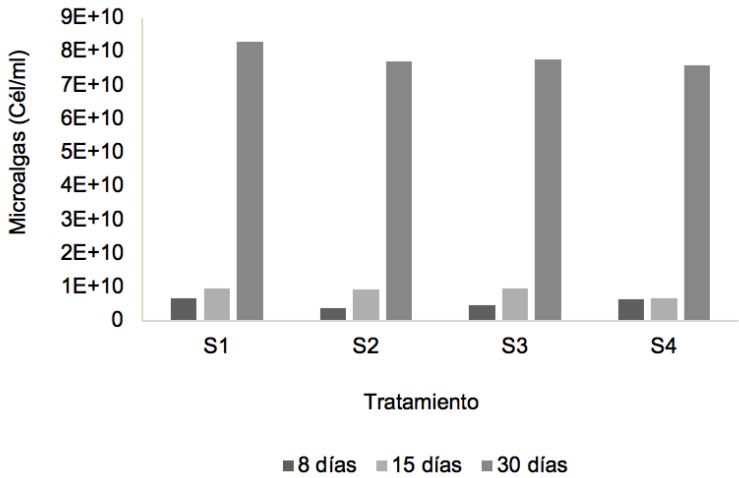
Figura 1

Conteo de Unidades Formadoras de Colonia (UFC) aisladas de las probetas experimentales durante los diferentes tiempos de exposición en el mar.



En cuanto a las microalgas, éstas se analizaron a partir de la semana de exposición. Durante los primeros dos muestreos, correspondientes a la semana y los 15 días, el número de células fue muy similar en los cuatro tratamientos, sin embargo al mes de estar sumergidas, la cantidad de microalgas se incrementó significativamente, siendo en todos los casos estadísticamente diferente ($p = 00000$). Al igual que con las bacterias, no se mostraron diferencias en el número de microalgas entre los tratamientos (figura 2).

Figura 2
Número de microalgas aisladas de las probetas experimentales durante los diferentes tiempos de exposición en el mar.



Análisis del *macrofouling*

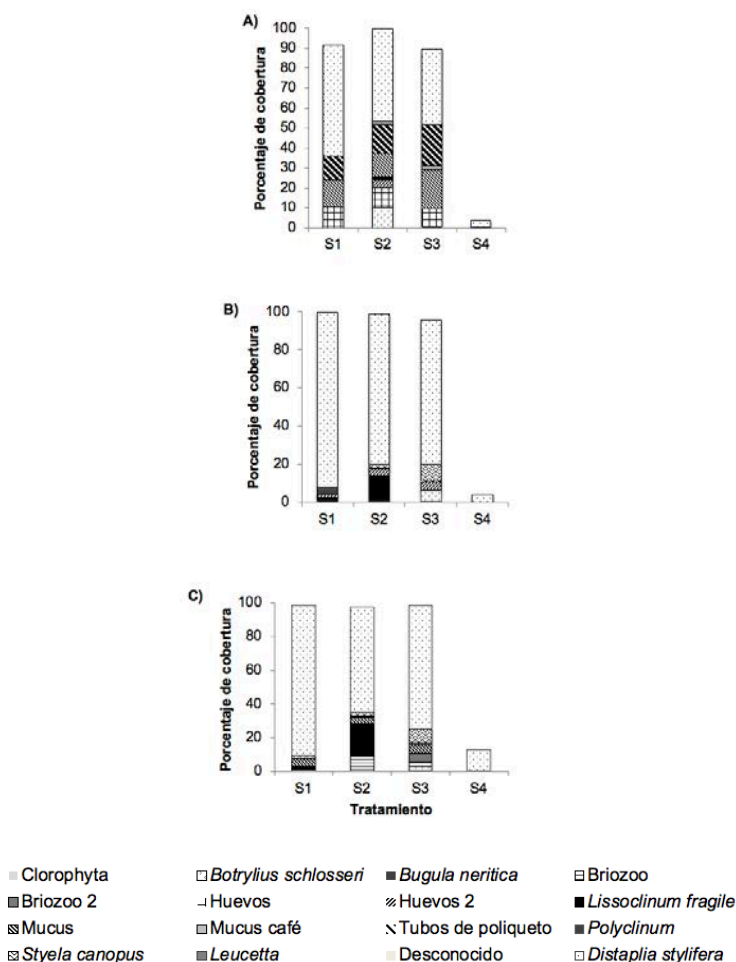
Al final del tiempo de exposición, la comunidad incrustante estuvo conformada por un total de 20 organismos diferentes en las cuatro probetas, algunos de ellos no se encontraban propiamente adheridos por lo que se les consideraron como fauna de acompañamiento (tabla 2-anexo), además de huevos, mucus y otras estructuras que no pudieron ser identificadas. Sin embargo, sólo unas pocas especies fueron realmente abundantes, entre ellas la ascidia *Distaplia stylifera* que fue la dominante en todos los tratamientos, cubriendo la mayor parte de las probetas desde el primer mes de inmersión. Esta especie desplazó a muchos de los organismos al segundo mes como se puede apreciar en la figura 3, representando más del 80% de la cobertura total. Todos los otros organismos fueron mucho menos abundantes y se presentaron en diferentes proporciones en cada uno de los tratamientos (figura 3).

Las probetas con el tratamiento S4 presentaron una menor cantidad de bioincrustamiento en ambas réplicas siendo significativamente diferente al resto ($p=0.00000$), en los tratamientos S1,

S2 y S3 se observó la presencia de una película adherida (*mucus*) desde las primeras horas de inmersión, teniendo mayor cobertura de organismos después de tres meses de exposición en el medio marino.

Figura 3

Porcentaje de cobertura de los organismos encontrados en las probetas experimentales durante los diferentes meses de exposición. A) Primer mes, B) Segundo mes y C) Tercer mes.



Durante los tiempos de exposición en que se llevo a cabo el análisis de la cobertura de macroorganismos adheridos a las probetas no se encontraron diferencias significativas ($p = 0.795$), ya que con excepción de la probeta S4, prácticamente estaban cubiertas al 100% desde el primer mes.

En cuanto a la biomasa húmeda, el tratamiento con mayor abundancia de organismos y peso húmedo fue el S3 con 98 g y el menor fue el S4 con 6 g, en las probetas S1 y S2 fue de 87 y 89 g respectivamente.

Discusión

Análisis del *microfouling*

El desarrollo de biopelículas microbianas en varias superficies, incluyendo los revestimientos marinos FR, ha sido objeto de numerosas investigaciones que se han centrado en las características del asentamiento microbiano inicial (Molino *et al.*, 2009; Dobretsov y Thomason, 2011; Muthukrishnan *et al.*, 2014; Van Mooy *et al.*, 2014). En el presente estudio se comprobó que tras la inmersión de las probetas en el mar comenzó el proceso de colonización, ya que debido a su gran abundancia en la columna de agua, con frecuencia varios microorganismos entran en contacto con los sustratos inmersos (Qian *et al.*, 2007). Se ha documentado que esta primera fase de sucesión ecológica tiene dos características típicas que son: un comienzo rápido e intenso (Connell y Slatyer, 1977), esto es, a las dos horas de inmersión ya se habían encontrado bacterias adheridas a las probetas en tres de los tratamientos; sin embargo, a las siguientes horas de muestreo la cantidad de UFC disminuyeron notablemente en dos de ellos, lo cual podría deberse a la etapa de acondicionamiento. Es probable que las células individuales de muchas especies colonicen los sustratos durante las primeras horas, sin embargo, en las subsecuentes solo proliferarán las especies capaces de tolerar las propiedades presentadas por ese sustrato particular (Molino *et al.*, 2009; Dobretsov *et al.*, 2013).

Los mecanismos de acción de los revestimientos FR se atribuyen generalmente a las propiedades físicas de la superficie que interfieren con la adhesión de los organismos contaminantes. Los revestimientos están representados principalmente por tres mate-

riales básicos: fluoropolímeros, siliconas y más recientemente hidrogeles (Murosaki *et al.*, 2011). Existen varios factores que pueden promover la colonización de bacterias en recubrimientos FR. Se ha demostrado que las interacciones hidrófobas atractivas entre la pared celular bacteriana y el sustrato facilitan la adhesión de bacterias marinas (Bakker *et al.*, 2004; Ista *et al.*, 2004). Después del contacto inicial, muchas especies comienzan a producir polímeros extracelulares (EPS) de propiedades físicas y químicas variables. El EPS actúa como un adhesivo fuerte asegurando que la población pionera de bacterias estén permanentemente unidas a la superficie (Qian *et al.*, 2007).

Varias especies del género *Bacillus* se encontraron con más frecuencia a las diferentes horas de exposición de las probetas y en todos los tratamientos. Al respecto, se ha observado que las bacterias adherentes de este género proporcionan el sustrato para organismos incrustantes mayores formando una biopelícula de exopolímero (Bhosale *et al.*, 2002); la composición química de éste depende de la genética de las células microbianas y del entorno físico-químico en el que se desarrolla la matriz extracelular (Sutherland, 2001). Morita *et al.* (1979) y Marvasi *et al.* (2010), mencionan que se han reportado diferentes tipos de exopolisacáridos para la especie *Bacillus subtilis* como la glucosa, galactosa, fucosa, ácido glucurónico y grupos O-acetilo.

Otra de las especies bacterianas presentes en las probetas fue *Roseobacter*, estudios previos han mostrado que las rhodobacteriales constituyen uno de los grupos más abundantes en el bacterioplancton y son muy importantes en los ecosistemas marinos costeros (González y Moran, 1997). Se ha documentado que los miembros de este orden son los colonizadores más comunes de una amplia variedad de superficies artificiales (Buchan *et al.*, 2000; Dang y Lowell, 2000).

Una vez que se forma el *biofilm* bacteriano inicial, es probable que se reduzcan las propiedades anfífilas de los revestimientos FR, permitiendo que otros colonizadores se asienten (Molino *et al.*, 2009; Dobretsov y Thomason, 2011). En este estudio se encontró que las microalgas ya comenzaban a colonizar a la semana de exposición, coincidiendo con el mayor número de UFC de bacte-

rias. Asimismo, se encontró una relación entre estos microorganismos, ya que al aumentar las microalgas las bacterias fueron disminuyendo.

Análisis del *macrofouling*

Además del análisis de cobertura, se realizó la determinación de biomasa total y la identificación de los macroorganismos encontrados con la ayuda de claves taxonómicas. Los resultados de la gravimetría indicaron que el tratamiento S3 presentó la mayor cantidad de bioincrustamiento, debido a la ausencia de algún agente antiincrustante la colonización prosiguió sin perturbaciones y alcanzó el 100% de la superficie disponible en tres meses.

Los materiales utilizados para los recubrimientos de las probetas experimentales producen una superficie a menudo anfifílica, reduciendo la fuerza del enlace adhesivo entre el organismo y la superficie tratada (Chambers *et al.*, 2006; Bressy y Lejars, 2014), aún así en este estudio, los organismos encontraron un sustrato propicio para su asentamiento. La principal característica de estos nuevos recubrimientos de fácil limpieza es precisamente que la superficie tratada al moverse a una velocidad crítica elimine el *biofouling*. En estas probetas la fuerza requerida para una limpieza fue muy baja, utilizando solamente un cepillado ligero, lo cual puede ser comparable a la fuerza que ejerce el agua sobre una embarcación en movimiento, por lo que pueden representar una solución eficaz y no contaminante al problema del *biofouling*.

En el caso del recubrimiento S4 la cobertura de organismos adheridos fue mínima, además de las diferencias en su composición como se detalló en la metodología, éstas probetas eran de color negro, mientras que el resto fueron de color rojo. Sin embargo, no se encontró una relación evidente entre el color y la ausencia de organismos adheridos, ya que en la bibliografía se menciona que el color de una superficie o grado de sombreado puede ser significativo en el reclutamiento de muchas especies de invertebrados. Thorson (1964), sugiere que las superficies oscuras que contrastan con el medio circundante atraen a la mayoría de las larvas de los animales intermareales y los inducen a asentarse, contrario a lo que observamos con el recubrimiento negro, por lo que la au-

sencia de organismos pudiera deberse a la composición de la formulación que causa algún efecto repelente para su adhesión.

Las micro y macroalgas representaron a los primeros colonizadores en todas las probetas, seguidos por ascidias, poliquetos y balanos, que se unieron a tres de los sustratos. La comunidad siguió un patrón de sucesión típico, influenciado por las tendencias estacionales de abundancia de diferentes especies.

Los procesos oceánicos costeros son en gran parte responsables del transporte de larvas y esporas a áreas adecuadas donde pueden entonces unirse a una superficie y comenzar el desarrollo como individuos sésiles. A menor escala, se sabe que las larvas de muchos invertebrados marinos son altamente selectivas con respecto a su sitio de asentamiento final y se ha demostrado que la naturaleza química y física del sustrato influye en la selección de los hábitats, así como las condiciones ambientales en términos de fuentes de alimento, velocidad del agua, temperatura y otras variables que determinan la supervivencia de los adultos (Scheltema, 1974).

La ascidia *Distaplia stylifera* fue la que colonizó la mayor superficie de las probetas, incluso cubriendo a los organismos ya establecidos, en este caso se pudo apreciar que una especie particular fue más atraída y por lo tanto más abundante sobre un sustrato particular, y que podría afectar a la sucesión por sus interacciones posteriores con otras especies. Las ascidias se encuentran entre los grupos de organismos potencialmente invasivos. Son invertebrados sésiles muy comunes de encontrar sobre estructuras marinas antropogénicas, tales como puertos, marinas y en jaulas de cultivo debido a que suelen estar en lugares con aguas tranquilas con grandes cantidades de materia orgánica en suspensión, lo cual puede favorecer a estos organismos (Lambert, 2005; Carman *et al.*, 2006). Se tienen reportes de que cada vez son mas frecuentes las invasiones de ascidias en todo el mundo causando a menudo daños ambientales e impactos económicos (Turon *et al.*, 2007). En este sentido, varias de las especies encontradas en las probetas experimentales son reportadas como especies exóticas o invasoras, una de ellas *Botryllus schlosseri* fue identificada como una especie invasora para la costa del Pacífico mexicano por Tovar-Hernández

et al. (2012), lo que genera un problema, ya que podría originar la pérdida de especies sésiles de la zona y un alto riesgo de contaminación en otras localidades por medio del transporte marítimo.

Conclusión

Con el análisis de la sucesión de organismos en estos recubrimientos se comprobó que el *biofouling* es un proceso de múltiples y complejas etapas que implican interacciones entre la superficie y los organismos que eligen el sustrato para su asentamiento, además se determinó que algunas especies como *Distaplia styliifera* pueden intervenir en la selección de organismos que se adhieren a estos recubrimientos, donde incluso pueden provocar su desplazamiento.

Agradecimientos

Al proyecto 210637 “Desarrollo de una plataforma tecnológica de recubrimientos antivegetativos de bajo impacto ambiental” apoyado por el Fondo Institucional del CONACYT a Comex Industrial Coatings S.A. de C.V. y a Industrias Químicas IRURENA, S.A. y Fundación Gaiker por las probetas.

Literatura citada

- Almeida, E., Diamantino, T. C., & De Sousa, O. (2007). Marine paints: the particular case of antifouling paints. *Progress In Organic Coatings*, 59, 2-20.
- Bakker, D. P., Postmus, B. R., Busscher, H. J. & Van der Mei, H. C. (2004). Bacteria strains isolated from different niches can exhibit different patterns of adhesion to substrata. *Applied and Environmental Microbiology*, 70, 3758-3760.
- Beech, I. B. & Sunner, J. B. (2004). Biocorrosion: towards understanding interactions between biofilms and metals. *Current Opinion in Biotechnology*, 15, 181-186.
- Bhosale, S. H., Nagle, V. L. & Jagtap, T. G. (2002). Antifouling potential of some marine organisms from India against species of *Bacillus* and *Pseudomonas*. *Marine Biotechnology*, 4, 111-118.
- Bressy, C. & Lejars, M. (2014). Marine fouling: an overview. *The Journal of Ocean Technology*, 9, 19-28.
- Buchan, L. A. J. (1999). Estimating the probability of long-distance overland dispersal of invading aquatic species. *Ecological Applications*, 9, 254-265.
- Carman, M. L., Estes, T. G., Feinberg, A. W., Schumacher, J. F., Wilkerson, W., Wilson, L. H., Callow, M. E., Callow, J. A. & Brennan, A. B. (2006). Engineered antifouling microtopographies correlating wettability with cell attachment. *Biofouling*, 22, 11-20.

- Chamber, L. D., Stokes, F. C., Walsh, F. C. & Wood, R. J. K. (2006). Modern approaches to marine antifouling coatings. *Surface and Coatings Technology*, 201, 3642-3652.
- Clare, A. S. (1996). Marine Natural product antifoulants: status and potential. *Biofouling*, 9, 211-229.
- Connell, J. H. & Slatyer, R. O. (1977). Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *The american naturalist*, 982, 1119-1144.
- Dang, H. & Lovell, C. R. (2000). Bacterial primary colonization and darle succession on surface in marine waters as determines bu amplificador rRNA gene restriction análisis and secuencia análisis of 16S ribosomal rRNA genes. *Applied and Environmental Microbiology*, 66, 467-475.
- Dobretsov, S., Abed, R. M., & Teplitski, M. (2013). Inhibition of biofouling by marine microorganisms. *Biofouling*, 29, 423-441.
- Drovesot, S. & Thomanson, J. C. (2011). The devolpmnt of marine biofilms On two comercial non-biocidal coating: a comparasion berreen silica an flouropolymer technologies. *Biofouling*, 27, 869-880.
- Evans, L. V. (1988). Marine biofouling. *Algae and human affairs*, 433-453.
- Gonzalez, J., & Moran, M. (1997). Numerical dominance of a group of marine bacteria in the alpha-subclass of the class Proteobacteria in coastal seawater. *Applied and Environmental Microbiology*, 63, 4237-4242.
- Holmstrom, C. & Kjelleberg, S. (1994). The effect of external biological factors on settlement of marine invertebrates and new antifouling technologies. *Biofouling*, 8, 147-160.
- Ista, L. K., Callow, M. E., Finlay, J. A., Coleman, S. A., Nolasco, A. C., Simons, R. H., Callow, J. A. & Lopez, G. P. (2004). Effects of sub- stratum surface chemistry and surface energy on attachment of marine bacterial and algal spores. *Applied and Environmental Microbiology*, 70, 4151-4157.
- Lambert, G. (2005). Invasive sea squirt: a growing global problem. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 342, 3-4.
- Macheral, J. P. & Hellio, C. (2009). Challengens for the development of new non-toxic antifouling solutions. *International Journal of Molecular Sciences*, 4623-2637.
- Marvasi, M., Visscher, P. T. & Casillas, L. (2010). Exopolymeric substances (EPS) from *Bacillus subtilis*: polymers and genes encoding their synthesis. *FEMS Microbiology*, 313, 1-10.
- Molino, P. J., Childs, S., Hubbard, M. R. E., Carey, J. M., Burgman, M. A. & Wetherbee, R. (2009). Development of the primary bacterial microfouling layer on antifouling and foul release coatings in temperate and tropical environments in Eastern Australia. *Biofouling*, 25, 149-162.
- Morita, N., Takagi, M. & Murao, S. (1979). A new gel-forming polysaccharide produced by *Bacillus subtilis* FT-3 its structure and its physical and chemical characteristics. *Bulletin of the University of Osaka Prefecture, Serie B*. 31: 27-41.
- Murosaki, T., Ahmed, N. & Gong, J.P. (2011). Antifouling properties of hydrogels. *Science and Technology of Advanced Materials*, 12, 1-7.

- Muthukrishnan, T., Abed, R. M. M., Dobretsov, S., Kidd, B. & Finnie, A. A. (2014). Long-term microfouling on commercial biocidal fouling control coatings. *Biofouling*, 30, 1155-1164.
- Qian, P., Lau, S. C., Dahms, H. U., & Dobretsov, S. (2007). Marine Biofilms as Mediators of Colonization by Marine Macroorganisms: Implications for Antifouling and Aquaculture. *Marine Biotechnology*, 399-410.
- Schetelma, R. S. (1974). Biological interaction determining larval settlement of marine invertebrates. *Thalassia Jugosl*, 10, 263-293.
- Schultz, M. (2007). Effects of coating roughness and biofouling on ship resistance and powering. *Biofouling*, 23, 331-341.
- Sutherland, I. (2001). Biofilm exopolysaccharides: a strong and sticky framework. *Microbiology*, 147, 3-9.
- Terlizzi, A., Conte, E., Zupo, V. & Mazzela, L. (2000). Biological succession on silicone fouling-release surfaces: long-term exposure test in the harbour of Ischia, Italy. *Biofouling*, 15(4), 327-342.
- Thorson, G. (1964). Light as an ecological factor in the dispersal and settlement of larvae of marine bottom invertebrates. *Ophelia*, 1, 167-208.
- Tovar-Hernandez, M. A., Villalobos-Guerrero, T. F., Yáñez-Rivera, B., Aguilar-Camacho J. M., y Ramírez-Santana I. D. (2012). Guía de invertebrados acuáticos exóticos en Sinaloa. Geomare, A. C., USFWS, INE-SEMARNAT. Mazatlán, Sinaloa, México.
- Turon, X., Nishikawa, T. & Rius, M. (2007). Spread of *Microcosmus squamiger* (Ascidacea: Pyuridae) in the Mediterranean Sea and adjacent waters. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 342, 185-188.
- Van Mooy, B. A. S., Hmelo, L. R., Fredricks, H. F., Ossolinski, J. E., Pedler, B. R., Bogorff, D. J. B., & Smith, P. J. S. (2014). Quantitative exploration of the contribution of settlement, growth, dispersal and grazing to the accumulation of natural marine biofilms on antifouling and fouling-release coatings. *Biofouling*, 30, 223-236.

Anexo

Tabla 1

Caracterización e identificación molecular de las bacterias formadoras de *biofilm* aisladas de las probetas experimentales.

Especie más cercana	% de identidad	Numero de acceso NCBI	Forma	Borde	Elevación	Color	Morfología celular	Gram
<i>Bacillus subtilis</i>	100	KU559875.1	Irregular	Rizada	Umbonada	Amarillo-café	Bacilo	+
<i>Paenibacillus polymixa</i>	100	KJ817593.1	Circular	Entero	Elevado	Café dorado	Bacilo	+
<i>Bacillales bacterium</i>	99	HM152628.1	Circular	Entero	Convexo	Amarillo claro	Cocos	+
<i>Micrococcus luteus</i>	100	KT448588.1	Circular	Entero	Convexo	Amarillo turbio	Cocos	+
<i>Bacillus horneckiae</i>	99	JQ946069.1	Irregular	Ondulado	Convexo	Café-amarillo	Bacilo	+
<i>Bacillus korensis</i>	99	KT720281.1	Irregular	Ondulado	Plano	Blanco	Bacilo	+
<i>Halobacillus trueperi</i>	100	HQ683724.1	Irregular	Ondulado	Crateriforme	Amarillo opaco	Bacilo	+
<i>Bacillus halosaccharovorans</i>	99	JQ946069.1	Irregular	Ondulado	Plano	Blanco opaco	Bacilo	+
<i>Bacillus subtilis</i>	99	KY608835.1	Irregular	Ondulado	Ondulado	Amarillo-café	Bacilo	+
<i>Bacillus subtilis</i>	100	JF501099.1	Irregular	Ondulado	Crateriforme	Amarillo opaco	Bacilo	+
<i>Alteromonas macleodii</i>	100	KJ210054.1	Irregular	Ondulado	Plano	Amarillo-café	Bacilo	-
<i>Bermanella marisrubri</i>	100	NR_042750.1	Irregular	Filamentosa	Plano	Café-blanco	Bacilo	-
<i>Bacillus subtilis</i>	100	HQ443223.1	Irregular	Lobulado	Elevado	Blanco-amarillo	Bacilo	+
<i>Alteromonas macleodii</i>	99	FJ461449.1	Irregular	Rizado	Crateriforme	Blanquesino	Bacilo	-
<i>Streptomyces sp</i>	99	KY608586.1	Irregular	Ondulado	Plano	Amarillo-Blanquesino	Bacilo	+
<i>Streptomyces sp.</i>	100	KY608579.1	Irregular	Filamentoso	Plano	Blanco	Bacilo	+
<i>Pontibacter akesuensis</i>	99	CP014766.1	Circular	Entero	Convexo	Rosado	Bacilo	-
<i>Vibrio cambellii</i>	100	KM216223.1	Irregular	Entero	Plano	Amarillo-café	Bacilo	-
<i>Roseobacter</i>	94	KJ814054.1	Irregular	Ondulado	Plano	Amarillo-pollo	Bacilo	-
<i>Vibrio harveyi</i>	100	KU245727.1	Irregular	Ondulado	Plano	Amarillo-café	Bacilo	-
<i>Alteromonas mediterranea</i>	99	FJ461449.1	Circular	Entero	Crateriforme	Blanquesino	Bacilo	-
<i>Bacillus subtilis</i>	100	CP013984.1	Irregular	Ondulado	Crateriforme	Blanco opaco	Bacilo	+

Tabla 2

Listado de organismos presentes en las probetas experimentales.

Organismo	Especie invasora o nativa	Adherida/Acompañamiento	Tratamiento
Polychaeta			
<i>Branchiomma cingulatum</i>	Exótica	AD	S1,S2,S3
<i>Janua</i>	--	AD	S3
<i>Cheilonereis cyclurus</i>	Endémico	AD	S1,S2
<i>Streblosoma</i>	--	AD	S2,
<i>Nematonereis</i>	Endémico	AD	S3
Malacostraca			
Xanthidae	--	AC	S1,S2
Corophiidea	--	AC	S1,S2,S3
Hexanauplia			
<i>Balanus trigonus</i>	Endémico	AD	S1
Gymnolaemata			
<i>Bugula neritina</i>	Exótica	AD	S1,S2,S3
"Briozoo"	--	AD	S1,S2,S3,S4
"Briozoo2"	--	AD	S1,S2,S3,S4
Ascidiacea			
<i>Distaplia styliifera</i>	Exótica	AD	S1.S2.S3,S4
<i>Lissoclinum fragile</i>	Exótica	AD	S1,S2,S3
<i>Botryllus schlosseri</i>	Exótica	AD	S2,S3
<i>Styela canopus</i>	Exótica	AD	S2,S3
<i>Polyclinum</i>	Exótica	AD	S1
Hydrozoa			
<i>Obelia</i>	--	AD	S3
Ophiuroidea			
<i>Ophiothrix spiculata</i>	Endémico	AC	S1
<i>Ophiactis savignyi</i>	Endémico	AC	S2,S4
Gastropoda			
<i>Crepidula arenata</i>	Exótica	AC	S2
Calcarea			
<i>Leucetta</i>	--	AD	S3

Depredación de copépodos
sobre paralarvas del complejo
Sthenoteuthis oualaniensis-Dosidicus
gigas en el Golfo de California

*Copepod predation upon paralarvae
of Sthenoteuthis-oualaniensis-Dosidicus
gigas complex in the Gulf of California*

José Ricardo Palomares-García¹

Roxana De Silva-Dávila¹

Raymundo Avendaño-Ibarra¹

¹ Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN), Departamento de Plancton y Ecología Marina, Ave. IPN s/n, Col. Playa Palo de Santa Rita, C.P. 23096. La Paz, Baja California Sur, México. Correo-e: rpalomar@ipn.mx.

Resumen

Se registraron evidencias de la depredación de copépodos sobre paralarvas de ommastrephidos del complejo *Sthenoteuthis oualaniensis-Dosidicus gigas* (complejo SD) durante dos cruceros oceanográficos realizados en la boca del Golfo de California en noviembre de 2004 y 2006. Las muestras de zooplancton provinieron de arrastres oblicuos (red tipo Calcofi, 1.0 m diámetro, 505 μm) y superficiales (red Neuston, 335 μm). El análisis de las muestras de zooplancton mostró que, aunque otros grupos depredadores como quetognatos, anfípodos y otras especies de copépodos carnívoros estaban presentes, el copépodo cosmopolita de aguas cálidas, *Oncaea venusta* fué el depredador que atacó más frecuentemente a las paralarvas del complejo SD. En 2004, la depredación se observó en el 15% de las estaciones positivas, mientras que, en 2006, se incrementó hasta un 54%. La frecuencia y número de paralarvas atacadas fue mayor frente a Bahía de La Paz durante 2006. La mayoría de los ataques fueron en el manto y la cabeza de las paralarvas y estuvieron asociados con una alta abundancia de paralarvas recién eclosionadas (1.2 mm de longitud de manto promedio) colectadas en superficie. El alto número de paralarvas atacadas por *Oncaea venusta* por estación de muestreo (hasta 12), apoya la hipótesis de que el efecto depredador de esta especie de copépodo es un factor importante que contribuye a la mortalidad de paralarvas recién eclosionadas del complejo SD en el Pacífico mexicano.

Palabras clave

Oncaea venusta, complejo *Sthenoteuthis-Dosidicus*, depredación.

Abstract

Evidences of copepod predation on ommastrephid paralarvae of the *Sthenoteuthis oualaniensis-Dosidicus gigas* complex (SD Complex) were registered in two oceanographic cruises made in November 2004 and 2006 in the mouth of the Gulf of California. Zooplankton samples were collected with oblique (Calcofi net, 1.0 m diameter, 505 μm) and surface (Neuston net, 335 μm) tows. The analysis of zooplankton samples showed that although other predator zooplankters such as chaetognaths, amphipods, and other carnivore copepod species were present, the warm-water cosmopolitan copepod *Oncaea venusta* was the predator attacking more frequently paralarvae of the SD Complex. In 2004, predation activity was observed in 15% of the positive sampling stations, increasing to 54% in 2006. The frequency and number of attacked paralarvae were higher in front of Bahía de La Paz during 2006. Most attacks were to the mantle and on the head of paralarvae, and were associated with high

abundance of recently hatched paralarvae (1.2 mm mean mantle length) collected at surface. The high number of attacked paralarvae (up to 12) per sampling station by *Oncaea venusta*, supports the hypothesis that the predator effect of this copepod species represents an important factor contributing to mortality of recently hatched paralarvae of the Complex SD in the Mexican Pacific Ocean.

Keywords

Oncaea venusta, *Sthenoteuthis-Dosidicus* Complex, predation.

Introducción

Es bien conocido que las especies de ciclo de vida corto, como los calamares, requieren de un ambiente físico y biológico favorable, que propicie un desarrollo acelerado y un reclutamiento exitoso (Sakurai *et al.*, 2000). No obstante, el éxito del reclutamiento no solo depende de los factores que favorecen la sobrevivencia, sino de aquellos que limitan el reclutamiento, como la mortalidad (Vidal y Haimovici, 1989). De hecho, para diversas especies de cefalópodos que soportan pesquerías comerciales se considera a la mortalidad larval, como la principal fuente de variación del tamaño de la población (Vecchione, 1987). Dentro de las causas de mortalidad en paralarvas de cefalópodos, se han propuesto a la depredación y la inanición como los principales causales. Sin embargo, se conoce poco de su ecología trófica (Vidal y Haimovici 1989; Cardoso *et al.*, 2005; Camarillo-Coop *et al.*, 2013) y casi nada de sus potenciales depredadores.

En el caso de las paralarvas de la familia Ommastrephidae, la carencia de alimento puede ser una fuente de mortalidad relevante (Vecchione, 1991; Vidal y Haimovici, 1998). Poseer un metabolismo muy acelerado, les permite crecer a un ritmo entre 5 a 8% de la longitud del manto diariamente (Nigmatullin *et al.*, 2001) pero también es un factor que en ausencia o escasez de alimento las puede llevar rápidamente a un estado de inanición (Okutani y Watanabe, 1983; Sakurai *et al.*, 2000).

En México el calamar jumbo del Pacífico *Dosidicus gigas* d'Orbigny, 1835 perteneciente a esta misma familia, es la especie con mayor interés pesquero y la mejor estudiada desde inicios de la década de los ochenta (Zepeda-Benítez *et al.*, 2017). Sus paralar-

vas son morfológicamente indistinguibles de las de *Sthenoteuthis oualaniensis* (Lesson, 1830) a tallas menores de 3-4 mm de longitud de manto, por lo que se les agrupa para su estudio en el complejo *Sthenoteuthis oualaniensis-Dosidicus gigas* (complejo SD). La mortalidad temprana por depredación en este complejo de especies no ha sido abordada hasta el momento, a pesar de su importancia como recurso pesquero.

Por otro lado, los copépodos forman parte importante de la dieta de paralarvas (>3.0 mm LM) y juveniles de cefalópodos (Kang *et al.*, 2002; Roberts, 2005; Uchikawa *et al.*, 2009), pero durante un corto periodo de tiempo, cuando las paralarvas recién eclosionadas coinciden en espacio y tiempo con el estadio adulto de sus presas nominales, el papel de depredador y presa puede invertirse. Diversos autores han destacado el papel de la depredación como causa de mortalidad en organismos meroplanctónicos (Purcell, 1985). Sin embargo, pocos son los que han demostrado una posible relación depredador-presa, entre, por ejemplo, el ictio-plancton y algún miembro del resto de la comunidad zooplanctónica (Alvariño, 1980; Brewer *et al.*, 1984; Palomares-García y Vera-Alejandre, 1995). En el caso de los cefalópodos, la observación directa de la depredación se dificulta por la corta duración del estadio paralarva, por su baja abundancia, relativa a la de los posibles depredadores y también a problemas metodológicos como la separación del depredador de su presa, y/o a la rápida digestión (Palomares-García y Vera-Alejandre, 1995).

De acuerdo con Paffenhöfer (1993), las familias de copépodos Oncaeidae y Oithonidae constituyen el grupo de metazoarios más numeroso en los océanos alrededor del mundo. Ambas familias tienen representantes tanto en el hemisferio norte como en el Sur, desde la región polar hasta la ecuatorial y pueden alcanzar densidades de hasta 5000 individuos/m³ (Dagg *et al.*, 1980; Paffenhöfer, 1993). Si bien su tamaño es reducido (≈ 1.0 mm), su abundancia compensa su baja biomasa relativa, llegando a niveles de biomasa equivalentes o incluso superiores a las de especies de copépodos calanoideos (Metz, 1996).

Aunque aún no se cuenta con una detallada ecología trófica de las especies del género *Oncaea* Philippi, 1843, se sabe que

éstas pueden depredar larvas de peces (Hoshiai y Tanimura, 1981; Palomares-García y Vera-Alejandre, 1995), quetognatos (Øresland, 1990), copépodos (Øresland, 1991; Øresland y Ward, 1993; Metz y Schnack-Schiel, 1995) y cnidarios (Page's y Schnack-Schiel, 1996). A pesar de la diversidad de las posibles presas registradas para el género *Oncaea*, persiste el debate sobre sus hábitos alimenticios. Ohtsuka y Kubo (1991) mencionan que frecuentemente se encuentran asociadas a las casas de apendicularias, consumiendo activamente las partículas acumuladas por estas y también se han encontrado a miembros de este género consumiendo heces fecales y nieve marina (Skjoldal y Wassmann, 1986; Lampitt *et al.*, 1993).

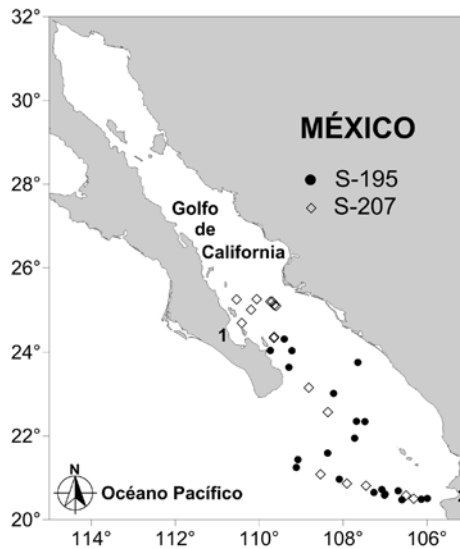
En este estudio se presenta evidencia de la depredación de copépodos del género *Oncaea* sobre paralarvas de ommastréfidios pertenecientes al complejo de especies *Sthenoteuthis oualaniensis*-*Dosidicus gigas* (complejo SD), colectadas en dos cruceros oceanográficos realizados en la boca del Golfo de California, y se discute sobre su importancia como factor de mortalidad temprana para *Dosidicus gigas*, especie que aporta el 100% de la pesquería de calamares en México.

Metodología

Se colectaron 36 muestras de zooplankton provenientes de dos cruceros oceanográficos realizados en noviembre de 2004 y noviembre de 2006 en las regiones de la entrada y zona sur del Golfo de California establecidas por Lavín y Marinone (2003) (figura 1). Los cruceros se realizaron a bordo del Velero SSV Robert C. Seamans del programa académico de actividades de educación e investigación SEA Semester (Sea Education Association) del Woods Hole Laboratory, Massachussets, Estados Unidos de América.

Figura 1

Área de estudio y estaciones de muestreo en el Golfo de California, México. Cruceros S-195 = noviembre de 2004, S-207 = noviembre de 2006. 1 = Bahía de La Paz, Baja California Sur, 2 = Bahía de Banderas, Jalisco.



Las muestras de zooplancton se obtuvieron realizando dos tipos de arrastre: oblicuo utilizando una red tipo Calcofi (1.0 m diámetro, 505 μm) siguiendo la metodología de Smith y Richardson (1979) y superficiales (red Neuston, 335 μm) por 30 minutos. También se obtuvieron datos ambientales de la columna de agua a partir de registros de lances de CTD e imágenes satelitales mensuales de temperatura superficial del satélite MODIS-AQUA, a partir de la base de datos Environmental Research Division's Data Access Program (ERDDAP, 2016).

Las muestras colectadas fueron fijadas en alcohol etílico al 96% (Avendaño *et al.*, 2009) y los volúmenes de zooplancton se determinaron según Beers (1976). La presencia de copépodos atacando a las paralarvas de ommatréfidos fue detectada únicamente en paralarvas del complejo *Sthenoteuthis oualaniensis-Dosidicus gigas* (complejo SD) a pesar de la presencia de otra especie de esta familia en las mismas muestras. Por esta razón, las paralarvas del

complejo SD fueron separadas de las muestras sin fraccionar con base a la forma típica de la paralarva *rynchoteuthion* (presencia de los tentáculos fusionados en forma de una probóscide) y al tamaño de las ventosas laterales en la misma (Sweeney *et al.*, 1992; De Silva-Dávila, 2013), utilizando un estereomicroscopio SV 11 marca Zeiss. Todas fueron medidas siguiendo los criterios de Roper y Voss (1983). Posteriormente, se extrajeron alícuotas de 20 ml a partir de la muestra total utilizando una pipeta Stempel, para evaluar la abundancia de los grupos que integraron la comunidad zooplancónica. La abundancia de las paralarvas y del zooplankton fue estandarizada a 1000 m³ de agua filtrada (Postel *et al.*, 2000).

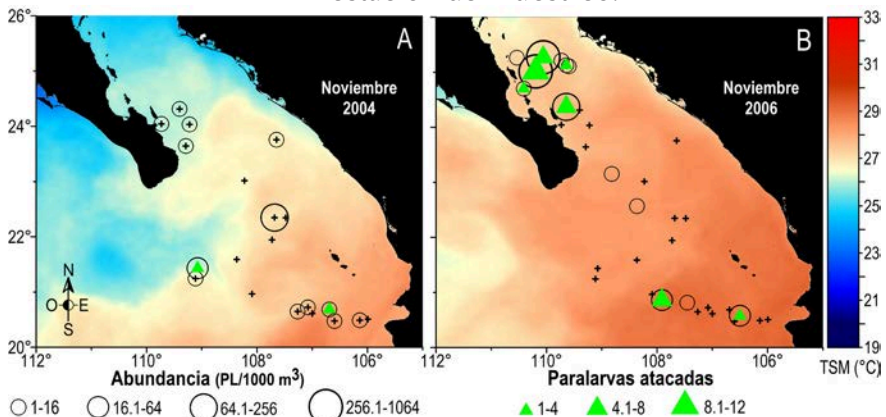
Resultados

Las imágenes satelitales de temperatura superficial de noviembre de 2004 y 2006 muestran una condición típica de los meses de transición para el Golfo de California. En 2004 se observa un gradiente latitudinal de temperatura en el área de la entrada en el Golfo de California (25-30 °C), con un fuerte forzamiento del Pacífico tropical, donde predominan las aguas superficiales cálidas de entre 25.7 °C y 28.6 °C (figura 2A).

Figura 2

Imágenes de satélite de temperatura superficial del mar (TSM) de: A = noviembre de 2004, B = noviembre de 2006.

○ = Abundancia de paralarvas, ▲ número de paralarvas atacadas, + = estación de muestreo.



En 2006 la entrada del golfo fue más cálida con temperaturas entre 27.3°C y 29.4°C. La presencia de aguas cálidas en el área de estudio en ambos años coincidió con bajas concentraciones de clorofila-*a* ($< 0.2 \text{ mg/m}^3$) características de aguas tropicales y con volúmenes de zooplancton entre 18 y 129 ml/1000 m³ (figura 2B).

Depredación sobre paralarvas

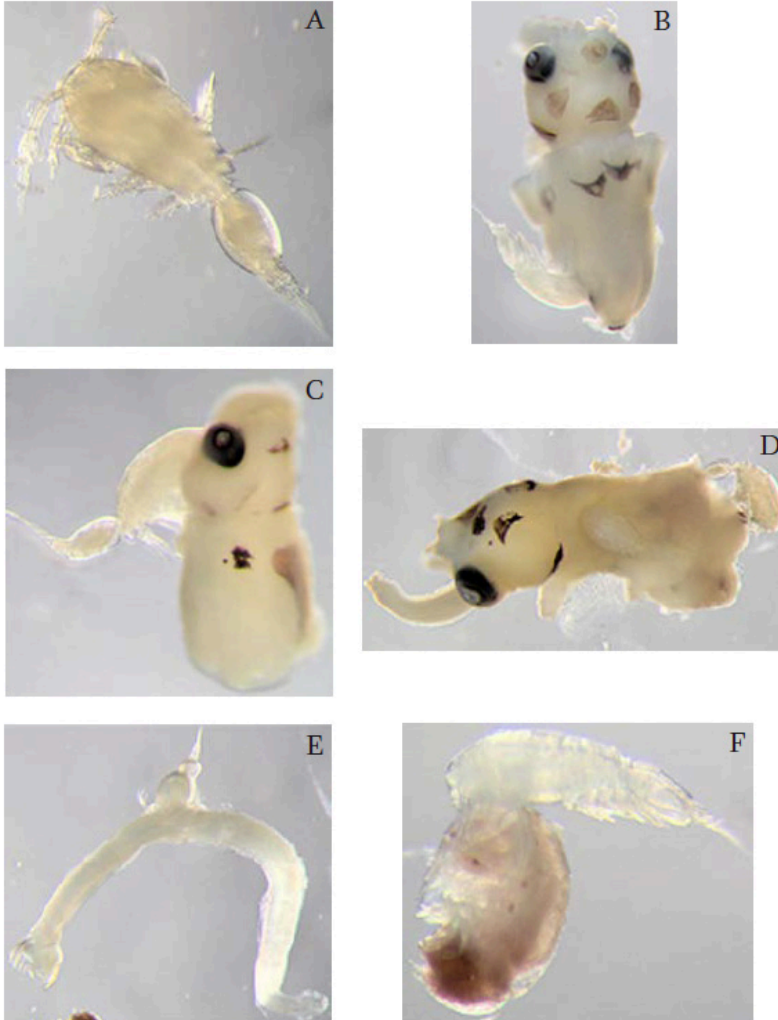
En noviembre de 2004, las paralarvas del complejo SD fueron colectadas frecuentemente, pero con abundancia muy baja (1-16 PL/1000 m³) a lo largo del área de estudio, resaltando una estación donde se colectaron de 64-256 PL/1000 m³ (figura 2A). En contraste, durante 2006 se colectaron abundancias muy altas (256.1-1,024 PL/1000 m³) frente a la Bahía de La Paz. Frente a Bahía de Bandejas se registró mayor abundancia de paralarvas que la registrada en 2004 en esta zona (figura 2B).

La depredación sobre el complejo SD se registró sólo en dos estaciones en 2004 (15% de las estaciones positivas) con 1-4 paralarvas atacadas en cada estación. Los ataques se incrementaron frente a la Bahía de La Paz en 2006 (54% de las estaciones positivas) donde se registraron hasta 8.1-12 paralarvas atacadas en una estación de muestreo.

Se identificaron dos especies de copépodos depredando sobre paralarvas del complejo SD. El copépodo depredador más abundante y frecuente en los ataques observados pertenece a la especie *Oncaea venusta* Philippi, 1843 de la familia Oncaeidae (figura 3A) que se presentó en las áreas con mayor densidad de paralarvas recién eclosionadas del complejo SD. *Corycaeus anglicus* Lubbock, 1857, también se observó depredando sobre las paralarvas, aunque con muy escasa frecuencia. En ambos casos, los copépodos perforaron la piel de las paralarvas con sus maxilípedos en forma de daga o gancho afilado, manteniéndose adheridos a ellas, aún después del arrastre con la red y la posterior fijación y manejo de las muestras y especímenes.

Figura 3

Oncaea venusta y ataques a paralarvas del complejo SD y otros organismos del zooplancton. A= adulto de *Oncaea venusta*, B, C y D= ataques al manto, la cabeza y doble ataque a paralarvas del complejo SD (flechas), E y F= ataques a quetognatos y anfípodos.



La mayor proporción de los ataques estuvo dirigida al manto y la cabeza (figuras 3B, 3C, figura 4A), y fue frecuente observar dos y hasta tres *Oncaea venusta* adheridos a una paralarva en diferentes partes del cuerpo (figura 3D). Se observaron también paralarvas atacadas en otras partes del cuerpo, pero con una frecuencia menor (figura 4A).

La aparente depredación de *Oncaea venusta* estuvo dirigida preferentemente a las paralarvas del complejo SD a pesar de la presencia *Hyaloteuthis pelágica* Bosc, 1802 (Ommastrephidae) en baja abundancia en las muestras. Este copépodo también fue observado atacando, aunque con escasa frecuencia a quetognatos como *Parasagitta euneritica* (Alvariño, 1962) e isópodos (figuras 3E, 3F).

El intervalo de las tallas de las paralarvas atacadas por *Oncaea venusta* fue de los 0.55-3.8 mm LM, aunque el 85% de las paralarvas presentó tallas al desove < 1.0 mm LM.

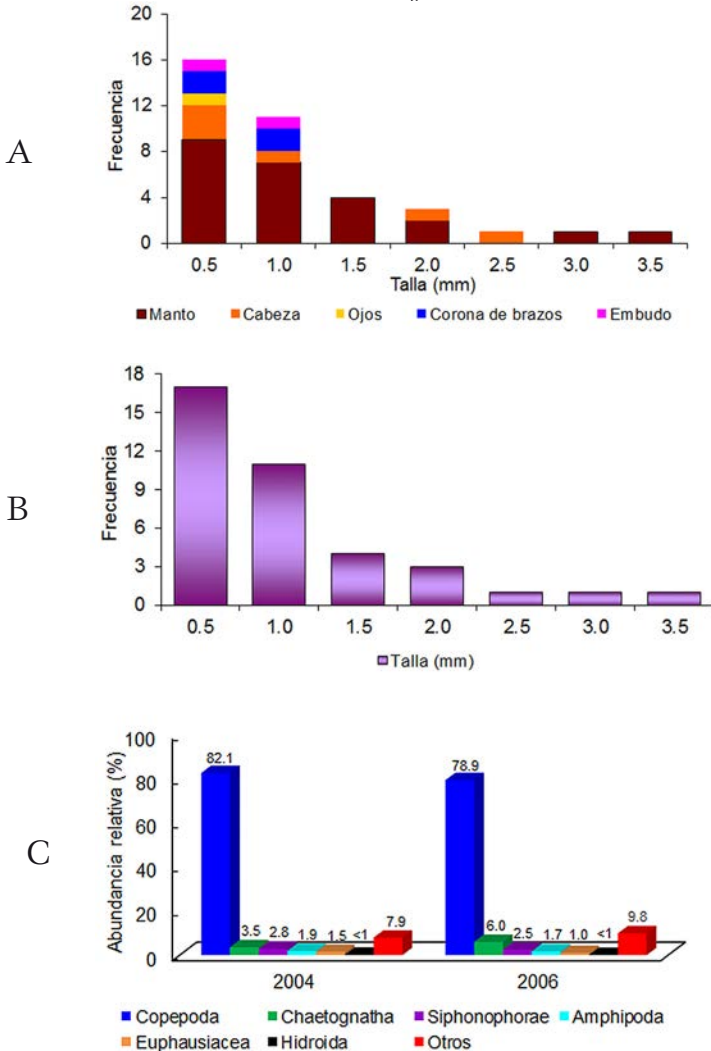
Zooplankton

En la comunidad zooplanctónica de ambos años se observó una gran variedad de posibles depredadores como: quetognatos, medusas, sifonóforos, anfípodos y eufáusidos, además de los copépodos (figura 4C). Los quetognatos (3.5-6.0%) y sifonóforos (2.5-2.8%) aportaron una mayor proporción de la abundancia total en los dos periodos de muestreo, seguidos de los eufáusidos y anfípodos con un porcentaje menor al 2%.

El análisis de la comunidad zooplanctónica en el área de estudio mostró la dominancia del grupo de los copépodos en ambos años. Este grupo, aportó el 82% (2004) y el 79% (2006) del total del zooplankton. Las especies que aportaron alrededor del 90% de la abundancia total de copépodos en el área de estudio son de hábitos omnívoros (*Rhincalanus nasutus*, Giesbrecht, 1888, *Calanopia minor*, Scott, 1902, *Eucalanus mucronatus* Giesbrecht, 1888), aunque también se observaron especies consideradas como predominantemente carnívoras como los calanoideos *Labidocera acuta* (Dana, 1849), *Euchaeta plana* Mori, 1937, *Euchaeta indica* Wolfenden, 1905, *Pontella agassizii* Giesbrecht, 1895 y *Pontellopsis perspicax* (Dana, 1849).

Figura 4

A = frecuencia de ataque de *Oncaea venusta* en diferentes partes del cuerpo de paralarvas del complejo SD, B = distribución de tallas de las paralarvas atacadas, C) abundancia relativa de grupos del zooplancton depredadores registrados durante noviembre de 2004 y 2006.



Entre los copépodos ciclopoideos también carnívoros, destacaron por su abundancia (9-20%) *Farranula gibbula* (Giesbrecht, 1891) y *Oithona plumifera* Baird, 1843. Sin embargo, *Oncaea venusta* y *Corycaeus anglicus*, que fueron observadas depredando a las paralarvas del complejo SD tuvieron abundancia < 5%, en las muestras analizadas.

Discusión

Dosidicus gigas es la especie que soporta la pesquería de cefalópodos más importante en México (Zepeda-Benítez *et al.*, 2017) y junto con *Sthenoteuthis oualaniensis* son ecológicamente importantes y de amplia distribución en el Pacífico tropical oriental (Staaf *et al.*, 2013; Jereb y Roper, 2010). *Dosidicus gigas* que es la especie más estudiada por su importancia pesquera, se caracteriza por presentar amplias fluctuaciones anuales en la distribución y abundancia de sus poblaciones adultas (Staaf *et al.*, 2010) que han sido atribuidas a diferentes causas (Friedemann *et al.*, 2008).

En el caso de sus paralarvas y además del efecto de factores físico-químicos y oceanográficos de diferente escala de tiempo y espacio que afectan su abundancia y distribución, la inanición y la depredación pueden ser factores relevantes que determinen mayores o menores tasas de mortalidad (Vecchione, 1991; Vidal y Haimovici, 1998; De Silva-Dávila *et al.*, 2015; Aceves-Medina *et al.*, 2017) afectando el reclutamiento del recurso. Sin embargo, se conoce poco de la ecología trófica de las paralarvas y casi nada de sus potenciales depredadores (Vidal y Haimovici 1989; Cardoso *et al.*, 2005; Camarillo-Coop *et al.*, 2013) que a la luz de nuestros resultados pudieran estar directamente relacionados.

En cuanto a su ecología trófica, de acuerdo con Vidal y Haimovici (1998), el periodo de transición entre la alimentación endógena y exógena, esto es, el tiempo que transcurre entre la absorción del vitelo y la primera captura activa de presas, marca un periodo crítico donde se incrementa notablemente la mortalidad (Sakurai *et al.*, 2000). La talla a la eclosión en las paralarvas del complejo SD es de las más pequeñas ($\leq 1\text{mm LM}$) entre los calamares, cuentan solo con una pequeña reserva vitelina y sus tentáculos se encuentran fusionados formando una probóscide que no es

funcional para la captura de presas hasta que esta se separa, lo que les dificulta la captura de alimento (O'Dor *et al.*, 1986; Shea, 2005). Sin embargo, el cuerpo de las paralarvas (< 4.0 mm LM) está recubierto de un *mucus* que permite el crecimiento de microorganismos, que con ayuda de la probóscide puede recolectar e ingerir. Bacterias, dinoflagelados y pequeños ciliados son el componente mayoritario registrado en el intestino y el *mucus* que envuelven a estas paralarvas (Vidal y Haimovici, 1998). La ingestión de este *mucus* es hasta donde se sabe, la fuente de energía más probable para las paralarvas recién eclosionadas hasta que se completa la separación de la probóscide y se vuelven funcionales los tentáculos. A partir de aquí, sus principales presas suelen ser los copépodos calanoides, ampliando el tamaño y diversidad de sus presas tales como anfípodos, enfáusidos, cefalópodos y peces, conforme aumentan de talla (Vidal y Haimovici, 1998; Camarillo-Coop *et al.*, 2013).

En cuanto a la depredación es difícil definir en qué medida una muestra de zooplancton podría reflejar una interacción depredador-presa natural o si las observaciones de *Oncaea venusta* y *Corycaeus anglycus* adheridas a las paralarvas del complejo SD, son una respuesta simple al confinamiento de diferentes especies en un espacio reducido, por ejemplo: la red de plancton, el copo colector o el frasco de la muestra antes de la fijación.

Según Brewer *et al.* (1984) el ataque selectivo es una buena evidencia de que la interacción depredador-presa ocurrió en el medio natural antes de la captura. En las muestras colectadas tanto durante 2004 como en 2006 se observó un nivel alto de selectividad de *Oncaea venusta* evidenciada por: la observación de uno, dos, y hasta tres copépodos adheridos con los maxilípedos a una sola paralarva; por la marcada preferencia por paralarvas del complejo SD y no de otros ommastreídeos; por el ataque a paralarvas recién eclosionadas de tallas < 1.0 mm LM (85% del total de larvas atacadas) en comparación con larvas de talla mayor y aunque el sitio del ataque fue variable, las regiones dorsal, lateral y ventral del manto mantuvieron frecuencias semejantes.

Por otra parte, de acuerdo con Vidal y Haimovici (1998) la presencia del mucus que rodea a las paralarvas recién eclosionadas además de constituir su principal fuente de energía, también

podría ser un elemento que atrae el ataque de este tipo de copépodos. Se ha registrado que diferentes especies del género *Oncaea*, consumen activamente las partículas acumuladas en la superficie de organismos del macrozooplancton gelatinoso como quetognatos, salpas y en las casas de las apendicularias (Ohtsuka y Kubo, 1991; Go *et al.*, 1998). También, que consumen heces fecales y nieve marina (Skjoldal y Wassmann, 1986; Lampitt *et al.*, 1993) donde los ciliados y bacterias se acumulan en grandes cantidades, al igual que en el *mucus* de las paralarvas. Esto implicaría que las paralarvas de ommastréfidos recién eclosionadas son más vulnerables a la depredación que las de tallas mayores por su escasa movilidad y su tipo de alimentación temprana, que incluye la acumulación de *mucus* en la región cefálica y en el manto, donde se localizó la mayor proporción de copépodos adheridos. Adicionalmente, se reconoce que otras especies de *Oncaea* se fijan a la presa con los maxilípedos en forma de daga y se alimentan de los microorganismos y de la materia particulada de la superficie del cuerpo, o perforan la epidermis y se alimentan de los líquidos corporales de las presas, por lo que estas especies de copépodos han sido consideradas semi-parásitas (Wickstead, 1962).

Si el copépodo depredador se alimenta de las partículas adheridas a la superficie o si succiona los fluidos de la paralarva, los daños causados pueden ser importantes. El peso adicional del copépodo depredador sobre una paralarva recién eclosionada (ambos casi de la misma talla) puede limitar el escaso movimiento de la paralarva en la columna de agua, determinando una velocidad de hundimiento mayor que probablemente afectarían su distribución vertical y la convertirían en una presa más accesible para otros depredadores. Por otro lado, la pérdida de la integridad de la piel de la paralarva por la perforación con los maxilípedos del depredador, la hacen vulnerable al ataque de virus y bacterias y en consecuencia a enfermedades que podrían incrementar considerablemente sus probabilidades de morir, como se ha observado en larvas de sardinas (Palomares-García y Vera-Alejandre, 1995).

A pesar de la baja abundancia de *Oncaea venusta* y *Corycaeus anglicus* en las muestras de zooplancton analizadas, su efecto depredador fue importante. Si consideramos el efecto potencial de

depredación de *Oncaea venusta* en densidades máximas de hasta 5000 individuos/m³ (Dagg *et al.*, 1980; Paffenhöfer, 1993) sobre paralarvas recién eclosionadas del complejo SD, este contribuiría con una alta proporción a la mortalidad temprana por depredación. Este efecto podría ser particularmente importante en el Golfo de California donde se han registrado masas de huevos de *Dosidicus gigas* y en las áreas con elevadas abundancias de paralarvas recién eclosionadas registradas en el Pacífico tropical mexicano (Staaf *et al.*, 2008, 2013; De Silva-Dávila, 2013; Birk *et al.*, 2016).

Conclusión

Los resultados presentados muestran evidencia de depredación natural del copépodo *Oncaea venusta* sobre paralarvas del complejo SD. Los adultos de *Oncaea venusta* que mostraron una marcada preferencia por atacar paralarvas del complejo SD principalmente de tallas cercanas a la eclosión (<1.0 mm LM), sobre el manto y la cabeza, pueden considerarse una fuente importante de mortalidad temprana para las paralarvas de ommastreídeos y en particular para las del calamar jumbo del Pacífico *Dosidicus gigas* tanto en el Golfo de California, como a lo largo de su área de distribución en el Pacífico tropical mexicano.

Literatura citada

- Aceves-Medina, G., De Silva-Dávila, R., Cruz-Estudillo, I., Durazo, R. & Avendaño-Ibarra, R. (2017). Influence of the oceanographic dynamic in size distribution of cephalopod paralarvae in the southern Mexican Pacific Ocean (rainy seasons 2007 and 2008). *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45(2), 356-369. doi.10.3856/vol45-issue2-fulltext-11.
- Alvariño, A. (1980). The relationship between the distribution of zooplankton predators and anchovy larvae. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*, 21, 150-160.
- Avendaño-Ibarra, R., De Silva-Dávila, R., Aceves-Medina, G., Urías-Leyva, H & Vázquez-López, G. (2009). *Distributional atlas of fish larvae of the southern region of the Gulf of California (February-March 2005)*. Océánides. Atlas CICIMAR No. 16. La Paz, B.C.S., México: CICIMAR-IPN.
- Beers, J. R. (1976). Determination of zooplankton biomass, En: Steedman, H. F. ed. *Zooplankton Fixation and Preservation. Monographs on Oceanographic Methodology*. pp. 35-38. The UNESCO Press.
- Birk, M. A., Paight, C. & Seibel, B. A. (2016). Observations of multiple pelagic egg masses from small-sized jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the Gulf of California. *Journal of natural History*, 1-16. doi.10.1080/00222933.2016.1209248

- Brewer, G. D., Kleppel, & M. Dempsey. (1984). Apparent predation on ichtioplankton by zooplankton and fishes in nearshore waters of Southern California. *Marine Biology*, 80, 17-28. doi.10.1007/BF00393122.
- Camarillo-Coop, S., Salinas-Zavala, C., Lavaniegos, B. & Markaida, U. (2013). Food in early life stages of *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) from the Gulf of California, Mexico. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1-8. doi.10.1017/S0025315413000398.
- Cardoso, F., Baltazar, P. & Bautista J. (2005). The early development of the Patagonian squid *Loligo gahi* D'Orbigny (1835) in Peruvian Waters (Cephalopoda: Loliginidae) *Revista Peruana de Biología*, 12(3), 369-376.
- Dagg, M., Cowles, T., Whitledge, T., Smith, S., Howe, S. & Judkins, D. (1980). Grazing and excretion by zooplankton in the Peru upwelling system during April 1977. *Deep-Sea Research*, 27, 43-59. doi.10.1016/0198-0149(80)90071-0.
- De Silva-Dávila, R. (2013). Paralarvas de cefalópodos en el Golfo de California, México. (Tesis Doctoral). Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur, México.
- De Silva-Dávila, R., Franco-Gordo, C., Hochberg, F. G., Godínez-Domínguez, E., Avendaño-Ibarra, R., Gómez-Gutiérrez, J. & Robinson, C. J. (2015). Cephalopod paralarval assemblages in the Gulf of California during 2004-2007. *Marine Ecology Progress Series*, 520, 123-141. doi.10.3354/meps11074.
- ERDDAP. (2016). Environmental Research Division's Data Access Program. Retrieved from <http://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/index.html>.
- Friedemann, K., Argüelles, J., Mariátegui, L., Tafur, R., Wolff, M. & Yamashiro, C. (2008). A hypothesis on range expansion and spatio-temporal shifts in size at maturity of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the Eastern Tropical Pacific Ocean. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report*, 49, 119-128.
- Hoshiai, T. & Tanimura A. (1981). Copepods in the stomach of a Nototheniid fish, *Trematomus borchgrevinki* fry at Syowa Station, Antarctica National Institute Polar Research Series. *Experimental Biology and Medicine Science*, 34, 44-48.
- Jereb, P. & Roper, C. F. E. (2010). Cephalopods of the world. *An annotated and illustrated catalogue of species known to date*. Volume 2. Myopsid and oegopsid squids. Rome: FAO.
- Kang, Y. S., Kim, J. Y., Kim, H. G. & Park, J. H. (2002). Long-term changes in zooplankton and its relationship with squid *Todarodes pacificus*, catch in Japan/East Sea. *Fisheries Oceanography*, 11, 337-346. doi.10.1046/j.1365-2419.2002.00211.x.
- Lavín, M. F. & Marinone, S. G. (2003). An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. En: Velasco Fuentes, O.; Sheinbaum, J. & Ochoa, J. eds. *Nonlinear processes in geophysical fluid dynamics a tribute to the scientific work of Pedro Ripa*. pp. 173-204. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. doi.10.1007/978-94-010-0074-1_11.
- Lampitt R. S., Weshner, K. F., Turley C. M. & Angel M. V. (1993). Marine snow studies in the Northeast Atlantic Ocean: distribution, composition and role as a food source for migrating plankton, *Mar Rio*, 116, 689-702.

- Nigmatullin, C. M., Nesis, K. N. & Arkhipkin, A. I. (2001). A review of the biology of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae). *Fishery Research*, 54, 9-19. doi.10.1016/S0165-7836(01)00371-X.
- O'Dor, R. K., Foy, E. A., Helm, P. L. & Balch, N. (1986). The locomotion and energetics of hatchling squid, *Ilex illecebrosus*. *American Malacology Bulletin*, 4, 55-60.
- Ohtsuka, S. & Kubo, N. (1991). Larvaceans and their houses as important food for some pelagic copepods. *Bulletin of the Plankton Society of Japan*, 535-551.
- Okutani, T. & Watanabe, T. (1983). Stock assessment by larval surveys of the winter population of *Todarodes pacificus* Steenstrup (Cephalopoda: Ommastrephidae), with a review of early works. *Biology and Oceanography*, 2(2), 3-4.
- Øresland, V. (1990). Feeding and predation impact of the chaetognath *Eukronia hamata* in Gerlache Strait Antarctic Peninsula. *Marine Ecology Progress Series*, 63, 201-209. doi.10.3354/meps063201.
- Øresland, V. (1991). Feeding of the carnivorous copepod *Euchaeta antartica* in Antarctic coastal and oceanic waters. *Marine Ecology Progress Series*, 78, 41-47. doi.10.3354/meps078041.
- Øresland, V. & Ward, P. (1993). Summer and winter diet of four carnivorous copepod species around South Georgia. *Marine Ecology Progress Series*, 98, 73-78. doi.10.3354/meps098073.
- Paffenhöfer, G. A. (1993). On the ecology of marine cyclopoid copepods (Crustacea, Copepoda). *Journal of Plankton Research*, 15, 37-55. doi.10.1093/plankt/15.1.37.
- Palomares-García, R. J. & Vera-Alejandre, R. (1995). Predation upon larvae of the Pacific sardine *Sardinops sagax* by cyclopoid copepods. *Journal of Crustacean Biology*, 15, 196-201. doi.10.1016/S0924-7963(96)00047-4.
- Page's, F. & Schnack-Schiel, S. (1996). Distribution patterns of the mesozooplankton, principally siphonophores and medusae, in the vicinity of the Antarctic Slope Front (eastern Weddell Sea). *Journal of Marine Systematics*, 9, 231-248. doi.10.1016/S0924-7963(96)00047-4.
- Postel, L., Fock, H. & Hagen, W. (2000). Biomass and abundance. En: Harris, R. P., Wiebe, P. H., Lenz, J., Skjoldal, H. R. & Huntley, M. eds. *Zooplankton Methodology Manual*. pp. 83-92. Academic Press. doi.10.1016/B978-012327645-2/50005-0.
- Purcell, J. E. (1981). Dietary composition and diel feeding patterns of epipelagic siphonophores. *Marine Biology*, 65, 83-90. doi.10.1007/BF00397071.
- Roberts, M. J. (2005). Chokka squid (*Loligo vulgaris reynaudii*) abundance linked to changes in South Africa's Agulhas Bank ecosystem during spawning and the early life cycle. ICES, *Journal of Marine Science*, 62, 33-55. doi.10.1016/j.icesjms.2004.10.002.
- Roper, C. F. E. & Voss, G. L. (1983). Guidelines for taxonomic descriptions of cephalopod species. *Memories of the National Museum of Victoria*, 44, 49-63.
- Sakurai Y., Kiyofuji H., Saito S., Goto T. & Hiyama Y. (2000). Changes in inferred spawning areas of *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae)

- due to changing environmental conditions. *ICES Journal of Marine Science* 57, 24-30. doi.10.1006/jmsc.2000.0667.
- Shea, E. (2005). Ontogeny of the fused tentacles in three species of ommastrephid squids (Cephalopoda, Ommastrephidae). *Invertebrate Biology*, 124, 25-38. doi.10.1111/j.1744-7410.2005.1241-04.x.
- Skjoldal, H. R. & Wassmann, P. (1986). Sedimentation of particulate matter and silicium during spring and summer in Lindaspollene, western Norway. *Marine Ecology Progress Series*, 30, 49-63. doi.10.3354/meps030049.
- Smith, P. E. & Richardson, S. (1979). *Técnicas modelo para la prospección de huevos y larvas de peces pelágicos*. FAO Documentos Técnicos de Pesca 175: 107 pp.
- Staaf, D. J., Camarillo-Coop, S., Haddock, S. H. D., Nyack, A. C., Payne, J., Salinas-Zavala, C. A., Seibel, B. A., Trueblood, L., Widmer, C. & Gilly, W. F. (2008). Natural egg mass deposition by the Humboldt squid (*Dosidicus gigas*) in the Gulf of California and characteristics of hatchlings and paralarvae. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 88, 759-770. doi.10.1017/S0025315408001422.
- Staaf, D. J., Ruiz-Cooley, R. I., Elliger, C., Lebaric, Z., Campos, B., Markaida, U. & Gilly, W. F. (2010). Ommastrephid squids *Sthenoteuthis oualaniensis* and *Dosidicus gigas* in the eastern Pacific show convergent biogeographic breaks but contrasting population structures. *Marine Ecology Progress Series*, 418, 165-178. doi.10.3354/meps08829.
- Staaf, D. J., Redfern, J. V., Gilly, W. F., Watson, W. & Balance, L. T. (2013). Distribution of Ommastrephidae paralarvae in the eastern tropical Pacific. *Fishery Bulletin*, 111, 78-89. doi.10.7755/FB.111.1.7.
- Sweeney, M. J., Roper, C. F. E., Mangold, K. M., Clarke, M. R. & Boletzky, S. V. (1992). *"Larval" and juvenile cephalopods: A manual for their identification*. Smithsonian Contributions in Zoology. Washington. Smithsonian Institution Press. doi.10.5479/si.00810282.513.
- Uchikawa, K., Sakai, M. & Wakabayashi, T. (2009). The relationship between paralarval feeding and morphological changes in the proboscis and beaks of the neon flying squid *Ommastrephes bartramii*. *Fisheries Science*, 75, 317-323. doi.10.1007/s12562-008-0036-2.
- Vidal E. A. G. & Haimovici, M. (1998). Feeding and the possible role of the proboscis and mucus cover in the ingestion of the microorganisms by rhynchoteuthion paralarvae (Cephalopoda: Ommastrephidae). *Bulletin of Marine Science*, 63, 305-316.
- Vecchione, M. (1987). Juvenile ecology. En Boyle, P. R. ed. *Cephalopod life cycles, Volume II. Comparative reviews*. pp. 61-84. London: Academic Press.
- Vecchione, M. (1991). A method for examining the structure and contents of the digestive tract in paralarvae squids, *Bulletin of Marine Science*, 49, 300-308.
- Wickstead, J. H. (1962). Food and feeding in pelagic copepods. *Proceedings of Zoological Society of London*, 139, 545-555.
- GO, Y.-B., OH, B.-C. & Terazaki, M. (1998). Feeding behavior of the poecilostomatoid copepods *Oncaea* spp. on chaetognaths. *Journal of Marine Systems*, 15(1-4), 475-482.

Zepeda-Benítez, V. Y., Morales-Bojórquez, E., Díaz-Uribe, J. G., Nevárez-Martínez, M. O., Hernández-Herrera, A. & López-Martínez, J. (2017). Implementation of catch-at-age model for the jumbo squid *Dosidicus gigas*. *Ecological Modelling*, 344, 6-16. doi.10.1016/j.ecolmodel.2016.10.019.

Efecto de condiciones ambientales
en la producción de exopolímero
en cultivos de diatomea *Navicula
yarrensis* y su efecto antibacterial

*Effect of environmental conditions on exopolymer
production from cultures of the diatom Navicula
yarrensis and its antibacterial effect*

Ricardo Alfonso Méndez-Sepúlveda¹

Sonia Isabel Quijano-Scheggia¹

Aramis Olivos-Ortiz¹

Juan Gaviño-Rodríguez¹

¹ Centro Universitario de Investigaciones Oceanológicas. Universidad de Colima. Carretera Manzanillo-Barra de Navidad km 19.5. Col. El Naranjo. CP 28860. Manzanillo, Colima. rmendez@ucol.mx.

Resumen

Algunas diatomeas bentónicas tienen la facultad de producir exopolímeros, usualmente asociado al movimiento y a la adhesión al sustrato, estos exopolímeros presentan actualmente algunas aplicaciones biotecnológicas. En el presente trabajo se estudió la producción de exopolímeros en cultivos de la diatomea *Navicula yarrensii* en condiciones estándar de laboratorio; medio L1 enriquecido con silicatos, salinidad de 30 con ciclos de 12:12 horas luz-oscuridad. Además, bajo diferentes parámetros como agitación, limitación de N, P, salinidad de 33 y salinidad de 26. El análisis se realizó comparando la abundancia celular contra el peso seco de los cultivos, asimismo se realizaron bioensayos de inhibición bacteriana con diferentes extractos de cultivo de la especie utilizando los solventes agua, metanol, cloroformo y hexano, utilizando las bacterias *Vibrio vulnificus* y *Staphylococcus aureus*. Se concluye que la agitación inhibe la producción del exopolímero, la limitación de nutrientes afecta la consistencia del mismo, la salinidad de 33 promueve la producción del polímero probablemente debido al estrés osmótico, y la salinidad de 26 presentó una abundancia celular similar al control. Los extractos del cultivo muestran cierto nivel de inhibición en las fracciones de cloroformo y hexano sobre las bacterias mencionadas.

Palabras clave

Diatomea, exopolímero, antibiótico, cultivos, limitación de nutrientes.

Abstract

Some benthic diatoms have the ability to produce exopolymers that are usually associated with movement and adhesion to the substrate. These exopolymers currently have some biotechnological applications. In the present work the production of exopolymers in diatom cultures of *Navicula yarrensii* under standard laboratory conditions was studied; L1 medium enriched with silicates, salinity of 30 with cycles of 12:12 light-dark hours. In addition, under different parameters such as agitation, nitrate limitation, phosphates, salinity of 33 and salinity of 26. The analysis was carried out by comparing the cellular abundance against the dry weight of the cultures. Bioassays of bacterial inhibition of a specie with different culture extracts were also carried out using as solvents; water, methanol, chloroform and hexane, and using the bacteria *Vibrio vulnificus* and *Staphylococcus aureus*. In conclusion, the agitation inhibits the production of the exopolymer, the nutrient limitation affects its consistency, the salinity at 33 promotes the production of the polymer probably due to osmotic stress, and the salinity at 26 showed a cellular abundance similar to the

control. The culture extracts show some level of inhibition in the chloroform and hexane fractions on the mentioned bacteria.

Keywords

Diatom, exopolymer, antibiotic, culture, nutrient limitation.

Introducción

Los exopolímeros o sustancias poliméricas extracelulares (EPS por sus siglas en inglés) son producidas por bacterias y algunas microalgas, son un constituyente importante de las biopelículas (agregados de microorganismos como bacterias, diatomeas, protozoarios y hongos), donde las diatomeas son los organismos más abundantes (Patil y Anil, 2005).

Las biopelículas y el EPS tienen una relevante implicación en los ecosistemas, por ejemplo, en la metamorfosis larval de algunos invertebrados que es disparada por estos compuestos (Hoagland *et al.*, 1993).

El EPS se compone principalmente de polisacáridos y en menor cantidad proteoglicanos, ácidos urónicos y azúcares sulfatados (Underwood y Paterson, 2003).

En las diatomeas estos compuestos participan en la movilidad, adhesión, formación de colonias, protección a la pared de sílice frente a la disolución, protección física durante la conjugación y anti desecación, para la reducción del estrés osmótico y en la captación de nutrientes (Hoagland *et al.*, 1993).

El EPS producido por diatomeas y otros organismos ha sido investigado para su uso en varias aplicaciones biotecnológicas como agente antitumoral, anticoagulante, como apósitos para ojos y para cirugía de articulaciones (Jain, *et al.*, 2005; Krishnika *et al.*, 2011).

Las investigaciones de los EPS en la actualidad está en aumento, una de las causas es el aumento de la resistencia bacteriana a los antibióticos, que representa un problema grave a nivel mundial, puesto que la tasa de mutaciones que les confiere resistencia a las bacterias es mayor que la tasa de descubrimiento de nuevos fármacos (Nathan, 2004; Spellberg *et al.*, 2004).

La fuente primaria de estos fármacos han sido las plantas terrestres, sin embargo, la diversidad de organismos en el medio

marino es basta, representan una potencial fuente de nuevos fármacos que, en los últimos años ha empezado a ser investigada. Entre ellos numerosas especies de microalgas representan un recurso no explotado con alto potencial, bio y farmacológico, entre otras cosas, debido a su capacidad productora de metabolitos de interés y la relativa facilidad para producir significativas cantidades de biomasa (Gómez-Luna, 2007).

Las diatomeas, uno de los grupos más comunes del fitoplancton han sido investigadas por ser una fuente potencial de compuestos antibacteriales, en especial en la acuicultura, donde el uso indiscriminado de antibióticos ha llevado al incremento de patógenos resistentes, y es en este medio donde la interacción entre microorganismos y diatomeas-bacterias, juega un papel importante que podría ayudar al descubrimiento de nuevos metabolitos bioactivos (Navine *et al.*, 1999; Sánchez-Saavedra *et al.*, 2010).

Para estudiar el potencial del fitoplancton en la producción de EPS con aplicaciones farmacológicas, el control de los parámetros fisicoquímicos juega un papel importante que determinan el crecimiento de las microalgas, y que pueden influir en la adaptabilidad a variaciones del medio, sea natural o artificial, modificando su composición fisiológica, su tasa de crecimiento, volumen celular y composición bioquímica (Brown *et al.*, 1989).

Por tanto, para lograr una producción masiva de EPS es necesario conocer los parámetros que generan un cambio en la tasa de producción de biomasa sin afectar la salud de la población.

En este trabajo se determinaron en cultivos de la diatomea *Navicula yarrensensis* bajo condiciones controladas el efecto de la agitación, limitación P limitación de N y de dos salinidades sobre el crecimiento y secreción de su exopolímero, además de evaluar su posible efecto bactericida sobre *Vibrio vulnificus* y *Staphylococcus aureus*.

Metodología

Trabajo de campo, aislamiento de la muestra

Entre los meses de agosto y octubre de 2013, se tomaron muestras de un litro de agua cerca del fondo en frascos de polipropileno transparentes para asegurar células vivas del bentos en la lagu-

na de Juluapan, Colima. Se mantuvieron en obscuridad y a 4 °C hasta su traslado al laboratorio. Las muestras fueron observadas en una caja Petri con un microscopio invertido (moticaE31). Al identificar la especie *N. yarrensensis* fue seleccionada con una micropipeta Pasteur siendo pasada por 3 gotas a medio L1 enriquecido con SiO₂. Posteriormente se trasladó a una caja de cultivo multipozos y se escaló a volúmenes mayores, estableciendo monocultivos no axénicos. Las condiciones de laboratorio para los cultivos fueron de 21 ± 1 °C, 30 ups y 12:12h luz-oscuridad e intensidad lumínica de 700 ± 300 lux. Se realizaron observaciones semanales de los cultivos para determinar ópticamente sus buenas condiciones y libres de contaminación (Guillard y Hargraves, 1993).

Cuantificación de células y exopolímero

Se establecieron cultivos de 330 ml en matraces Erlenmeyer de 500 ml en condiciones estándar para cada experimento: 4 réplicas para el control, 4 con agitación manual durante un minuto repitiéndolo cada hora por seis horas al día, 4 con agua marina envejecida y medio L1 con deficiencia de N y 4 con agua marina envejecida con deficiencia de nitratos, 3 réplicas para cultivos con salinidad de 33 y 3 más con salinidad de 22.

Los cultivos se mantuvieron por tres semanas, posteriormente cada cultivo fue centrifugado en tubos falcón de 50 ml a 3000 rpm, el sobrenadante se retiró y el pellet fue concentrado en tubos Eppendorf de 1.5 ml previamente pesado, estos fueron centrifugados a 15000 rpm a 4 °C (MAX RCT) y se les retiró el sobrenadante. Para calcular la abundancia celular, el pellet fue resuspendido en 1 ml agua destilada homogenizado con vortex (Scientific industries, Inc.) y posteriormente se homogenizó con una jeringa varias veces para asegurar que la muestra fuera uniforme, se procedió a contar el contenido de 0.1 µl del pellet diluido en 399.9 µl de una solución de agua destilada con lugol. Para cada pellet se realizaron cuatro lecturas para una mayor representatividad, los organismos en cada muestra fueron contabilizados por observación con microscopio invertido (MOTIC AE31).

Se volvieron a centrifugar los tubos Eppendorf y se procedió con la liofilización. Al finalizar se determinaron los pesos se-

cos usando una balanza analítica (PRECISA XT220A) de cada uno de los cultivos.

Elaboración de extractos

Se elaboraron extractos utilizando un pellet de *N. yarrensii* con peso húmedo de 0.3205 g del cual se extrajeron las fracciones con solventes de diferente polaridad (agua, metanol, hexano, cloroformo). El pellet fue liofilizado (Liofilizador FREEZON), el contenido seco se re-suspendió en 1.7 ml de agua destilada esterilizada y se vertió en un tubo de tapa de rosca de 2 ml con perlas de sílice, se agitó con mini beat-beater (Biospec Products), luego fue centrifugado a 10000 rpm a 4 °C por 10 min, se retiró el sobrenadante acuoso con una micropipeta y se vertió en un nuevo tubo Eppendorf, se repitió la operación con cada una de las fracciones en el siguiente orden: fracción acuosa, fracción metanol, fracción cloroformo y por último fracción hexano, cada una de las fracciones se dejaron evaporar por 24 horas a temperatura ambiente.

El producto seco se mantuvo refrigerado hasta el momento de realizar el experimento, para esto se agregó 1 ml de agua destilada esterilizada a cada fracción y se agitó con Vortex para re-suspender.

Inhibición del crecimiento evaluando en halo en discos

Se realizó una réplica del experimento para cada bacteria, se incubaron seis discos (obtenidos a partir de papel filtro estéril) en cada extracto (acuoso, metanol, cloroformo, hexano) y se dejaron reposar durante una hora.

Staphylococcus aureus

Se utilizaron cajas Petri con medio de cultivo agar Cerebro Corazón (BD Bioxon). Las cajas se marcaron en la tapa con plumón, 4 secciones, una por cada extracto. Se sembró la bacteria utilizando un asa y se añadieron 3 discos del mismo extracto en cada sección para cada extracto, el experimento se realizó dos veces.

Vibrio vulnificus

Mismo procedimiento, utilizando el medio de cultivo agar soya tripticaseína, (BD Bioxon).

Análisis estadístico

Abundancia celular

Para comprobar si los grupos de datos mostraron diferencias significativas se utilizó la prueba t-student de dos colas para varianzas iguales.

Peso seco

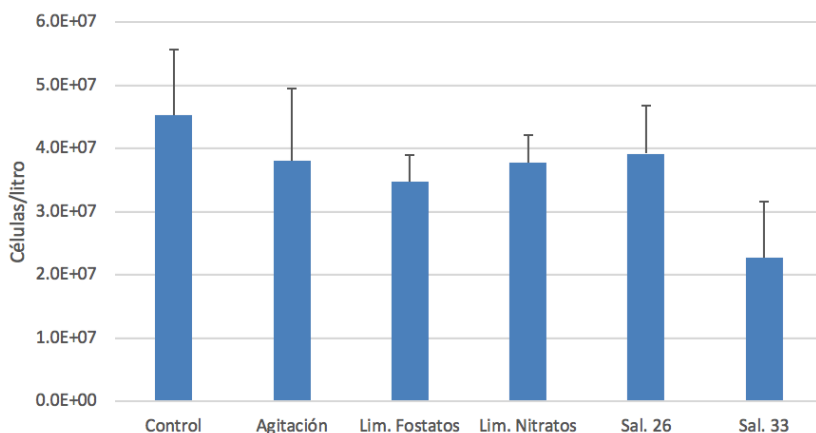
Se calculó la varianza de las réplicas y se aplicó la prueba t-student de dos colas de igual forma que para la abundancia celular.

Resultados

Abundancia celular

En la figura 1 se observa la abundancia calculada para un litro de cultivo de cada experimento. El promedio de la abundancia mayor correspondió al control, la menor abundancia se presentó en los cultivos con salinidad de 33.

Figura 1
Abundancia cél/l.



La prueba t-student comprobó que los cultivos sometidos a salinidad de 33 fueron significativamente diferentes al control y a los cultivos con limitación de nutrientes. Sin embargo, no existen diferencias estadísticamente significativas entre el resto de los experimentos (tabla 1).

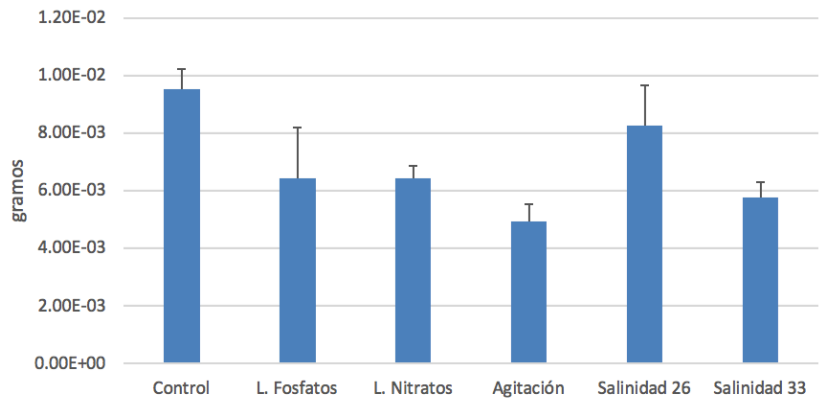
Tabla 1
Valores de prueba t-student para abundancia

	Control	Lim. P	Lim. N	Agitación	Sal. 26	Sal. 33
L. P	0.10		0.34	0.59	0.45	0.04
L. N	0.23	0.34		0.96	0.80	0.02
Agitación	0.38	0.59	0.96		0.89	0.89
Sal. 26	0.48	0.45	0.80	0.89		0.08
Sal. 33	0.04	0.04	0.02	0.89	0.08	

Peso seco

El peso fue significativamente mayor en los cultivos control que en los cultivos con limitación de P, N, agitación y salinidad de 33, no así para los cultivos con salinidad de 26. Los cultivos sometidos a agitación presentaron los menores pesos del producto liofilizado como se observa en la figura 2.

Figura 2
Peso seco



En la tabla 2 se muestran los valores de la prueba t-student donde se muestra que los cultivos control tienen mayor peso seco que el resto con una diferencia estadísticamente relevante a excepción de los cultivos con salinidad de 26 frente al cual no mostró diferencias significativas.

Tabla 2
Valores de prueba t-student, para el peso seco, en rojo valores inferiores al 0.05 de significancia

	Control	Lim. P	Lim. N	Agitación	Sal. 26	Sal. 33
Lim. P	0.01		1.00	0.15	0.19	0.56
Lim. N	0.00	1.00		0.00	0.05	0.14
Agitación	0.00	0.15	0.00		0.00	0.12
Sal. De 26	0.17	0.19	0.05	0.00		0.04
Sal. De 33	0.00	0.56	0.14	0.12	0.04	

El exopolímero visible en los cultivos constituyó una película que recubría el interior de los matraces con excepción de los cultivos con agitación que presentaban cúmulos en el fondo del matraz y los cultivos con limitación de nutrientes donde el exopolímero presentó menor adhesividad, o coerción.

Actividad antibacteriana - Inhibición por halo de discos

La inhibición del crecimiento bacteriano se midió en mm. No se observó inhibición en la fracción acuosa en ambas bacterias, las fracciones extraídas con cloroformo y metanol presentaron los mejores resultados para ambas bacterias con halos de diámetro entre 0.8 y 1.4 mm.

Discusión

Producción de EPS

Las microalgas presentan un rango de tolerancia alto a la concentración de sales lo cual no implica que crezcan bien en las diferentes salinidades porque el crecimiento óptimo depende de la adaptación de las especies (Kirst, 1990).

De acuerdo a Navarro (1983) la distribución de la diatomea *N. yarrensii* comprende el medio marino y aguas salobres, los resultados obtenidos sugieren que la *N. yarrensii* presenta una adaptación mayor a aguas costeras salobres menores a 33. En este trabajo se observó que a salinidad de 33 el crecimiento fue significati-

vamente menor que a salinidades inferiores, esto podría ser debido al estrés osmótico.

De acuerdo a Kirst (1990) los cambios de salinidad afectan a los organismos en tres formas: a) estrés osmótico con impacto directo sobre el potencial del agua celular. b) estrés iónico causado por la entrada o pérdida de iones. c) cambio en la tasa iónica celular debido a la permeabilidad iónica selectiva de la membrana.

Lo anterior deriva en un desvío de las actividades metabólicas, que dependen de la hidratación del protoplasma, además algunos estudios sugieren que la membrana plasmática es el primer sitio afectado por la salinidad (Mansour y Salama, 2004).

Otros trabajos como los de Renaud y Parry (1994) sugieren de la misma forma que diferentes microalgas pueden tener diferentes niveles de adaptación a la salinidad del medio afectando con ello su crecimiento.

El peso seco fue significativamente mayor en los cultivos control a salinidad de 30 que en el resto de experimentos, con excepción de los cultivos con salinidad de 26 con pesos liofilizados similares al control. Esto posiblemente es debido a que la diatomea *N. yarrensensis* se encuentra mayormente adaptada a aguas salobres, sin embargo la producción de exopolímero por célula de acuerdo a los pesos y abundancias obtenidos fue mayor para los cultivos con salinidad de 33, el conteo de células en esté fue el menor pero el peso seco fue similar al control, este hecho podría revelar una relación entre el estrés osmótico y la producción de EPS como lo mencionan Hoagland *et al.* (1993) quienes afirman que el exopolímero actúa como reductor del estrés osmótico.

Chavez Medrano (2008) sometió cultivos de *Navicula incerta* a limitación de nutrientes concluyendo que no es un factor que afecte la abundancia celular máxima, si no la rapidez de crecimiento y la composición bioquímica que altera productos derivados como el EPS en concordancia con esto la abundancia celular de los cultivos con limitación de nutrientes, P y N, no presentaron diferencias significativas con el control.

Según Cooksey (1972) es posible que los componentes de N necesarios sean derivados de las mismas células. Sin embargo, esto puede variar según la especie, las diatomeas presentan una amplia

diversidad nutrimental pudiendo ser heterotróficas, mixotróficas y autotróficas (obligado). En los resultados obtenidos en el presente trabajo con *N. yarrensii* el peso seco de los cultivos con limitación de nutrientes tanto de P como N fue significativamente menor al control, se concluye que la limitación de ambos nutrientes por separado indujo una reducción en la producción de EPS medido indirectamente comparando el peso seco con la abundancia celular. Sin embargo existen diversos estudios sobre limitación de P y N que explican la relación que existe entre estos, (Bracken *et al.*, 2015).

Entre ellos se encuentra el realizado por (Myklestad, 1977) en el que se comprobó que a altas concentraciones de N/P la diatomea *C. affinis* produce altas cantidades de EPS y bajo extremas deficiencias de P la producción de EPS constituye la principal actividad metabólica.

Los cultivos sometidos a agitación no presentaron abundancias celulares significativamente diferentes al control, sin embargo, si en el peso de los cultivos liofilizados, que fueron significativamente menores al control, con esto se puede asumir que la agitación inhibió la producción del exopolímero. Posiblemente la producción de exopolímero aumenta con la sinergia de los cúmulos de diatomeas, al mantener homogénea la distribución de los organismos en los cultivos por medio de la agitación se evitó la formación de colonias o cúmulos de células y se disminuyó la sinergia en la producción del polímero.

Otra posible explicación es lo propuesto por Hoagland *et al.* (1993) quienes afirman que el exopolímero es una herramienta para la captación de nutrientes, necesario cuando el medio no es homogéneo, en los cultivos con agitación al encontrarse homogéneamente distribuidos se hace irrelevante la función captadora del EPS y con ello la necesidad de producirlo.

Pruebas de inhibición

En los estudios realizados por Krishnika *et al.* (2011) reporta que tanto las fracciones metanólicas como de hexano son las más efectivas contra la bacteria *S. aureus*. En el presente estudio se obtuvo también mayor inhibición en las fracciones de metanólicas y cloroformo con el método de halo de disco, sin embargo, a diferencia

de estos estudios que reporta el cloroformo como mejor solvente, los datos presentados en este trabajo tanto para la bacteria *V. vulnificus* como *S. aureus* muestran ligeramente mayor inhibición en la fracción metanólica.

El EPS tiene propiedades tanto para facilitar la proliferación de algunos organismos como inhibir a otros, los parámetros de cultivo y la etapa del mismo podrían jugar un rol decisivo en el efecto inhibitorio, es necesario realizar experimentos con cultivos en diferentes etapas y tratamientos. Así mismo el solvente utilizado juega un papel importante en la actividad antibacterial de los extractos (Raposo *et al.*, 2013).

Conclusiones

La agitación inhibe la producción de EPS en cultivos de *N. yarrensis*.

Los medios de salinidad de 33 favorecen la tasa de producción de EPS en *N. yarrensis*.

La limitación de nutrientes redujo la cantidad de EPS y afectó la consistencia del producto.

La cantidad de exopolímero en los cultivos de *N. yarrensis* se encuentra directamente relacionada con la abundancia celular, es posible incrementar la producción por célula de exopolímero cambiando los parámetros de cultivo.

No hay evidencia de que condiciones diferentes a los parámetros estándar presentadas en los cultivos control beneficien la producción de EPS, su producción parece estar ligada a condiciones de estrés que reducen la abundancia celular.

Los extractos de cultivos de *N. yarrensis* con presencia de exopolímero pueden presentar actividad inhibitoria en bacterias Gram (+) y Gram (-).

El metanol y el cloroformo mostraron mejores resultados como solventes para la elaboración de extractos de los cultivos de *N. yarrensis* con actividad antibacterial sobre las bacterias *V. vulnificus* y *S. aureus*.

Literatura citada

- Bracken, Matthew E. S., Hillebrand, Helmut, Borer, Elizabeth T., Seabloom, Eric W., Cebrian, Just, Cleland, Elsa E., Smith, Jennifer E. (2015). Signatures of nutrient limitation and co-limitation: responses of autotroph internal nutrient concentrations to nitrogen and phosphorus additions. *Oikos*, 124(2), 113-121. doi: 10.1111/oik.01215.
- Brown, M.R., Jeffrey, S.W., Garland, C.D., & Laboratories, CSIRO. Marine. (1989). *Nutritional Aspects of Microalgae Used in Mariculture: A Literature Review*: CSIRO Marine Laboratories.
- Cooksey, Keith E. (1972). The Metabolism of Organic Acids by a Marine Pennate Diatom. *Plant Physiology*, 50(1), 1-6. doi: 10.1104/pp.50.1.1.
- Chavez Medrano, Catalina Ivone. (2008). *Efecto de distintas variables ambientales en la fisiología y composición bioquímica de Navicula incerta*. (Maestria), Centro de investigación científica y educación superior de ensenada, Ensenada, Baja California.
- Gómez Luna, Liliana M. (2007). Microalgas: Aspectos ecológicos y biotecnológicos. *Revista cubana de química*, 19(2).
- Guillard, R. R. L., & Hargraves, P. E. (1993). *Stichochrysis immobilis* is a diatom, not a chrysophyte. *Phycologia*, 32(3), 234-236. doi: 10.2216/i0031-8884-32-3-234.1.
- Hoagland, Kyle D., Rosowski, James R., Gretz, Michael R., & Roemer, Stephen C. (1993). Diatom extracellular polymeric substance: Function, fine structure, chemistry and physiology. *Journal of Phycology*, 29, 31.
- Jain, Ruchi, Raghukumar, Seshagiri, Tharanathan, R., & Bhosle, N.B. (2005). Extracellular Polysaccharide Production by Thraustochytrid Protists. *Marine Biotechnology*, 7(3), 184-192. doi: 10.1007/s10126-004-4025-x.
- Kirst, G. O. (1990). Salinity Tolerance of Eukaryotic Marine Algae. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 41(1), 21-53. doi: 10.1146/annurev.pp.41.060190.000321.
- Krishnika, A., Bhanupriya, P. B., & Beena, B. Nair. (2011). Antibacterial activity of eight marine microalgae against few gram negative bacterial pathogens. *Journal of Pharmacy Research*, 4(9).
- Mansour, Mohamed Magdy F., & Salama, Karima H. A. (2004). Cellular basis of salinity tolerance in plants. *Environmental and Experimental Botany*, 52(2), 113-122. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.01.009>.
- Myklestad, Sverre. (1977). Production of carbohydrates by marine planktonic diatoms. II. Influence of the NP ratio in the growth medium on the assimilation ratio, growth rate, and production of cellular and extracellular carbohydrates by *Chaetoceros affinis* var. *willei* (Gran) Hustedt and *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 29(2), 161-179. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981\(77\)90046-6](http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981(77)90046-6).
- Nathan, Carl. (2004). Antibiotics at the crossroads. *Nature*, 431(7011), 899-902.

- Navarro, J. N. (1983). A survey of marine diatoms of puerto Rico VI. Suborder Raphidineae: Family Naviculaceae (Genera haslea, Mastogloia navicula *Botanica Marina*, 26(3), 17.
- Navine, M., Bergé, J. P., Durand, P., & Le Bris, H. (1999). Antibacterial activity of the marine diatom *Skeletonema costatum* against aquacultural pathogens. *Aquacultura*, 174, 9.
- Patil, Jagadish S., & Anil, Arga C. (2005). Influence of diatom exopolymers and biofilms in metamorphosis in the barnacle *Balanus amphitrite*. *Marine ecology progress series*, 301(231), 15.
- Penna, Antonella, Berluti, Simone, Penna, Nunzio, & Magnani, Mauro. (1999). Influences of nutrient ratios on the in vitro extracellular polysaccharide production by marine diatoms from the Adriatic Sea. *Journal of plankton research*, 21(9), 10.
- Raposo, Maria Filomena, Morais, Rui Manuel Santos Costa, & Morais, Alcina Maria Miranda Bernardo. (2013). Bioactivity and Applications of Sulphated Polysaccharides from Marine Microalgae. *Marine Drugs*, 11(1), 233-252. doi: 10.3390/md11010233.
- Renaud, S. M., & Parry, D. L. (1994). Microalgae for use in tropical aquaculture II: Effect of salinity on growth, gross chemical composition and fatty acid composition of three species of marine microalgae. *Journal of Applied Phycology*, 6(3), 347-356. doi: 10.1007/bf02181949.
- Sánchez-Saavedra, M del Pilar, Licea-Navarro, Alexei, & Bernáldez-Sarabia, Johana. (2010). Evaluation of antibacterial activity of different species of phytoplankton. *Revista de Biología marina y Oceanografía*, 45(3), 5.
- Spellberg, B., Powers, J. H., Brass, E. P., Miller, L. G., & Edwards, J. E., Jr. (2004). Trends in antimicrobial drug development: implications for the future. *Clin Infect Dis*, 38(9), 1279-1286. doi: 10.1086/420937.
- Underwood, Graham J. C., & Paterson, David M. (2003). The importance of extracellular carbohydrate production by marine epipellic diatoms. *Advances in botanical research*, 40, 58.

Especies fitoplanctónicas formadoras de FAN en el Pacífico tropical mexicano: riesgos locales y regionales

*HAB-forming phytoplankton species in the Mexican
Tropical Pacific: local and regional risks*

Alfredo Pérez-Morales^{1,4*}

José Antolín Aké-Castillo^{2,4}

Carlos Francisco Rodríguez-Gómez^{3,4}

¹ Centro Universitario de Investigaciones Oceanológicas. Universidad de Colima. Carretera Manzanillo-Barra de Navidad Km 20. Col. El Naranjo. CP 28860. Manzanillo, Colima, México. Correo-e: aperez42@ucol.mx.

² Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías. Universidad Veracruzana. Calle Hidalgo No. 607, Col. Río Jamapa. CP 94290. Boca del Río, Ver., México.

³ Instituto de Ecología A. C. Camino antiguo a Coatepec No. 351, Col. El Haya. CP 91070. Xalapa, Ver., México.

⁴ Red temática sobre florecimientos algales nocivos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (RedFAN- CONACyT).

Resumen

En las aguas costeras del Pacífico tropical mexicano (PTM), que comprende desde Jalisco hasta Chiapas, se han observado florecimientos algales nocivos (FAN) y en algunos casos intoxicaciones humanas asociadas a la formación de estos fenómenos, así como daños ambientales. La comparación entre los datos oficiales y la información científica publicada dista de llevar a conclusiones similares, por lo que los análisis y revisiones bibliográficas son importantes para establecer líneas base de conocimiento en materia de riesgos por FAN. Con el objetivo de integrar la información hasta ahora conocida de eventos FAN en el PTM, se realizó una revisión de la información disponible en la literatura y en las bases oficiales de la CONABIO para comprender los riesgos inherentes a estos fenómenos. Al menos 33 especies son las que han formado FAN en el PTM, principalmente dinoflagelados, diatomeas, silicoflagelados, euglenofitas y cilióforos. Los resultados indican que el riesgo regional por *Gymnodinium catenatum*, *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* y algunas especies de *Pseudo-nitzschia* es latente en todo el PTM. Por otra parte, hay especies que son riesgos locales como es el caso de *Lingulodinium polyedra* en Colima y Oaxaca o *Margalefidinium catenatum* en Jalisco, Colima y Guerrero.

Palabras clave

Diatomea, dinoflagelado, marea roja, toxina.

Abstract

Coastal water of Tropical Mexican Pacific (TMP), from Jalisco to Chiapas, harmful algal blooms (HABs) have been observed and sometimes they have caused human intoxication and harm to the environment. Comparison between official records and scientific information does not lead to similar conclusion, so bibliographic revision and analyses are important tools for establishing a knowledge base-line within the HAB risk topic. The goal of this work was to integrate information about HAB events within TMP searching in all published scientific literature and consulting database of CONABIO and to analyze the real and potential risk of these phenomena in human health and the environment. At least 33 species have been recorded forming HAB within TMP, mainly dinoflagellates, diatoms, silicoflagellates, euglenophytes and ciliophores. The results show that *Gymnodinium catenatum*, *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* and some species of *Pseudo-nitzschia* are a regional risk to human health. By the other way, some species represent local risk as *Lingulodinium polyedra* in Colima and Oaxaca or *Margalefidinium catenatum* in Jalisco, Colima and Guerrero.

Keywords

Diatom, dinoflagellate, red tide, toxin.

Introducción

El Pacífico tropical mexicano (PTM) es un área geográfica que en su porción marina comprende las aguas costeras de Jalisco hasta Chiapas. Esta región se caracteriza por sus aguas tropicales y está limitada al norte por Cabo Corrientes, Jalisco y al sur hasta el Golfo de Tehuantepec compartido por los estados de Oaxaca y Chiapas (Flamand, 1991; Spalding *et al.*, 2007).

Algunos trabajos consideran que el PTM abarca desde el sur de Sinaloa debido a sus características oceanográficas como la presencia de la Corriente de California y la Corriente Norecuatorial (Aguirre-Gómez, 2002). Sin embargo, la clasificación mundial de las regiones ecológicas de Spalding *et al.* (2007), indica que lo que conocemos como el PTM pertenece a una provincia denominada Pacífico tropical oriental, y que en la parte mexicana se divide en dos ecoregiones: Pacífico tropical mexicano y Chiapas-Nicaragua.

En este litoral se encuentran ciudades con un gran desarrollo económico (*i.e.* Puerto Vallarta, Manzanillo, Lázaro Cárdenas, Acapulco, Huatulco, Puerto Madero) por diversas actividades como lo son el turismo, desarrollo portuario, y actividades pesqueras. Esto tiene como consecuencia un alto índice de asentamiento y flujo humano que es susceptible a los problemas de salud ocasionados por fenómenos naturales como los florecimientos algales nocivos (FAN) (Band-Schmidt *et al.*, 2013).

El efecto negativo de estos fenómenos en la región sobre la salud humana es conocido históricamente en México (Cortés-Altamirano, 1998; Sierra-Beltrán *et al.* 1998). Casos graves de intoxicación se han registrado en Guerrero (Sánchez-Flores, 2011) así como efectos letales en Oaxaca (Saldate-Castañeda *et al.*, 1991). Aun cuando ya se tiene un conocimiento general de la flora planctónica que se distribuye en esta región (Okolodkov y Gárate, 2006; Esqueda-Lara y Hernández-Becerril, 2010; Cortés-Lara *et al.*, 2012; Meave *et al.*, 2012; Maciel-Baltazar y Hernández-Becerril, 2013; Maciel-Baltazar, 2015) se carece de una información global que permi-

ta visualizar los riesgos tanto reales como potenciales de los FAN en una escala local o regional. Por eso, la intención de este trabajo fue realizar un análisis de los eventos FAN y especies asociadas de los cuales se tienen registros, así como mostrar los resultados de manera integrada para el PTM.

Especies formadoras de FAN en el PTM

Registros en literatura

Al analizar la información publicada hasta la fecha en artículos, libros y capítulos de libro, y considerando únicamente los registros de especies formadoras de FAN, los datos registrados por la literatura muestran un total de al menos 33 especies identificadas que han causado florecimientos en el PTM (tabla 1). Las principales microalgas responsables de estos eventos pertenecen a los grupos de dinoflagelados, diatomeas, silicoflagelados y euglenofitas, así como un organismo del grupo de cilióforos.

Tabla 1
Registro de especies formando florecimientos algales nocivos en el Pacífico tropical mexicano.

ESPECIE	ESTADO	REFERENCIA
<i>Dictyocha californica</i> Schrader & Murray 1985 <i>Eutreptiella marina</i> da Cunha 1914 <i>Gymnodinium catenatum</i> H.W.Graham 1943 <i>Margalefidinium catenatum</i> (Okamura) F.Gómez, Richlen & D.M.Anderson 2017 (= <i>Cochlodinium polykrikoides</i> y <i>C. catenatum</i>) <i>Mesodinium rubrum</i> Leegaard 1915	Jalisco	Cortés-Lara <i>et al.</i> , 2004, 2010, 2011, 2015.
<i>Dictyocha fibula</i> Ehrenberg 1839 <i>Gonyaulax spinifera</i> (Claparède & Lachmann) Diesing 1866 <i>Gymnodinium catenatum</i> * <i>Lingulodinium polyedra</i> (F.Stein) J.D.Dodge 1989 <i>Margalefidinium catenatum</i> * <i>Mesodinium rubrum</i> * <i>Noctiluca scintillans</i> (Macartney) Kofoid & Swezy 1921 <i>Pseudo-nitzschia</i> spp. <i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg 1834 <i>Pyrodinium bahamense</i> var. <i>compressum</i> (Böhm) Steidinger, Tester & F.J.R.Taylor 1980 <i>Tripos dens</i> (Ostenfeld & Johannes Schmidt) F.Gómez 2013 <i>Tripos furca</i> (Ehrenberg) F.Gómez 2013	Colima	Quijano-Scheggia <i>et al.</i> , 2016.
<i>Gymnodinium catenatum</i> <i>Pyrodinium bahamense</i> var <i>compressum</i>	Michoacán	Rodríguez-Palacio <i>et al.</i> , 2006; Hernández-Becerril <i>et al.</i> , 2007.

ESPECIES FITOPLANCTÓNICAS FORMADORAS DE FAN EN EL PACÍFICO...

ESPECIE	ESTADO	REFERENCIA
<i>Akashiwo sanguinea</i> (K.Hirasaka) G.Hansen & Moestrup in Daugbjerg, G.Hansen, J.Larsen & Moestrup 2000* <i>Chaetoceros curvisetus</i> Cleve 1889 <i>Chaetoceros radicans</i> F.Schütt 1895 <i>Gymnodinium catenatum</i> * <i>Hemiaulus hauckii</i> Grunow ex Van Heurck 1882 <i>Karenia</i> sp. Gert Hansen & Moestrup, 2000 <i>Levanderina fissa</i> (Levander) Moestrup, Hakanen, Gert Hansen, N.Daugbjerg & M.Ellegaard 2014 (= <i>Gyrodinium instriatum</i>) <i>Margalefidinium catenatum</i> * <i>Noctiluca scintillans</i> (Macartney) Kofoid & Swezy 1921 <i>Polykrikos hartmannii</i> W.Zimmermann 1930 <i>Prorocentrum gracile</i> <i>Pseudo-nitzschia brasiliiana</i> Lundholm, Hasle & G.A.Fryxell 2002 <i>Pseudo-nitzschia fraudulenta</i> (Cleve) Hasle 1993 <i>Pseudo-nitzschia</i> cf. <i>pseudodelicatissima</i> <i>Pseudo-nitzschia pungens</i> (Grunow ex Cleve) Hasle 1993 <i>Pseudo-nitzschia sabit</i> S.T.Teng, H.C.Lim, P.T.Lim & C.P.Leaw in Teng <i>et al.</i> 2015 <i>Pyrodinium bahamense</i> var <i>compressum</i> * <i>Scrippsiella acuminata</i> (Ehrenberg) Kretschmann, Elbrächter, Zinssmeister, S.Soechner, Kirsch, Kusber & Gottschling 2015 <i>Skeletonema</i> cf. <i>pseudocostatum</i> <i>Tripos balechii</i> (Meave del Castillo, Okolodkov & M.E.Zamudio) F.Gómez 2013 <i>Tripos divaricatus</i> (Lemmermann) F.Gómez 2013	Guerrero	Rodríguez-Palacio <i>et al.</i> , 2010; Gárate-Lizárraga <i>et al.</i> , 2013, 2016**.
<i>Alexandrium catenella</i> (Whedon & Kofoid) Balech in D.M.Anderson, A.W.White & D.G.Baden 1985 <i>Alexandrium monilatum</i> (J.F.Howell) Balech 1995 <i>Alexandrium tamarense</i> (Lebour) Balech 1995 <i>Gymnodinium catenatum</i> <i>Lingulodinium polyedra</i> <i>Pyrodinium bahamense</i> var <i>compressum</i> * <i>Mesodinium rubrum</i> <i>Noctiluca scintillans</i> <i>Trichodesmium erythraeum</i> Ehrenberg ex Gomont 1892	Oaxaca	Ronsón-Paulín, 1999; Santiago-Morales, 2016**.
<i>Pyrodinium bahamense</i> var <i>compressum</i> *	Chiapas	Ronsón-Paulín 1999; Hernández- Becerril <i>et al.</i> , 2007.

El cuadro se elaboró con los nombres válidos y actuales de las especies, evitando incluir sinonimias para analizar su recurrencia en los Estados.

* Florecimientos recurrentes.

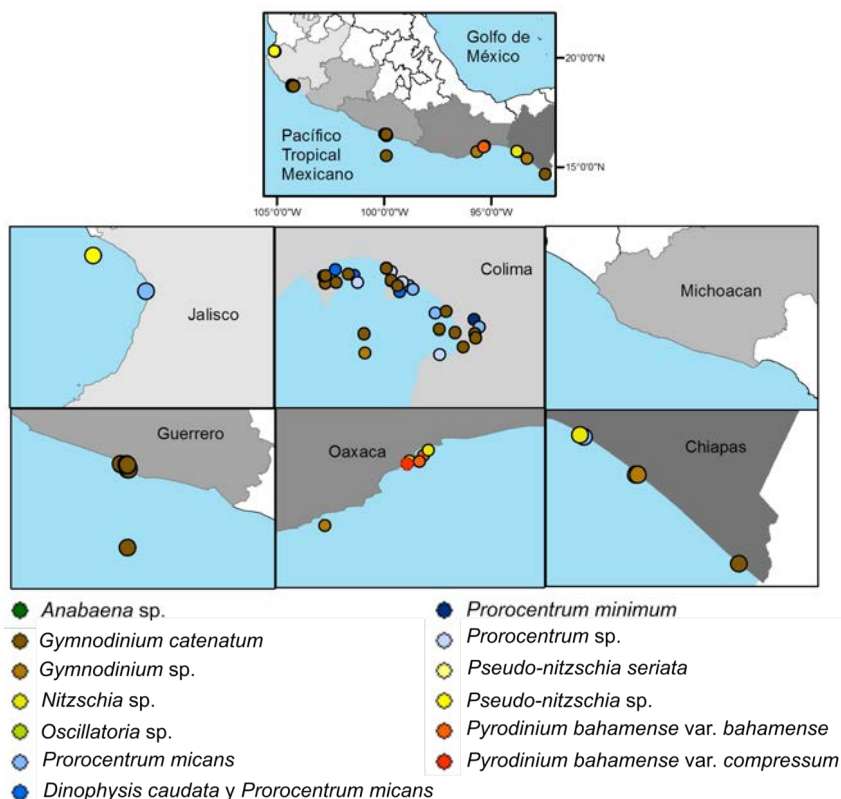
** Para mayor precisión de referencias bibliográficas se debe revisar la información contenida en dicho autor(es).

Registros oficiales de la CONABIO

La Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO) posee registros oficiales de eventos FAN en las costas del país (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>). Al analizar la información de la presencia de especies formadoras de FAN a partir de los *shapefiles* (CENAPRED, 2014) disponibles en el portal de la CONABIO y editar la simbología utilizando el software ArcGIS ArcMap 10.2.2 (<http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop>) se crearon dos nuevos mapas que representan a las especies formadoras de FAN en el Pacífico Tropical Mexicano: un mapa para las especies tóxicas y el otro para las no tóxicas de acuerdo a los criterios de CONABIO.

De acuerdo a los mapas de localización de FAN generados se puede inferir la distribución de las especies tóxicas y no tóxicas. La figura 1 muestra los registros de FAN de especies tóxicas. La especie más ampliamente distribuida es *Gymnodimum catenatum* afectando los estados de Colima, Guerrero y Chiapas. Las especies del género *Pseudo-nitzschia* ocasionan FAN en Colima, Oaxaca y Chiapas. Las demás especies constituyen registros locales. En el caso de Michoacán no hay registros disponibles en esta base de datos.

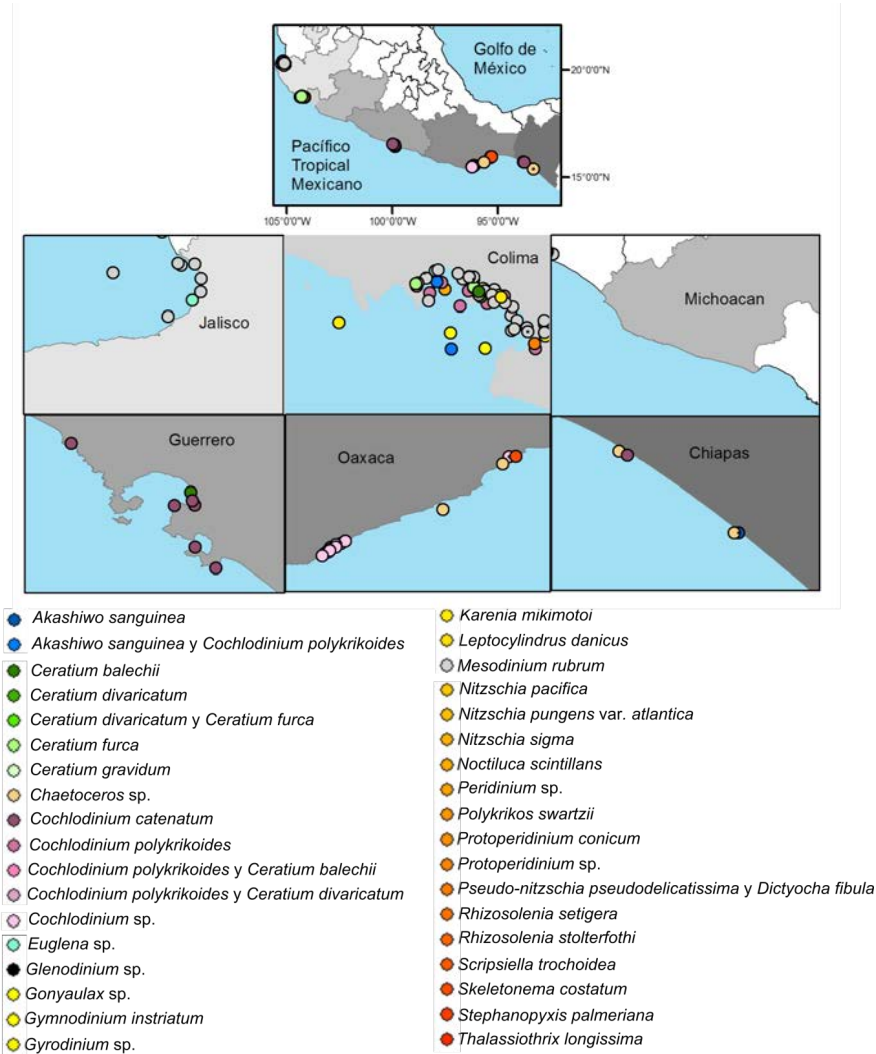
Figura 1
Florecimientos algales nocivos de especies tóxicas en el Pacífico tropical mexicano.



Modificado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>.

Entre las especies no tóxicas formando FAN, *Margalefidinium catenatum* (= *Cochlodinium*, considerada como no tóxica en la base de CONABIO) constituye un riesgo regional por su amplia distribución como FAN en el PTM (Figura 2). *Mesodinium rubrum* se ha presentado en al menos dos Estados, pero no se identifican efectos nocivos en el ambiente. Los demás registros constituyen riesgos locales. Al igual que en el caso de las especies tóxicas, Michoacán tampoco presenta registros de FAN de acuerdo con la CONABIO.

Figura 2
Florecimientos algales nocivos de especies no tóxicas
en el Pacífico tropical mexicano.



Modificado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>.

Riesgos locales y regionales: especies tóxicas y no tóxicas

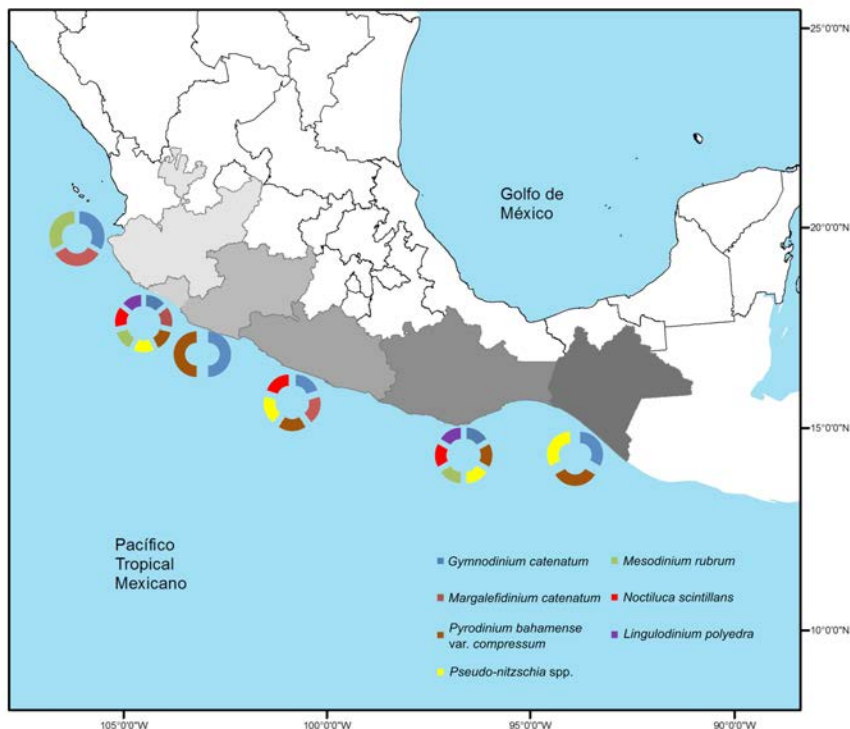
Los eventos FAN detectados en el PTM se han presentado tanto tóxicos como no tóxicos. Las principales toxinas detectadas en eventos FAN de especies tóxicas son las de tipo paralizante, saxitoxina (STX), en los estados de Jalisco, Colima, Guerrero y Oaxaca, y el ácido domoico en Oaxaca (Gómez-Villareal *et al.* 2007; Gárate-Lizárraga *et al.*, 2016; Quijano-Scheggia *et al.*, 2016; Santiago-Morales, 2016). Las STX están asociadas a las especies *Gymnodinium catenatum* y *Pyrodinium bahamense* var. *compressum*, mientras que el ácido domoico se asocia a diferentes especies de diatomeas del género *Pseudo-nitzschia*. Como se observa en la tabla 1, solo para el estado de Guerrero se conocen las especies de *Pseudo-nitzschia* que han provocado eventos FAN, pero no todas ellas son productoras de ácido domoico. En el caso de Oaxaca se conoce la producción de ácido domoico en las especies *P. brasiliensis* y *P. fukuyoi* las cuales fueron aisladas de la zona y que en laboratorio produjeron la toxina.

Adicionalmente, en las costas de Oaxaca se identificó y aisló al dinoflagelado de la especie *Margalefidinium catenatum* y a la rafidoficea del género *Chattonella* sp. que bajo condiciones de laboratorio se ha detectado que producen cantidades importantes de especies reactivas de oxígeno (ERO) que podrían tener repercusiones importantes en la fauna marina (Santiago-Morales, 2016; Amezcua-Ávila *et al.*, 2017). Cabe señalar que ambas especies además de producir ERO también tienen la capacidad de producir diferentes compuestos como óxido nítrico (NO), ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), compuestos hemolíticos y hemoaglutinantes, aunque estos compuestos tóxicos no se consideran toxinas pueden provocar un efecto nocivo en diversas especies acuáticas como son peces, moluscos y crustáceos desde sus fases larvarias hasta sus etapas adultas (Kim *et al.*, 1999; Tang y Glober, 2009; Pérez-Morales *et al.*, 2014, 2017).

Las especies no tóxicas que se han reportado en FAN para el PTM, aunque no representan riesgo en la salud humana, han tenido repercusiones negativas en el ambiente. En el caso de la eu-

glenofita y el silicoflagelado reportados en Jalisco (tabla 1) causaron mortandad de peces. A partir de la información recopilada en la literatura (tabla 1) y los mapas generados de la base de datos de CONABIO (figuras 1 y 2), se detectan las especies que representan un riesgo regional y local para el PTM (figura 3). En la figura 3, se describen las especies que representan riesgo a la salud humana por la producción de toxinas y las especies que representan un riesgo real o potencial al ambiente.

Figura 3
Especies formadoras de florecimientos algales nocivos que representan riesgos a la salud y ambientales en el Pacífico tropical mexicano.



Los colores indican la presencia de las especies formadoras de florecimientos, más no el porcentaje de formación en cada estado.

Análisis de la información

Los registros de FAN que se han publicado en la literatura científica muestran un número grande de especies así como un rango amplio de distribución de las especies tanto tóxicas como no tóxicas en el PTM. Band-Schmidt *et al.* (2013) ponen de manifiesto la importancia de las especies tóxicas *Gymnodinium catenatum* y *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* en la zona como un riesgo real en la salud humana. Asimismo, diversos autores señalan a otras especies que representan un riesgo potencial por el conocimiento que se tiene sobre su toxicidad y los registros de su presencia en el PTM. Muchas de estas especies representan riesgos locales por sus registros únicos como en el caso de los dinoflagelados de los géneros *Prorocentrum*, *Dinophysis* y *Tripos*, diatomeas del género *Chaetoceros* y *Skeletonema*, cianobacterias como *Trichodesmium*, y silicoflagelados del género *Dyctiocha*.

De acuerdo con los datos de la CONABIO, los FAN tóxicos en el PTM han ocurrido debido a 13 taxa fitoplanctónicos, en su mayoría dinoflagelados, aunque también se han registrado diatomeas y cianofitas. El estado de Jalisco ha sufrido de FAN tóxicos provocados por *Pseudo-nitzschia* sp. y *Prorocentrum* sp. En el caso de la Colima, los reportes se concentran en la bahía de Manzanillo, donde principalmente *Gymnodinium catenatum* y *Gymnodinium* sp. han formado proliferaciones algales; en menor medida también se han registrado FAN de *Prorocentrum minimum*, *P. micans* como especie dominante y *P. micans* en asociación con *Dinophysis caudata*. En el caso de Michoacán no hay registros validados en el portal de la CONABIO. En Guerrero, sólo se han reportado FAN de *G. catenatum* tanto en la zona litoral como en aguas alejadas de la costa. En Oaxaca, también se han reportado FAN de *Gymnodinium* sp., pero los reportes de *Pseudo-nitzschia* sp. y *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* y var. *bahamense* se han presentado con mayor frecuencia. Por último, en Chiapas, en su porción ubicada más al norte se han registrado FAN de *Pseudo-nitzschia seriata* y *Prorocentrum* sp., mientras que más al sur los registros corresponden a FAN de *Gymnodinium* sp. y *Gymnodinium catenatum*.

El mapa generado con información de oficial de la CONABIO indica que la mayoría del PTM es propenso a registrar FAN por *G.*

catenatum, excepto en la costa oriental de Oaxaca y la costa norte de Chiapas, donde los registros son en su mayoría de *Pseudo-nitzschia* spp. y *Pyrodinium bahamense*.

La conjunción de la información tanto de literatura científica, como los datos de CONABIO, permitió una mejor visualización de los riesgos de FAN tanto tóxico como no tóxicos en una escala espacial regional y local. Asimismo fue posible detectar que especies son las responsables de estos riesgos, exceptuando a las diatomeas del género *Pseudo-nitzschia* donde el conocimiento de las especies es local.

La revisión realizada por Sierra-Beltrán *et al.* (1998) mostró que el riesgo de intoxicación por toxinas paralizantes provocado por *Gymnodinium catenatum* sólo se presentaba en Jalisco, Colima y Michoacán. Si consideramos únicamente la información proporcionada por la CONABIO con información del CENAPRED (2014), concluiríamos que este riesgo no existe ni en Jalisco ni en Michoacán. Nuestros análisis indican que el riesgo por intoxicación por saxitoxinas está latente en todos los estados adyacentes al PTM, lo que sugiere una expansión geográfica.

En el caso de *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* ocurre algo parecido, si sólo consideramos la información oficial de CENAPRED (2014), sólo las costas de Oaxaca son propensas a padecer FAN de esta especie, mientras que si consideramos el trabajo de Sierra-Beltrán *et al.* (1998) este riesgo de intoxicación por PSP se limita a los Estados sureños: Guerrero, Oaxaca y Chiapas. En el presente estudio, la compilación de la información indica que este riesgo está latente desde Colima hasta Chiapas, por lo que estamos en presencia de otra probable expansión geográfica.

Estos dos ejemplos confirman la importancia de estudios como éste que recopilan la información, y que sin duda, permiten generar información útil para el manejo basado en los riesgos inherentes a los FAN. Hace casi 20 años, el riesgo de los FAN en esta zona se limitaba únicamente a intoxicaciones por PSP de *Gymnodinium catenatum* y *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* limitado a algunos Estados (Sierra-Beltrán *et al.*, 1998), pero ahora podemos hablar de al menos siete especies formadoras de FAN de las cuáles

cuatro son productoras de tóxicas y una de especies reactivas de oxígeno (figura 3, este trabajo).

Un nuevo tipo de intoxicación potencial en el PTM es el causado por las yesotoxinas (YTX), que aunque no han sido identificadas en la región, la presencia de *Lingulodinium polyedra* sí se ha registrado, cuya especie es productora de este tipo de toxinas (Paz *et al.*, 2008).

Conclusiones

En todo el PTM, *Gymnodinium catenatum*, *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* y especies del género *Pseudo-nitzschia* representan un riesgo regional a la salud pública por su toxicidad. El dinoflagelado *Lingulodinium polyedra* constituye un riesgo local en Colima y Oaxaca por la producción de yesotoxinas, pero puede convertirse en un riesgo regional. El dinoflagelado *Margalefidinium catenatum* representa actualmente un riesgo local en Jalisco, Colima y Guerrero con efectos negativos en el ambiente pero potencialmente puede llegar a ser un riesgo regional. *Mesodinium rubrum* y *Noctiluca scintillans* son especies formadoras de FAN con amplio rango de distribución pero que no constituyen riesgo a la salud y no se han reportado efectos negativos en el ambiente. Los FAN de otros dinoflagelados y diatomeas constituyen riesgos locales.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo de Rosario Landgrave (INECOL A.C.) con el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y a la RedFAN-CONACYT que ha permitido la movilidad e interacción de los autores.

Literatura citada

- Aguirre Gómez, R. (2002). *Los mares mexicanos a través de la percepción remota*. Instituto de Geografía. UNAM, México.
- Amezcu-Ávila, A. V., Santiago-Morales, I. S. y Góngora-Servín, I. I. (2017). Especies reactivas de oxígeno y actividad hemolítica de una cepa de *Chattonella* aislada de la Costa de Oaxaca. p. 70. *Memorias del IV Congreso de la Sociedad para el Estudio de los Florecimientos Algales Nocivos A. C. y II Reunión de la Asociación Latinoamericana para el Estudio de Algas Nocivas*, 23-27 de octubre de 2017, Cancún, Quintana Roo, México.

- Band-Schmidt, C. J., Bustillos-Guzmán, J. J., López-Cortés, D. J., Núñez-Vázquez, E. J. y Hernández-Sandoval, F. E. (2011). El estado actual del estudio de florecimientos algales nocivos en México. *Hidrobiológica*, 21(3), 381-413.
- CENAPRED (2014). Marea roja tóxica en México, escala: 1:200000. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Ciudad de México, Coyoacán. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>.
- Corté-Altamirano, R. (1998). *Mareas rojas*. AGT Editores. México.
- Cortés-Lara, M. C., Cortés-Altamirano, R. & Magaña, A. C. (2003). First record of *Fibrocapsa* cf. *japonica* in Matanchen Bay, Nayarit, Mexican Pacific coast. *Harmful Algae News IOC Newsletter on toxic algae and algal blooms* 24, 1-4.
- Cortés-Lara, M. C., Cortés-Altamirano, R. y Sierra-Beltrán, A. (2004). Presencia de *Cochlodinium catenatum* (Gymnodinales: Gymnodinaceae) en mareas rojas de Bahía Banderas en el Pacífico Mexicano. *Revista Biología Tropical*, 52 (Suppl. 1), 35-50.
- Cortés-Lara, M. C., Cortés Altamirano, R. & Cupul Magaña, A. L. (2011). Fish kill by *Dictyocha californica* in Banderas Bay, Jalisco, México. *Harmful Algae News IOC Newsletter on toxic algae and algal blooms*, 43, 14-15.
- Cortés-Lara, M. C., Cortés Altamirano, R., Cupul Magaña, A. L., Rodríguez Nava, L. V. y F. Vega Villasante. (2012). *Guía de Florecimientos Microalgales (2000-2011) Causantes de mareas rojas en Bahía de Banderas Jalisco-Nayarit*. Universidad de Guadalajara, México.
- Cortés-Lara, M. C., Cúpul-Magaña, A. L., Rodríguez Troncoso, A. P. & Cortés-Altamirano, R. (2015). Harmful Algae Blooms in Banderas Bay, Jalisco, México, 2013. *Harmful Algae News IOC Newsletter on toxic algae and algal blooms*, 6-7.
- Esqueda-Lara, K. y Hernández-Becerril, D. U. (2010). *Dinoflagelados microplanctónicos marinos del Pacífico central de México (Isla Isabel, Nayarit y costas de Jalisco y Colima)*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Flamand, S. C. (1991). Pacífico Tropical Mexicano: Cabo Corrientes con la frontera con Guatemala. Oceanografía Geológica. En: de la Lanza, G. eds. *Oceanografía de Mares Mexicanos* pp. 117-148. México: AGT Editor.
- Gárate-Lizárraga, I., Sevilla-Torres, G., Álvarez-Añorve, M., Aguirre-Bahena, F., Violante-González, J. & Rojas-Herrera, A. (2013). First record of a red tide caused by *Gyrodinium instriatum* (dinophyceae: gymnodiniales) in bahía de Acapulco, Guerrero. *CICIMAR Oceanides*, 28, 43-47.
- Gárate-Lizárraga, I., Pérez-Cruz, B., Díaz-Ortiz, J. A., Okolodkov, Y. B. y López-Silva, S. (2016). Florecimientos algales nocivos en las aguas costeras del estado de Guerrero, México. En: García-Mendoza, E., Quijano-Scheggia, S. I., Olivos-Ortiz, A. y Núñez-Vázquez, E. J. eds. *Florecimientos Algales Nocivos en México*. pp 228- 241. México. CICESE.
- Gómez-Villarreal, M. C., Gárate-Lizárraga, I. y Bustillos-Guzmán, J. J. (2007). Toxinas paralizantes en ostión de piedra, *Crassostrea iridescens* en Bahía de Banderas. pp. 1-2. En: *Recursos y Medio Ambiente: Memorias del XIV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología*, 29-31 de Octubre de 2007, Nuevo Vallarta, Jalisco, México.

- Hernández-Becerril, D. U., Alonso-Rodríguez, R. Álvarez-Góngora, C., Barón-Campis, S. A., Ceballos-Corona, G., Herrera-Silveira, J., Meave del Castillo, M. E., Juárez-Ruiz, N., Merino-Virgilio, F., Morales-Blake, A., Ochoa, J. L., Orellana-Cepeda, E., Ramírez-Camarena R. & Rodríguez-Raciél, S. (2007). Toxic and harmful marine phytoplankton microalgae (HABs) in Mexican coasts. *Journal of Environmental Science Health Part A*, 42 (10), 1349-1363.
- Kim, C.S., Lee, S.G., Lee, C.K., Kim, H.G. & Jung, J. (1999). Reactive oxygen species as causative agents in the ichthyotoxicity of the red tide dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides*. *Journal of Plankton Research*, 21(11), 2105-2115.
- Maciel-Baltazar, E. (2015). Dinoflagelados (Dinoflagellata) tóxicos de la costa de Chiapas, México, Pacífico centro oriental. *Cuadernos de Investigación UNED*, 7, 39-48.
- Maciel-Baltazar, E. y Hernández-Becerril, D.U. (2013). Especies de dinoflagelados atecados (Dinophyta) de la costa de Chiapas, sur del Pacífico mexicano. *Revista de biología marina y oceanografía*, 48(2), 245-259. doi.10.4067/S0718-19572013000200005.
- Meave-del Castillo, M. E., Zamudio-Resendiz, M. E., y Castillo-Rivera, M. (2012). Riqueza fitoplanctónica de la Bahía de Acapulco y zona costera adedaña, Guerrero, México. *Acta Botánica Mexicana*, 100, 405-487.
- Okolodkov, Y. B. & Gárate-Lizárraga, I. (2006). An annotated checklist of dinoflagellates (Dinophyceae) from the Mexican Pacific. *Acta Botanica Mexicana*, 74, 1-154.
- Paz, B., Daranas, A. H., Norte, M., Riobó, P., Franco, J. M. & Fernández, J. J. (2008). Yessotoxins, a group of marine polyether toxins: an overview. *Marine Drugs*, 6(2), 73-102.
- Pérez-Morales, A., Band-Schmidt, C. J., Ortiz-Galindo, J. L. & Sobrino-Figueroa, A. S. (2014). Mortality in the initial ontogeny of *Paralabrax maculatofasciatus* (Actinopterygii, Perciformes, Serranidae) caused by *Chattonella* spp. (Raphidophyceae). *Hydrobiologia*, 722, 247-261. doi.10.1007/s10750-013-1707-2.
- Pérez-Morales, A., Band-Schmidt, C. J. & Martínez-Díaz, S. F. (2017). Mortality on zoea stage of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* caused by *Cochlodinium polykrikoides* (Dinophyceae) and *Chattonella* spp. (Raphidophyceae). *Marine Biology*, 164, 57. doi.10.1007/s00227-017-3083-3.
- Quijano-Scheggia, S. I., Olivos-Ortiz, A., Pérez-Morales, A., Álvarez-García, C., Gaviño-Rodríguez, J. H. y Sosa-Avalos, R. (2016). Registros de microalgas nocivas o tóxicas formadoras de florecimientos algales en las bahías de Manzanillo, Colima, México. En: García-Mendoza, E., Quijano-Scheggia, S. I., Olivos-Ortiz, A. y Núñez-Vázquez, E. J. eds. *Florecimientos Algales Nocivos en México*. pp. 218- 227. México: CICESE.
- Rodríguez-Palacio, M. C., Lozano-Ramírez, C., Álvarez-Hernández, S. & de Lara-Isassi, G. (2006). First Record of harmful bloom of *Gymnodinium catenatum* along the Michoacán coast, Mexico. p 270. *12th International Conference on Harmful Algae*, 4-8 September 2006, Copenhagen, Denmark.

- Rodríguez-Palacio, M.C., Lozano-Ramírez, C. y Álvarez-Hernández, S. (2010). Florecimiento algal nocivo causado por *Cochlodinium polykrikoides* y *Ceratium divaricatum* (Dinophyceae) en Acapulco, Guerrero, México. En: Chávez-Comparan, J. C. y J. Mimbela-López eds. *Investigaciones Marinas y Acuícolas sobre el Pacífico Tropical Mexicano*. pp 70-78. México: Universidad de Colima.
- Ronsón-Paulín, J. A. (1999). Análisis retrospectivo y posibles causas de mareas rojas tóxicas en el litoral del sureste mexicano (Guerrero, Oaxaca, Chiapas). *Ciencia y Mar. Universidad del Mar*, 9, 49-55.
- Sánchez-Flores, H. E. (2011). Envenenamiento paralizante severo por consumo de moluscos. Reporte de un caso. *Archivos de Medicina de Urgencia de México*, 3, 30-33.
- Saldate-Castañeda, O., Vázquez-Castellanos, J. L., Galván, J., Sánchez-Anguiano, A., y Nazar, A. (1991). Intoxicaciones por toxina paralizante de molusco en Oaxaca. *Salud Pública de México*, 33, 240-247.
- Santiago-Morales, I. S. (2016). Florecimientos algales nocivos en la costa de Oaxaca. En: García-Mendoza, E., Quijano-Scheggia, S. I., Olivos-Ortiz, A. y Núñez-Vázquez, E. J. eds. *Florecimientos Algales Nocivos en México*. pp. 242- 255. México: CICESE.
- Sierra-Beltrán, A. P., Cruz, A., Núñez, E., Del Villar, M., Cerecero, J. & Ochoa, J. L. (1998). An overview of the marine food poisoning in Mexico. *Toxicon*, 36(11), 1493-1502.
- Tang, Y.Z. & Gobler, C.J. (2009). *Cochlodinium polykrikoides* blooms and clonal isolates from the northwest Atlantic coast cause rapid mortality in larvae of multiple bivalve species. *Marine Biology*, 156(12), 2601-2611.

Evaluación de ácido domoico en moluscos bivalvos de la costa de Oaxaca (julio de 2014–junio de 2015)

*Evaluation of domoic acid in bivalve molluscs
from the coast of Oaxaca (July 2014–June 2015)*

Ivonne Sandra Santiago-Morales^{1*}

Yolanda Huante-González¹

Bany Jiménez Solar¹

Jaime Saúl Serrano-Guzmán¹

Norma Arcelia Barrientos-Luján¹

Heladio Espíndola-Ávila¹

Andrés Pacheco-Ruiz¹

¹ Universidad del Mar, Ciudad Universitaria, Puerto Ángel C.P. 70902, Oaxaca, México. Correo-e: santiago@angel.umar.mx.

Resumen

El ácido domoico (AD) es una neurotoxina producida por diversas especies del género *Pseudo-nitzschia* (Pn), el cual es responsable por la muerte de organismos de niveles tróficos superiores, tales como aves, mamíferos marinos y humanos. Los moluscos bivalvos son vectores importantes para transferir y acumular toxinas algales a un nivel extremadamente peligroso debido a su conducta de alimentación por filtración. En aguas costeras de Oaxaca, existe escasa información de la presencia de especies de Pn y sus toxinas. En el presente estudio se evaluó por un año el contenido de AD de seis diferentes especies de bivalvos obtenidas de siete localidades ubicadas en aguas costeras del estado de Oaxaca, México. Los resultados confirmaron la presencia de AD en vísceras de *Spondylus limbatus* (3.8 µg AD/g tejido), y muestran que la transferencia de AD en la red trófica representa un peligro potencial para otros niveles tróficos, afectando incluso a la salud humana.

Palabras clave

ASP, Ficotoxinas, vectores, transferencia, México.

Abstract

The domoic acid (DA) is a neurotoxin produced by several species of the genus *Pseudo-nitzschia* (Pn), which is responsible for deaths of higher trophic-level organisms, such as seabirds, marine mammals and humans. Bivalve molluscs are important vector to transfer and accumulate algal toxins to an extremely dangerous level due to their filter-feeding behavior. In coastal waters of Oaxaca, there is scarce information of the presence of Pn species and their toxins. The present study evaluated for 1 year the DA content of six different species of bivalves obtained from seven locations in coastal waters of the state of Oaxaca, México. The results confirmed the presence of DA in viscera of *Spondylus limbatus* (3.8 µg DA/g tissue), and show that the transfer of DA in the trophic network represents a potential hazard to other trophic levels, even affecting human health.

Keywords

ASP, phycotoxins, vectors, transfer, México.

Introducción

Diversas especies de fitoplancton producen compuestos tóxicos, cuyas funciones se desconocen para la mayoría de los grupos algales. Los síndromes causados por estas toxinas se clasifican generalmente, por el tipo de intoxicación y sintomatología asociada (paralítico, diarreico, amnésico, neurotóxico y envenenamiento por ciguatera). La intoxicación tipo amnésica o envenenamiento amnésico por consumo de moluscos (ASP, por sus siglas en inglés: Amnesic Shellfish Poisoning) es ocasionada por la neurotoxina ácido domoico (AD), producida principalmente por algunas especies del género *Pseudo-nitzschia* (Pn), que puede acumularse y transferirse a niveles tróficos superiores por diversos vectores (Bates y Trainer, 2006; Zaccaroni y Scaravelli, 2008).

Desde el primer evento reconocido de ASP, se han creado programas de monitoreo e investigación en varias partes del mundo y se ha reconocido al envenenamiento por AD como uno de los síndromes tóxicos más importantes causado por microalgas (GEOHAB, 2005). Los Florecimientos Algales Nocivos asociados a especies tóxicas del género *Pseudo-nitzschia* han causado intoxicaciones humanas, mortalidades masivas y recurrentes de aves y mamíferos marinos, así como pérdidas económicas importantes al afectar a la acuicultura, pesquerías y turismo en varias áreas costeras (Jeffery *et al.*, 2004; Bates y Trainer, 2006; Torres *et al.*, 2009).

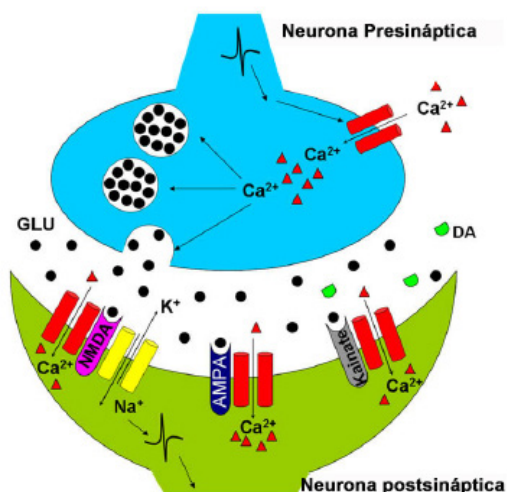
Intoxicación de tipo amnésica (ASP)

La intoxicación por AD ocasiona hiperexcitación neuronal seguida por pérdida crónica de función en sistemas neurales y susceptibilidad a degeneración excitotóxica (Bell, 2003). El AD es un aminoácido no proteico ((3S,4S)-3-carboximetil-4-[(1Z,3R,5R)-(5-carboxi-1-metilhexa-1,3-dien-1-il)]-L-prolina) que presenta 8 isómeros (A, B, C, D, E, F, G y H), los cuales son análogos estructurales del ácido glutámico, neurotransmisor excitatorio más importante en el sistema nervioso central (SNC) y responsable de diversas funciones dentro del cerebro (Wright y Quilliam, 1995; Holland *et al.*, 2005; Trainer *et al.*, 2008). No obstante a que el AD es estructuralmente más complejo que el ácido glutámico, este presenta una alta afinidad por los receptores glutamato (GluR) causando un desequili-

brio del Ca^{+2} citosólico de la neuronas y por consiguiente la despolarización de la membrana (Johnson y Koerner, 1988; Mabry, 2001; Pulido, 2008). El AD también presenta afinidad con los receptores 2-amino-3-hidroxi-5-metil-4-isoxazolepropionato (AMPArs) y kainato (KARs) produciendo disturbios iónicos celulares persistentes, hinchazón y neurodegeneración en el hipocampo (figura 1) (Wright y Quilliam, 1995).

Figura 1

Mecanismo básico del glutamato (GLU) y ácido domoico (DA) en células nerviosas (Lefebvre y Robertson, 2010).



Transferencia de ácido domoico

La probabilidad de ocurrencia de un evento de intoxicación depende, además de la presencia y acumulación de las toxinas en el medio ambiente, del flujo y acumulación de las mismas en diferentes niveles tróficos. Las ficotoxinas pueden acumularse en ciertos organismos que, a su vez, causan intoxicación a consumidores de niveles tróficos superiores (Mariën, 1996; Lefebvre *et al.*, 1999, 2001; Costa y Garrido, 2004; Vigilant y Silver, 2007; Bargu *et al.*, 2008; Goldstein *et al.*, 2008).

La transferencia del ácido domoico requiere organismos que pueden absorber AD disuelto directamente del agua o que consuman grandes cantidades de las especies tóxicas y que mantienen las células o toxinas asociadas en el tracto intestinal cuando son consumidos por su depredador (Bargu *et al.*, 2011).

Durante proliferaciones de las diatomeas del género *Pseudo-nitzschia*, el AD puede ser acumulado en el tracto digestivo de organismos filtradores o del bentos y transferido subsecuentemente a organismos de niveles tróficos superiores, representando un gran riesgo por exposición a AD (Geraci *et al.*, 1989; Anderson and White, 1992; Loscutoff, 1992; Wohlgeschaffen *et al.*, 1992; Langlois *et al.*, 1993; Horner y Postel, 1993; Lund *et al.*, 1997; Lefebvre *et al.*, 1999; 2002; Scholin *et al.*, 2000; Bargu *et al.*, 2002, 2003; 2011; Bargu y Silver, 2003; Fire y silver 2005; Kvitek *et al.*, 2008; Del Rio *et al.*, 2010).

Debido a su método de alimentación, los moluscos bivalvos son conocidos inequívocamente como los principales vectores de ficotoxinas (Shumway, 1990). El ácido domoico se ha encontrado en una gran variedad de moluscos. En el primer evento conocido de ASP, el mejillón azul (*Mytilus edulis*) fue el organismo responsable de la intoxicación, al acumular niveles de AD de hasta 790 µg/g de tejido, como resultado de la presencia de *Pseudo-nitzschia pungens* (Bates *et al.*, 1998). Diversos reportes a nivel mundial destacan la presencia de hasta 534 µg AD/g tejido en la viería (*Pecten maximus*) (Amzil *et al.*, 2001; Gallacher *et al.*, 2001; Blanco *et al.*, 2006; Bogan *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2007). Otros reportes de AD en moluscos incluyen a especies de almejas (*Venus verucosa*, *Cerastoderma edule*, *Venerupis pullastra* y *Siliqua patula*), mejillón (*Mytilus galloprovincialis*) y ostiones (*Crassostrea gigas*) con niveles de AD de 5.5 a 125 µg/g tejido (Jones *et al.*, 1995; Vale y Sampayo, 2001; Kaniou-Grigoriadow *et al.*, 2005).

Los métodos y periodos de depuración de la toxina AD en moluscos son diversos. Los ostiones distinguen diatomeas tóxicas mientras se alimentan y evitan la ingesta de éstas (Mafra *et al.*, 2009, 2010). Los mejillones, depuran la toxina en periodos de tiempo cortos (horas a días) (Madhyastha *et al.*, 1991; Novaczek *et al.*, 1991, 1992; Blanco *et al.*, 2002), mientras que las vierias y almejas

pueden mantener hasta por un año niveles altos de la toxina (Gilligan *et al.*, 1990; Blanco *et al.*, 2002, 2006; Bogan *et al.*, 2007; Trainer *et al.*, 2007; Mafra *et al.*, 2010).

Después del evento de ASP ocurrido en Canada en 1987, para proteger la salud pública y asegurar la calidad de los productos marinos, se ha implementado un programa de monitoreo de eventos de intoxicación por ácido domoico a nivel mundial, en el que se estableció como valor regulatorio para la salud pública la cantidad de 20 µg AD/g de tejido.

En el presente estudio, se evaluó si la neurotoxina ácido domoico es acumulada por organismos filtradores en diferentes épocas del año en tres zonas costeras de Oaxaca.

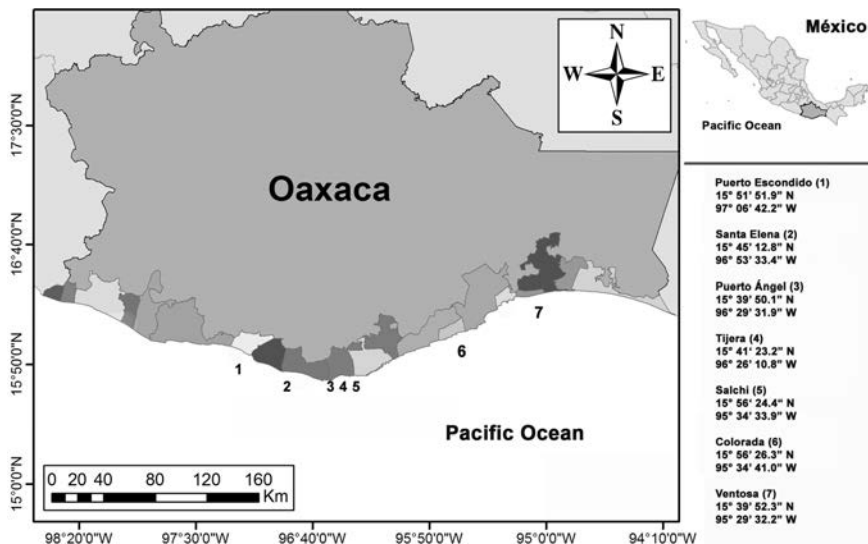
Metodología

Área de estudio

El área de estudio se localiza en el Pacífico sur de México, en la costa del estado de Oaxaca comprendida entre los límites de los municipios de Salina Cruz y San Pedro Mixtepec. En la región se determinaron siete estaciones de muestreo: Bahía la Ventosa (15° 39' 52.3" N y 95° 29' 32.2" W), Playa la Colorada (15° 56' 26.3" N y 95° 34' 41.0" W, E2), Playa Salchi (15° 56' 24.4" N y 95° 34' 33.9" W, E3), Playa la Tijera (15° 41' 23.2" N, 96° 26' 10.8" W, E4), Bahía de Puerto Ángel (15° 39' 50.1" N, 96° 29' 31.9" W, E5), Playa Santa Elena (15° 45' 12.8" N, 96° 53' 33.4" W, E5) y Puerto Escondido (15° 51' 51.9" N, 97° 06' 42.2" W, E6) (figura 2).

Figura 2

Localización de las estaciones de recolecta de moluscos bivalvos.



Obtención e identificación de moluscos

En las estaciones seleccionadas, se recolectaron por buceo (scuba) entre 5 y 25 m de profundidad organismos bivalvos, los cuales se almacenaron en contenedores térmicos a baja temperatura, hasta su procesamiento en laboratorio. Para la identificación taxonómica de los ejemplares, se siguió el criterio de Coan y Valentinich Scott (2012).

Preparación de tejido y obtención de extractos para el análisis de la toxina

Una vez en el laboratorio, los organismos recolectados se lavaron con un cepillo de cerdas plásticas, y enjuagaron con agua del grifo antes de remover la concha, el tejido se lavó con agua destilada y se drenó, para posteriormente pesar de 100 a 150 g para su homogeneización. Para la obtención de extractos se tomaron 4 g del tejido homogeneizado y se adicionaron 16 ml de metanol al 50%, la mezcla se homogeneizó durante 3 min, y se centrifugó por 15 min a 5,000 rpm, el sobrenadante obtenido se centrifugó por 5 min a 10,000 rpm y el nuevo sobrenadante se filtró a 0.45 µm. Los extrac-

tos obtenidos se mantuvieron en oscuridad a -20°C , hasta su análisis por HPLC.

Análisis de la toxina por HPLC-UV

Para la cuantificación de ácido domoico por medio de HPLC, se utilizó el protocolo propuesto por Quilliam (2003) con modificaciones. Para ello, se utilizó un HPLC modelo Agilent 1260 equipado con detector de arreglo de diodos configurado a 242 nm.

La separación se realizó a 40°C con una columna Zorbax-eclipse XDB C18 (250 mm x 4.6 mm y $5\text{ }\mu\text{m}$). Los solventes utilizados fueron agua más 0.1 % ácido trifluoroacético (solvente A) y acetonitrilo más 0.1 % de ácido trifluoroacético (solvente B). El gradiente de elución (1 ml/min) fue (% B, min): 10%, 0 min; 10%, 12 min, 50%, 17 min; 50%, 20 min; 10%, 21 min; 10%, 25min. Para equilibrar la columna, la condición inicial (10% B) se mantuvo por 5 minutos entre inyecciones (40 μL) de las muestras. Para la identificación de la toxina se utilizó como estándar AD comercial (Sigma-Aldrich), la cuantificación se realizó a partir de una curva de calibración de 1.0 a 6 $\mu\text{g}/\text{ml}$ (Quilliam, 2003).

Resultados

Obtención e identificación de moluscos

En las localidades de muestreo se recolectaron organismos bivalvos pertenecientes a seis diferentes familias (figura 3), de los cuales solo *Spondylus limbatus* se encontró en las siete localidades, *Striostrea prismatica* se obtuvo en tres estaciones (Puerto Escondido, Santa Elena y la Ventosa) al igual que *Hyotissa hyotis* (Puerto Angel, Tijera y Salchi), *Chama buddiana* se obtuvo en dos de las estaciones de muestreo (La Colorada y la Ventosa), y *Mytella charruana* se obtuvo solo de la localidad de Puerto Ángel.

Figura 3

Especies de moluscos bivalvos de la costa del estado de Oaxaca, utilizados para el análisis de ácido domoico.

A) *Spondylus limbatus* (Sowerby II, 1847), B) *Chama buddiana* (Adams, 1852), C) *Striostrea prismatica* (Gray, 1825), *Hyotissa hyotis* (Linnaeus, 1758), D) *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856), E) *Modiolus capax* (Conrad, 1837).



Los especímenes de *Spondylus limbatus* (Sowerby II, 1847) (figura 3A), mostraron la valva izquierda (superior) con espinas irregulares de forma espatulada, que se reducen a hilos gruesos en algunos especímenes; los jóvenes con muchas filas de espinas cortas, en forma de espátula; algunos adultos, solo presentan trazas de espinas; las espinas de nuevo crecimiento de los especímenes adultos son cortas y amplias; la valva derecha se une ampliamente a la superficie de fijación; valva derecha con espinas afiladas en la parte libre; el color exterior de la concha es rojo-púrpura, amarillo-naranja, nunca blanco; margen interior de la concha con una banda del color exterior; charnela con dientes fuertes, los de la valva izquierda de color marrón, en posición diagonal a la charnela; huella del músculo aductor de somera a profunda, con callo ventral; las ondulaciones del borde interno de la concha son finas y numerosas.

La concha de *Chama buddiana* (Adams, 1852) (figura 3B), es ovalada elongada; inequivalva con la valva derecha grande; cementada al sustrato por la valva izquierda; fuertemente prosogira; la ornamentación es de espinas espatuladas de tamaño pequeño a moderado, acomodadas en filas radiales e irregulares; la valva derecha frecuentemente con una o dos filas radiales de espinas largas; color exterior rosa a marrón rojizo; interior de la concha de color blanco a crema, algunos especímenes con bandas marginales de color rosado-rojo y manchas púrpura; margen interno de la concha, finamente ondulado.

Striostrea prismatica (Gray, 1825) (figura 3C), presentó concha ovada a alargada dorsoventralmente, pesada y gruesa; la valva izquierda de moderada a profundamente cóncava, se fija ampliamente al sustrato, pero con el margen levantado; valva derecha plana a moderadamente convexa; resilífero largo y estrecho; cómatas muy largas, robustas, pocas en número, usualmente menos de 10; valvas no onduladas, con densas lamelas concéntricas, muchas con ondulaciones amplias y bajas; color exterior de la concha es marrón-púrpura; interior blanco e iridiscente, con manchas de color marrón aceituna; huella muscular izquierda de color púrpura, huella muscular derecha de color más claro.

Las conchas de *Hytissa hyotis* (Linnaeus, 1758) (figura 3D), presentaron forma subcircular a subovada, muy fuerte; valva izquierda plana a ligeramente convexa o cóncava, usualmente con el 50% de la concha cementada, margen elevado en el punto de unión; valva derecha de convexa a cóncava; ornamentación de ambas valvas con pliegues amplios y altos, fuertes hacia los márgenes, formando un margen ondulado; los pliegues algunas veces forman lamelas y espinas; resilífero superficial, ancho y corto; cómatas alargadas, no son visibles en los especímenes adultos; huella del músculo aductor subovada, margen ventral elevado; color exterior de la concha marrón oscuro, rojo a púrpura; interior de la concha blanco con manchas de marrón claro y margen púrpura oscuro.

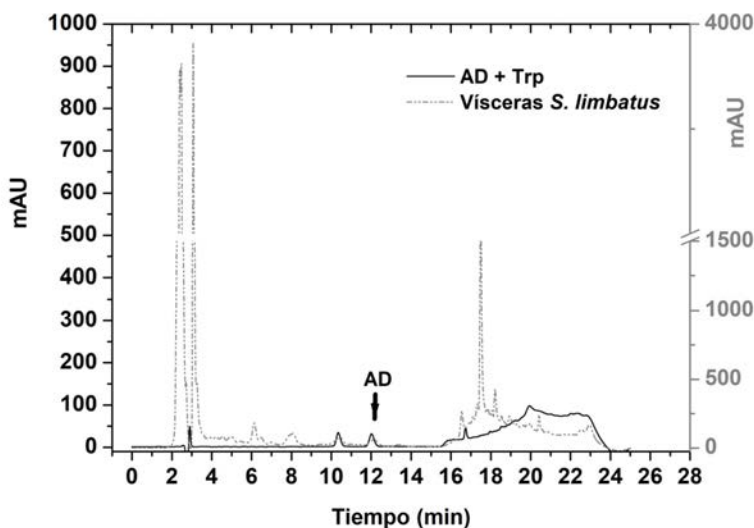
Las características de la concha de *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856) (figura 3E), fueron forma ovalada a subcuadrada, comprimida; la valva derecha presenta una muesca bisal antero-dorsal profunda; el exterior de la concha es color marrón con líneas radiales oscuras; el interior es brillante e iridiscente, de color blanco a verde-marrón; la ornamentación externa es de lamelas concéntricas fuertes, especialmente prominentes en los márgenes, con olanes amplios; placa de la charnela amplia y sin dientes; ligamento amplio y proyectado ventralmente.

En *Modiolus capax* (Conrad, 1837) (figura 3F), la concha es de forma romboidal, variable en forma, muy inflada; picos terminales, margen anterior usualmente no proyectado; periostraco grueso, con fibras que se ramifican, de textura sedosa, con largas setas serradas, algunas veces desgastadas; el color externo de la concha debajo del periostraco es de rosa a púrpura, internamente la concha es blanca con púrpura oscuro.

Análisis de la toxina

Los resultados del análisis de ácido domoico realizado a 195 organismos (seis especies de moluscos ubicados en siete localidades de la costa de Oaxaca, México) solo mostró la presencia de la toxina (3.88 µg AD/g, figura 4) en una muestra de vísceras de *S. limbatus* correspondiente a la localidad de Puerto Ángel del 5 de marzo de 2015, valor 5 veces menor que el límite establecido como regulatorio para la salud pública (20 µg AD/g de tejido).

Figura 4
Cromatograma de HPLC-UV del extracto de vísceras
de *S. limbatus*.



Discusión

Para que ocurra la transferencia de toxinas algales en la red trófica, se necesitan organismos vectores. Toxinas hidrosolubles como el AD, requieren la transferencia rápida y directa de grandes cantidades de especies algales y su toxina asociada (Bargu *et al.*, 2011).

Una amplia variedad de organismos pelágicos y algunas formas bénticas, han mostrado contener AD. Los moluscos adquieren toxinas cuando filtran el fitoplancton, el AD ha sido hallado en una gran variedad de moluscos alrededor del mundo, con niveles que van desde 0.03 μg AD/g tejido en especies como *Chama lazarus*, *Anadara antiquata* y *Hyotisa hiotis* y de hasta 790 μg AD/g tejido para *Mytilus edulis* (Takata *et al.*, 2009; Bargu *et al.*, 2011).

Los bivalvos, muestran diferencias especie-específico en su habilidad para acumular toxinas y el tiempo de depuración tiene una amplia variabilidad, algunos depuran las toxinas muy rápidamente; mientras que otros retienen la toxina por meses (Blanco *et al.*, 2006). Novaczek *et al.* (1992) reportaron que *Mytilus edulis* pue-

de acumular AD hasta por 5 días, mientras que *Spondylus* sp. mantiene la toxina hasta por 45 días (Dao *et al.*, 2006). El contenido de AD hallado en el presente estudio en vísceras de *Spondylus limbatulus* (3.88 µg AD/g), fue de 6.6 a 14 veces menor que lo reportado en aguas tropicales por Takata *et al.* (2009), para diversas especies de este género; pero mayor que lo registrado por Dao *et al.* (2006) para *S. cruentus* (0.6 a 2.7 µg AD/g de tejido) en Vietnam.

La confirmación de la transferencia de AD en la red trófica en el presente estudio, revela el peligro potencial por contaminación de AD en la costa de Oaxaca.

Agradecimientos

El presente estudio fue financiado por el proyecto 178145 de la convocatoria CONACyT-CB2012.

Literatura citada

- Anderson, D. M. & White, A. W. (1992). Marine Biotoxins at the Top of the Food Chain. *Oceanus*, 35(3), 55-61.
- Amzil, Z., Fresnel, J., Le-Gal, D. & Billard, C. (2001). Domoic acid accumulation in French shellfish in relation with the toxic species of *Pseudo-nitzschia multiseries* and *P. pseudodelicatissima*. *Toxicon*, 39, 1245-1251.
- Bargu S., Powell C. L., Coale S. L., Busman M., Doucette G. J. & Silver M. W. (2002). Krill: a potential vector for domoic acid in marine food webs. *Marine Ecology Progress Series*, 237, 209-216.
- Bargu, S. & Silver, M. W. (2003). Field evidence of krill grazing on the toxic diatom genus *Pseudo-nitzschia* in Monterey Bay, California. *Bulletin of Marine Science*, 72, 629-638.
- Bargu, S., Marinovic, B., Mansergh, S. & Silver, M. W. (2003). Feeding responses of krill to the toxin-producing diatom *Pseudo-nitzschia*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 284, 87-104.
- Bargu, S., Powell, C. L., Wang, Z. H., Doucette, G. J. & Silver, M. W. (2008). Note on the occurrence of *Pseudo-nitzschia australis* and domoic acid in squid from Monterey Bay, CA (USA). *Harmful Algae*, 7, 45-51.
- Bargu S., Smith, E. & Ozhan K. (2011). *Toxic Diatom Pseudo-nitzschia and Its Primary Consumers (Vectors)*. In: Seckbach J., Kociolek, J. P. eds. *The Diatom World, Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrobiology*. pp 491-512.
- Bates, S. S. (1998). Ecophysiology and metabolism of ASP toxin production, In: Anderson, D. M., Cembella, A. D., Hallegraeff, G. M. (Ed.), *Physiological ecology of harmful algal blooms*. pp. 405-426. Germany: Springer-Verlag, Heidelberg.

- Bates, S. S. & Trainer, V. L. (2006). The ecology of harmful diatoms, In: Granéli, E., Turners, J.T. (Ed.), *Ecology of Harmful Algae*. pp. 81-93. Germany: Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Bell, A. (2003). Nonprotein amino acids of plants: significance in medicine, nutrition, and agriculture. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 2854-2865.
- Blanco, J., Acosta, C. P., de la Puente, M. B., Salgado, C. (2002). Depuration and anatomical distribution of the amnesic shellfish poisoning (ASP) toxin domoic acid in the king scallop *Pecten maximus*. *Aquatic Toxicology*, 60, 111-121.
- Blanco, J., Acosta, C. P., Mariño, C., Muñoz S., H. Martín, Á. Moroño, Correa, J. Arévalo, F. & Salgado, C. (2006). Depuration of domoic acid from different body compartments of the king scallop *Pecten maximus* grown in raft culture and natural bed. *Aquatic Living Resources*, 19, 257-265.
- Bogan, Y. M., Bender, K., Hervas, A., Kennedy, D. J., Slater, J. W. & Hess, P. (2007). Spatial variability of domoic acid concentration in king scallops *Pecten maximus* off the southeast coast of Ireland. *Harmful Algae*, 6(1), 1-14.
- Coan E. V. & Valentich-Scott P. (2012). Bivalve Seashells of Tropical West America Marine Bivalve Mollusks from Baja California to Northern Perú. Santa Barbara Museum of Natural History (2 volúmenes) 1,258 pp.
- Costa, P. R. & Garrido, S. (2004). Domoic acid accumulation in the sardine *Sardina pilchardus* and its relationship to *Pseudo-nitzschia* diatom ingestion. *Marine Ecology Progress Series*, 284, 261-268.
- Dao, H. V., Takata, Y., Sato S., Fukuyo Y. & Kodama M. (2016). Domoic acid in a bivalve *Spondylus cruentus* in Nha Trang Bay, Khanh Hoal Province, Vietnam. *Coastal Marine Science*, 30(1), 130-132.
- Del Río, R., Bargu, S., Baltz, D., Fire, S., Peterson, G. & Wang, Z. (2010). Gulf menhaden (*Brevoortia patronus*): A potential vector of domoic acid in coastal Louisiana food webs. *Harmful Algae*, 10, 19-29.
- Fire, S. E. & Silver, M. W. (2005). Domoic acid in the Santa Cruz wharf fishery. *California Fish and Game*, 91, 179-192.
- Gallacher, S., Howard, G., Hess, P., MacDonald, E., Kelly, M. C., Bates, L. A., Brown, N., MacKenzie, M., Gillibrand, P. & Terrell, W. R. (2001). The occurrence of amnesic shellfish poisons in shellfish from Scottish waters. In: Hallegraeff, G.M., Blackburn, S. I., Bolch, C. J., Lewis, R. J. (Eds.), *Harmful Algal Blooms 2000*. pp. 30-33. France: Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO.
- Gilgan, M. W., Burns, B. G. & Landry, G. J. (1990). Distribution and magnitude of domoic acid contamination of shellfish in Atlantic Canada during 1988. In: Granéli, E., Sundström, B., Edler, L., Anderson, D.M. (Eds.), *Toxic Marine Phytoplankton*. pp. 469-474. E.U.A.: Elsevier.
- GEOHAB (2005). Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms, GEOHAB Core Research Project: HABs in Upwelling Systems, In: Pitcher, P., Moita, T., Trainer, V.L., Kudela, R., Figueiras, P., Probyn, T. (Ed.). IOC and SCOR, Paris and Baltimore.
- Geraci J. R., Anderson D. M., Timperi R. J., Aubin D. J., Early G. A., Prescott J. H. & Mayo C. A. (1989). Humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) fa-

- tally poisoned by dinoflagellate toxin. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46, 1895-1898.
- Goldstein, T., Mazet, J. A. K., Zabka, T. S., Langlois, G., Colegrove, K. M. & Silver, M., (2008). Novel symptomatology and changing epidemiology of domoic acid toxicosis in California sea lions (*Zalophus californianus*): an increasing risk to marine mammal health. *Proceedings of the Royal Society B*, 275, 267-276.
- Holland, P. T., Selwood, A. I., Mountfort, D. O., Wilkins, A. L., McNabb, P., Rhodes, L. L., Doucette, G. J., Mikulski, C. M. & King, K. L. (2005). Isodomoic acid C, an unusual amnesic shellfish poisoning toxin from *Pseudo-nitzschia australis*. *Chemical Research in Toxicology*, 18, 814-816.
- Horner R. A. & Postel J. R. (1993). Toxic diatoms in western Washington waters (U.S. West Coast). *Hydrobiologia* 269/270, 197-205.
- Jeffery, B., Barlow, T., Moizer, K., Paul, S. & Boyle, C. (2004). Amnesic shellfish poison. *Food Chemical Toxicology*, 42, 545-557.
- Johnson, R. L. & Koerner, J. F. (1988). Excitatory Amino Acid Neurotransmission. *Journal of Medicinal Chemistry*, 31(11), 2057-2066.
- Jones T. O., Whyte J. N. C., Townsend L. D., Ginther N. G. & Iwama G. K. (1995). Effects of domoic acid on haemolymph pH, PCO₂ and PO₂ in the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* and the California mussel, *Mytilus californianus*. *Aquatic Toxicology*, 31, 43-55.
- Kaniou-Grigoriadou, I., Mouratidou, T. & Katikou, P. (2005). Investigation on the presence of domoic acid in Greek shellfish. *Harmful Algae*, 4, 717-723.
- Kvitek, R. G., Goldberg, J. D., Smith, G. J., Doucette, G. J. & Silver, M. W. (2008). Domoic acid contamination within eight representative species from the benthic food web of Monterey Bay, California, USA. *Marine Ecology Progress Series*, 367, 35-47.
- Langlois, G. W., Kizer K. W., Hansgen, R., Howell R. & Loscutoff, S. (1993). Preliminary results of the California phytoplankton monitoring program. p 118. In: 6th Int Conf Toxic Marine Phytoplankton, Nantes, France, October 18-22.
- Lefebvre, K. A. & Robertson, A. (2010). Domoic acid and human exposure risks: a review. *Toxicon*, 56, 218-230.
- Lefebvre, K. A., Powell, C. L., Busman, M., Doucette, G. J., Moeller, P. D. R., Silver, J. B., Miller, P. E., Hughes, M. P., Singaram, S., Silver, M. W. & Tjeerdema, R. S. (1999). Detection of domoic acid in northern anchovies and California sea lions associated with an unusual mortality event. *Natural toxins*, 7, 85-92.
- Lefebvre, K. A., Dovel, S. L. & Silver, M. W. (2001). Tissue distribution and neurotoxic effects of domoic acid in a prominent vector species, the northern anchovy *Engraulis mordax*. *Marine Biology*, 138, 693-700.
- Lefebvre, K. A., Bargu, S., Kieckhefer, T. & Silver, M. W. (2002). From sanddabs to blue whales: the pervasiveness of domoic acid. *Toxicon*, 40, 971-977.
- Liu, H., Kelly M. S., Campbell D. A., Dong, S. L., Zhu, J. X. & Wang, S. F. (2007). Exposure to domoic acid affects larval development of king scallop *Pecten maximus* (Linnaeus, 1758). *Aquatic Toxicology*, 81(2), 152-158.

- Loscutoff, S. (1992). The West Coast experience—overview. In: Domoic Acid Workshop, San Pedro, California, February 6–8. Proc —US Food and Drug Administration, Pacific Region, California.
- Lund J. K., Barnett H. J., Hatfield, C. L., Gauglitz Jr E. J., Wekell J. C. & Rasco, B. (1997). Domoic acid uptake and depuration in dungeness crab (*Cancer magister* Dana 1852). *Journal of Shellfish Research*, 16(1), 225-231.
- Madhyastha, M. S., Novaczek, I., Ablett, R. F., Johnson, G., Nijjar, M. S. & Sims, D. E. (1991). In vitro study of domoic acid uptake by digestive gland tissue of blue mussel (*Mytilus edulis*). *Aquatic Toxicology*, 20, 73-81.
- Mafra, L. L., Bricelj, V. M., C. Ouellette, Léger, C. & Bates, S. S. (2009). Mechanisms contributing to low domoic acid uptake by oysters feeding on *Pseudo-nitzschia* cells. I. Filtration and pseudofeces production. *Aquatic Biology*, 6, 201-212.
- Mafra, L. L., Bricelj, V. M. & Fennel, K. (2010). Domoic acid uptake and elimination kinetics in oysters and mussels in relation to body size and anatomical distribution of toxin. *Aquatic Toxicology*, 100, 17-29.
- Mabry, T. J. (2001). Selected Topics from Forty Years of Natural Products Research: Betalains to Flavonoids, Antiviral Proteins, and Neurotoxic Non-protein Amino Acids. *Journal of Natural Products*, 64, 1596-1604.
- Novaczek, I., Madhyastha, M. S., Ablett, R. F., Johnson, G., Nijjar, M. S. & Sims, D. E. (1991). Uptake, disposition and depuration of domoic acid by blue mussels (*Mytilus edulis*). *Aquatic Toxicology*, 21, 103-118.
- Novaczek, I., Madhyastha, M. S., Ablett, R. F., Donald, A., Johnson, G., Nijjar, M. S. & Sims, D.E. (1992). Depuration of domoic acid from live blue mussels (*Mytilus edulis*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49, 312–318.
- Pulido, O. M. (2008). Domoic Acid Toxicologic Pathology: A Review. *Marine Drugs* 6: 180-219.
- Quilliam, M. A. (2003). Chemical methods for domoic acid, the amnesic shellfish poisoning (ASP) toxin. In: Hallegraeff, G.M., Anderson, D.M., Cembella, A.D. (Ed.), *Manual on Harmful Marine Microalgae*. pp. 247-266. France: Intergovernmental Oceanographic Commission (UNESCO).
- Scholin, C. A., Gulland, F. M. D., Doucette, G. J., Benson, S., Busman, M., Chavez, F. P., Cordaro, J., DeLong, R., De-Vogelaere A., Harvey, J., Haulena, M., Lefebvre, K. A., Lipscomb, T., Loscutoff, S., Lowenstine L. J., Marin III, R., Miller, P. E., McLellan, W. A., Moeller, P. D. R., Powell, C. L., Rowles, T., Silvagni, P., Silver, M., Spraker, T., Trainer V. L. & Van Dolah, F. M. (2000). Mortality of sea lions along the central California coast linked to a toxic diatom bloom. *Nature*, 403, 80-84.
- Shumway, S. E. (1990). A review of the effects of algal blooms on shellfish and aquaculture. *Journal of World Aquaculture Society*, 21, 65-104.
- Takata, Y., Sato, S., Ha, D.V., Montojo, U. M., Lirdwitayaprasit T., Kamolsiripichai-porn S., Kotaki Y., Fukuyo Y. & Kodama, M. (2009). Occurrence of domoic acid in tropical bivalves. *Fisheries Science*, 75, 473-480.
- Trainer, V. L., Cochlan W. P., Erickson, A., Bill, B. D., Cox, F. H., Borchert, J. A. & Lefebvre, K.A. (2007). Recent domoic acid closures of shellfish harvest areas in Washington State inland waterways. *Harmful Algae*, 6, 449-459.

- Trainer, V. L., Hickey, B. M., Bates, S. (2008). Toxic Diatoms, In: Walsh, P.J., Smith, S.L., Fleming, L.E., Solo-Gabriele, H. & Gerwick, W.H. (Ed.), *Oceans and human health: risks and remedies from the sea*. pp. 219-237. E.U.A.: Elsevier Science.
- Torres de la Riva, G., Johnson, K. K., Gulland, F. M. D., Langlois, G. W., Heyning, J. E., Rowles, T. K. & Mazet, J. A. K. (2009). Association of an unusual marine mammal mortality event with *Pseudo-nitzschia* spp. blooms along the Southern California Coastline. *Journal of Wildlife Diseases*, 45(1), 109-121.
- Vale, P. & Sampayo, M. A. M. (2001). Domoic acid in Portuguese shellfish and fish. *Toxicon*, 39, 893-904.
- Vigilant, V. L. & Silver, M. W. (2007). Domoic acid in benthic flat fish on the continental shelf of Monterey Bay, California, USA. *Marine Biology*, 151, 2053-2062.
- Wohlgeschaffen, G. D., Mann, K. M., Subba Rao, D. V. & Pocklington, R. (1992). Dynamics of the phycotoxin domoic acid: accumulation and excretion in two commercially important bivalves. *Journal of Applied Phycology*, 4, 297-310.
- Wright, J. L. C. & Quilliam, M. A. (1995). Methods for domoic acid, the amnesic shellfish poisons. In: Hallegraeff, G.M., Anderson, D.M., Cembella, A.D. (eds.), *IOC manual on harmful marine algae*, IOC manuals and guides. pp. 113-133. France: UNESCO.
- Zaccaroni, A. & Scaravelli, D. (2008). Toxicity of sea algal toxins to humans and animals, In: Evangelista, V., Barsanti, L., Frassanito, A.M., Passarelli, V., Gualtieri, P. (eds), *Algal toxins: nature, occurrence, effect and detection*. pp. 91-158. Italy.

Evaluación microbiológica del agua
y ostión en las bahías: Puerto Ángel,
La Mina y Tijera
en la costa de Oaxaca, México

*Microbiological evaluation of water and oyster
in the bays: Puerto Ángel, La Mina and Tijera
in the coast of Oaxaca, Mexico*

Yolanda Huante-González¹
Ivonne Sandra Santiago-Morales¹
Minerva e Isis Camacho-Sánchez¹
Yolanda Guadalupe García-Huante²

¹ Universidad del Mar, Campus Puerto Ángel. Ciudad Universitaria, Puerto Ángel, San Pedro Pochutla, Oaxaca, México. C.P. 70902. Correo electrónico: huantey@angel.umar.mx; huantey@hotmail.com.

² Escuela de Ingeniería y Ciencias. Departamento de Bioingeniería, Tecnológico de Monterrey, Campus Estado de México. Carretera Lago de Guadalupe Km 3.5, Col. Margarita Maza; Atizapán de Zaragoza, Estado de México, C.P. 52926.

Resumen

En los periodos mayo-diciembre (2012) y marzo (2013) se colectaron muestras de agua y de moluscos de bancos naturales en las playas Tijera, La Mina y bahía de Puerto Ángel, Oaxaca. Asimismo, se midió el pH, la salinidad, el oxígeno disuelto y la temperatura del agua. Las concentraciones de coliformes totales y fecales en esta fueron 1,100 y 15 NMP*100 ml⁻¹, respectivamente. Por otro lado, en moluscos se evaluó la contaminación microbiológica determinando la concentración de bacterias coliformes, mesófilas aerobias y *Salmonella*. El valor máximo de bacterias coliformes totales fue de 1,200 y el valor mínimo de 27 NMP*100 g⁻¹, mientras que para coliformes fecales el valor máximo observado fue de 1,100 y el valor mínimo de 15NMP*100 g⁻¹. Además, las concentraciones mínima y máxima de bacterias mesófilas aerobias fueron de 595 y 331,000 UFC/g, respectivamente; no se observó la presencia de *Salmonella* durante todo el estudio y las variables físicoquímicas del agua se mantuvieron constantes, por lo que su relación con la concentración de bacterias fue poco relevante.

Palabras clave

Bacterias coliformes, *Salmonella*, calidad sanitaria, moluscos.

Abstract

During May-December (2012) and March (2013) periods, samples of water and mollusks from natural banks were collected from the beaches Tijera, La Mina and Puerto Angel bay, Oax. In addition, the physicochemical parameters as pH, salinity, dissolved oxygen and temperature were measured. Total and Fecal coliforms concentrations in water were 1,100 y 15 NMP*100 ml⁻¹, respectively. On the other hand, the microbiologic contamination in mollusk was assessed by determining the concentrations of coliforms, aerobic mesophilic bacteria and *Salmonella*. The maximum total coliforms bacteria value was 1,200 and the minimum was 27 NMP*100 g⁻¹, meanwhile the maximum fecal coliforms value was 15NMP*100 g⁻¹. Furthermore, the lowest and the highest aerobic mesophilic concentrations were 595 y 331,000 UFC/g, respectively; *Salmonella* was not founded in the whole study and the physicochemicals water variables did not show any variation, so their relation with the bacterial concentration, in this study, is not relevant.

Keywords

Bacterial coliforms, *Salmonella*, sanitary condition, mollusks.

Introducción

La contaminación marina y su marcada influencia en la salud de los ecosistemas costeros está estrechamente relacionada con el aumento creciente de las poblaciones que habitan las zonas costeras, y de igual manera, con el incremento de las actividades domésticas, agrícolas e industriales que, por el mal manejo e inadecuado control de los desechos sólidos y líquidos, afectan el medio marino con significativas implicaciones a nivel ecológico, socioeconómico y de salubridad (Marín *et al.*, 2005). Uno de los problemas sanitarios más críticos en los países de América Latina y el Caribe es la descarga incontrolada de aguas residuales domésticas sin tratamiento. La eliminación inadecuada de excretas, originada por la ausencia o el deficiente sistema de alcantarillado y tratamiento, está asociada a la contaminación del agua y causa numerosas enfermedades tales como: el cólera, la amebiasis, la hepatitis, la fiebre tifoidea y paratifoidea, entre otras (Larrea-Murrell *et al.*, 2013). Sin embargo, el agua residual introducida a los sistemas costeros también constituye un riesgo potencial para la salud humana ya que puede actuar como transmisora de enfermedades gastrointestinales, de la piel y mucosas, pudiendo contraer las dos últimas por contacto primario (Barrera-Escorcía *et al.*, 1999; Moscarella *et al.*, 2010). Asimismo, la contaminación del agua representa un problema para los organismos que ahí habitan. Entre los recursos marinos más impactados sobresalen los moluscos, por su condición de organismos filtradores que bioacumulan, a través del agua, gran cantidad de bacterias patógenas, toxinas y trazas de metales, por lo que son vehículo de la transmisión de toxiinfecciones alimentarias (Graü *et al.*, 2004; González, 2009). Entre las bacterias que se han utilizado como indicadoras de contaminación fecal en moluscos y en agua están los coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF) y enterococos, ya que concentraciones elevadas de estos microorganismos puede indicar la presencia de otros patógenos como virus, bacterias, protozoos, fases enquistadas de parásitos y huevos de metazoarios (Barrera-Escorcía *et al.*, 2013). Las enfermedades asociadas al consumo de agua y alimentos contaminados constituyen, en conjunto, un grave problema de salud pública en el mundo, pues de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud son

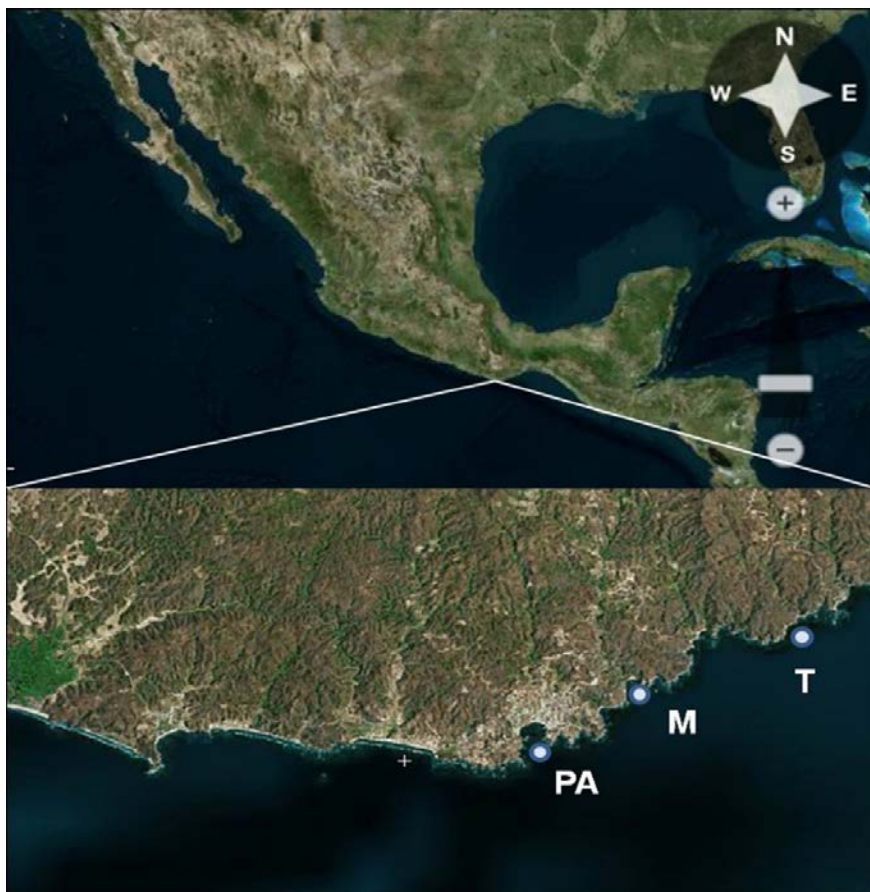
los trastornos de mayor impacto en el rendimiento económico de los países (WHO, 1985). Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar la condición sanitaria del agua y de organismos bivalvos en el área de estudio.

Metodología

Área de estudio

El área de estudio se localiza en la región sureste del litoral oaxaqueño, pertenece al municipio de San Pedro Pochutla y comprende la zona costera entre los sitios denominados: playa Tijera, playa La Mina y bahía de Puerto Ángel (figura 1). Las coordenadas geográficas que delimitan el área son 15°41'13.7" N y 96°26' 25.2" W; 15° 40' 25.9" N y 96° 28' 35.5" W; 15° 39' 45.6" N y 96° 21' 55.1" W (INEGI, 1998). La temperatura media anual en la zona es de 28°C y las temperaturas extremas mínimas y máximas registradas son de 14 y 28°C, respectivamente (Sandoval 1998). El clima de la región es de tipo Aw (w) ing que es un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano de acuerdo a la clasificación de García (1988).

Figura 1
Situación geográfica y localización de las estaciones de muestreo
(PA) Puerto Ángel (M) Playa Mina, (T) Playa Tijera.



Trabajo de campo

Para llevar a cabo la presente investigación, se realizaron colectas de agua y de ostión en los meses de mayo-diciembre (2012) y marzo (2013) (figura 1). Las muestras de agua se tomaron manualmente de la superficie (20 cm de profundidad aproximadamente) en frascos estériles de 500 ml de capacidad. El ostión se colectó en los bancos naturales y en bolsas plásticas a una profundidad entre

6-16 m, mediante el uso de SCUBA y una barreta de acero. Las especies de ostión recolectadas fueron: ostión garra de león (*Myra-keena angelica*), callo de Margarita (*Spondylus calcifer*), y ostión de roca (*Striostea prismatica*).

Simultáneamente a la toma de muestras de agua, se determinaron “*in situ*” los siguientes parámetros físico-químicos: pH, salinidad, oxígeno disuelto y temperatura, utilizando para ello, el equipo multiparámetro Hana HI-9828. Las muestras fueron transportadas en refrigeración al laboratorio y se procesaron de inmediato.

Trabajo de laboratorio

Limpieza de la concha del ostión y remoción de su contenido

Las muestras de ostión fueron lavadas y cepilladas bajo la corriente de agua potable para eliminar el material extraño y la epifauna antes de ser abiertas.

El molusco se abrió dirigiéndolo hacia abajo para coleccionar el líquido intervalvar y la carne en un frasco de boca ancha previamente esterilizado (Secretaría de Salubridad y Asistencia Pública SSA, 1994).

Preparación de la muestra y diluciones decimales

Una vez que se obtuvo el músculo y el licor de los organismos se molieron a máxima velocidad 10 a 12 organismos, posteriormente se pesaron 10 g del homogeneizado y se transfirieron a un matraz Erlenmeyer que contenía 90 ml de agua de peptona al 0.1 %, esto constituye la dilución 1:10. De esta dilución, se tomó 1 ml y se transfirió a un tubo de ensayo con 9 ml de agua de peptona al 0.1 %, se homogeneizó en un vórtex por 30 s, obteniéndose así, la dilución 1:100; esta operación se repitió tantas veces como diluciones fueron necesarias. (NOM-110-SSA1-1994).

Evaluación de bacterias coliformes en muestras de moluscos bivalvos

Las bacterias del grupo coliforme se determinaron siguiendo la metodología estándar del número más probable de tubos múltiples de fermentación con tres diluciones y tres réplicas (NOM-112-SSA1-1994). Se inoculó la muestra en tubos con caldo lactosado y

se incubaron a 35°C por 48 horas. A partir de los tubos positivos, se sembraron otros tubos que contenían caldo bilis verde brillante al 2% y se incubaron a 35°C durante 48 horas. Para la detección de coliformes fecales se inocularon los tubos que contenían caldo E.C., y se incubaron en baño María a una temperatura de 44.5°C por un periodo de 24-48 horas. El número más probable (NMP) de bacterias coliformes totales y fecales se obtuvo mediante tablas estadísticas NOM-112-SSA1-1994.

Determinación de bacterias coliformes en agua

El muestreo para el análisis microbiológico se realizó con base en la metodología de la NOM-230-SSA1-2002. Se determinó y cuantificó la presencia de bacterias coliformes totales y coliformes fecales por el método del sustrato enzimático definido de marca Colilert, con referencia al apéndice informativo A de la NOM-181-SSA1-1998.

Para realizar el análisis microbiológico del agua se tomó una alícuota de 100 ml de muestra y se le adicionó la ampollita contenida en el Kit Colilert; se homogeneizó, y se agregó a un dispositivo Quanta-Tray 2000 estéril; se sellaron las charolas según las indicaciones del fabricante y se incubaron a 35°C por 24 horas. La cantidad de bacterias coliformes totales se determinó utilizando la tabla de conversión proporcionada en el kit. Para cuantificar los coliformes fecales la misma charola utilizada para el análisis de coliformes totales se colocó bajo una lámpara de luz ultravioleta, y las celdas que mostraron fluorescencia se consideraron positivas. Los resultados obtenidos se expresaron como el NMP*100 ml⁻¹ en las muestras analizadas.

Determinación del número de bacterias aerobias mesófilas en muestras de ostión por el Método de Recuento en Placa (CMA) NOM-092-SSA1-1994

A partir de las diluciones 1:10, 1:100 y 1:1000 en agua peptonada se tomó 1 ml de la muestra y se sembró por duplicado en cajas de Petri estériles conteniendo 25 ml de Agar Cuenta Standard. Se mezclaron con movimientos circulares y se dejaron solidificar. Finalmente, se incubaron a 35°C por 24 h. El recuento se efectuó en

las cajas que presentaron de 30-300 unidades formadoras de colonias (UFC).

Aislamiento de salmonella en el ostión

La técnica utilizada es la establecida por la NOM-114-SSA1-1994, Bienes y servicios, NMX-F-304-1997.

Se pesaron 25 g de muestra la cual se transfirió a un vaso de licuadora con 225 ml de caldo lactosado, se homogeneizó y se incubó 24 horas a 37 °C. Transcurrido el periodo de incubación, se tomó 1 ml del cultivo y se adicionó a un tubo de ensayo que contenía 10 ml de caldo tetratiónato y se incubó a 43 °C durante 24 horas. Del cultivo en medio tetratiónato se inocularon por estría 2 cajas Petri con cada uno de los siguientes medios de cultivo: ASB (agar sulfito de bismuto), XLD (agar gilosilina lisina descarboxilato), agar SS (agar *Salmonella-Shigella*) y agar VB (agar verde brillante); y estas se incubaron durante 24 horas a 35 °C y las colonias sospechosas para *Salmonella* se identificaron utilizando pruebas bioquímicas convencionales y el sistema de identificación API 20E Bio-merieux.

Resultados

Evaluación de variables físico-químicas en muestras de agua

Se determinaron las siguientes variables físico-químicas: pH, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. Como se puede observar en la (tabla 1), el valor mínimo de pH encontrado, en el periodo de mayo a septiembre, fue de 7.84 en las localidades de la Mina y bahía de Puerto Ángel. El valor máximo corresponde al mes de julio en playa la Mina. La temperatura del agua durante la realización de este estudio se mantuvo entre 26.77 y 30.05 °C.

Por otro lado, los valores mínimos y máximos de la salinidad del agua que se observaron en los meses de julio de 2012 y marzo de 2013 fueron de 30.9 ups y de 32 ups, respectivamente.

De acuerdo con los registros obtenidos en las mediciones de oxígeno disuelto, éste presentó un valor mínimo de 1.64 mg/l, en el mes de septiembre, y un valor máximo de 9.8 mg/l para el mes de julio.

Tabla 1
Características físico-químicas del agua en el área de estudio.

	2012					2013
Sitios de muestreo	May	Jul	Sep	Oct	Dic	Mar
Playa La Mina						
Temperatura (°C)	28.14	30.05	30.04	29.88	26.77	27.66
pH	7.84	8.27	7.84	7.99	8.10	8.02
Salinidad (ups)	31.68	30.93	31.21	31.44	31.95	31.00
O.D.* (mg/ml)	2.24	5.12	3.70	4.98	3.66	5.38
Playa Tijera						
Temperatura (°C)	28.47	29.52	30.03	30.20	27.10	27.50
pH	8.06	8.14	8.15	7.96	8.06	8.02
Salinidad (ups)	31.68	31.63	30.90	31.46	31.86	31.12
O.D.* (mg/ml)	2.54	9.80	1.64	5.76	5.38	5.05
Bahía de Puerto Ángel						
Temperatura (°C)	N.D.	30.56	30.03	29.52	27.19	26.50
pH	N.D.	8.09	7.84	8.03	7.95	8.05
Salinidad (ups)	N.D.	31.15	30.90	31.47	31.85	31.70
O.D.* (mg/ml)	N.D.	5.40	2.51	3.30	3.66	4.55

* Oxígeno disuelto.

N.D.: No determinado.

Evaluación microbiológica

En la tabla 2, se muestran los resultados obtenidos de las poblaciones bacterianas CT, CF y mesófilas aerobias presentes en muestras de moluscos. Observando que la concentración mínima de bacterias CF determinada en *Striostrea prismatica*, colectada en marzo de 2013 en la Bahía de Puerto Ángel, fue de 24 NMP/100 g⁻¹, mientras que la concentración máxima fue de 460 NMP/100 g, en julio de 2012. Asimismo, se puede observar que la concentración mínima de CF encontrada en *Spondilus calcifer*, fue de 28 NMP/100 g⁻¹, colectado el mes de octubre de 2012 en la playa Tijera, mientras que la concentración máxima observada fue de 1100 NMP/100 g⁻¹, colectadas en los meses de septiembre y diciembre de 2012, de las playas de La Mina y Tijera, respectivamente. Finalmente, para *Myrakeena angelica*, la concentración mínima encontrada de bacterias CF fue de 15 NMP/100 g, colectada de la playa La Mina, en el mes de marzo de 2013, y la concentración máxima observada también fue de 1100 NMP/100 g⁻¹ en especímenes colectados en sep-

tiembre de 2012 de la playa Tijera, y en organismos colectados de las playas Tijera y La Mina en el mes de diciembre. Es importante señalar que, exceptuando los resultados del muestreo realizado en los meses de octubre de 2012 y marzo de 2013, las concentraciones determinadas de las demás muestras rebasaron el límite permitido por la legislación mexicana, que es de 230 NMP/100 g.

Por otro lado, debido a que una forma de evaluar las condiciones de manipulación, el grado de frescura o el estado de descomposición y la calidad sanitaria de los alimentos, es mediante la cuantificación de las bacterias mesófilas aerobias (Flores-Abu-xapqui *et al.*, 1996), se evaluó la presencia y concentración de este tipo de bacterias en las muestras de ostión recolectado en las diferentes playas (tabla 2), y lo que se observó fue que las concentraciones de microorganismos mesófilos aerobios variaron en el intervalo de 331000–595 UFC/g de muestra, en el área estudiada. Además, es importante mencionar que, durante todo el tiempo de muestreo, los valores obtenidos para estas bacterias fueron mucho más bajos respecto al máximo permitido (500,000 UFC/g) por la legislación vigente (NOM-093-SSA1-1994).

Tabla 2
Concentración de bacterias coliformes totales, fecales
y mesófilas aerobias cultivables en muestras de ostión.

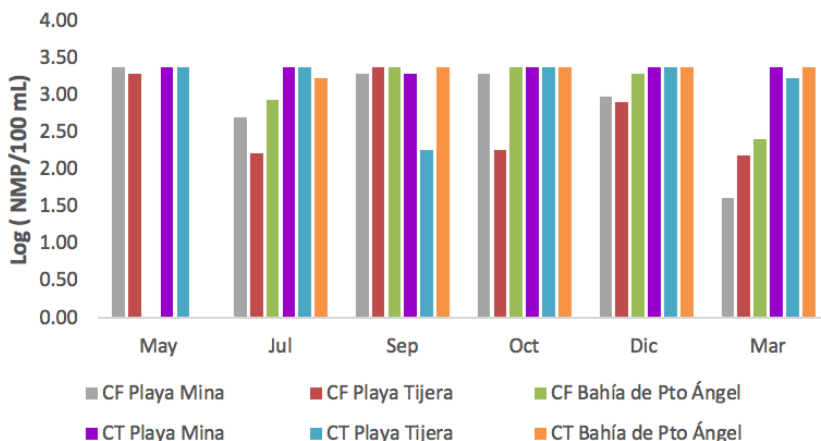
Fecha	Localidad	Especie analizada	Coliformes totales (NMP/100 g)	Coliformes fecales (NMP/100 g)	Mesófilas aerobias (UFC/g)
Mayo 2012	1	<i>S. calcifer</i>	1100	210	4080
	2	<i>M. angelica</i>	≥1100	N.D.	N.D.
	3	<i>S. calcifer</i>	N.D.	420	3700
	4	<i>M. angelica</i>	N.D.	N.D.	N.D.
	5	<i>S. prismatica</i>	N.D.	N.D.	N.D.
Julio 2012	1	<i>S. calcifer</i>	≥1100	240	595
	2	<i>M. angelica</i>	N.D.	N.D.	N.D.
	3	<i>S. calcifer</i>	1100	210	18355
	4	<i>M. angelica</i>	1100	240	1005
	5	<i>S. prismatica</i>	≥1100	460	25390
Sep. 2012	1	<i>S. calcifer</i>	460	460	246000
	2	<i>M. angelica</i>	1100	1100	23100
	3	<i>S. calcifer</i>	1100	1100	25000
	4	<i>M. angelica</i>	1100	460	150500
	5	<i>S. prismatica</i>	N.D.	N.D.	331000
Oct. 2012	1	<i>S. calcifer</i>	28	28	134500
	2	<i>M. angelica</i>	42	42	221500
	3	<i>S. calcifer</i>	N.D.	N.D.	N.D.
	4	<i>M. angelica</i>	28	26	195500
	5	<i>S. prismatica</i>	28	160	331000
Dic. 2012	1	<i>S. calcifer</i>	≥1100	1100	3660
	2	<i>M. angelica</i>	N.D.	1100	2770
	3	<i>S. calcifer</i>	1100	N.D.	N.D.
	4	<i>M. angelica</i>	1100	1100	1830
	5	<i>S. prismatica</i>	240	240	2100
Mar. 2013	1	<i>S. calcifer</i>	160	160	101100
	2	<i>M. angelica</i>	44	44	18000
	3	<i>S. calcifer</i>	N.D.	N.D.	N.D.
	4	<i>M. angelica</i>	27	15	9000
	5	<i>S. prismatica</i>	95	24	214000

Estaciones 1,2: Playa Tijera; 3,4: Playa La Mina; 5: Bahía de Puerto Ángel.
N.D. No determinado.

Por otra parte, en la figura 2 se pueden observar la cantidad de CF y CT encontrados en el agua marina de las tres áreas de muestreo y durante el periodo en que se realizó este trabajo. De acuerdo con la gráfica, en el mes de marzo se obtuvieron las concentraciones menores de CF en el agua colectada en las tres diferentes zonas de estudio. Por otro lado, en playa La Mina la mayor concentración de CF se observó en los meses de septiembre y octubre. Para el agua de playa Tijera, las concentraciones más altas se observaron en los meses de mayo y septiembre mientras que en el agua de la bahía de Puerto Ángel la concentración máxima de CF se obtuvo en los meses de septiembre y octubre. Cabe señalar que, para las tres playas muestreadas, el mes de septiembre coincidió en tener los valores más altos respecto a los resultados obtenidos durante todo el periodo de muestreo.

Por parte la concentración observada de los CT en las tres playas muestreadas, esta fue similar durante todo el periodo muestreo, en donde el único mes en que se observó una reducción de la concentración de CT en agua, fue la de la playa Tijera en el mes de septiembre (figura 2). De acuerdo con lo anterior, es importante señalar que, a excepción del mes de marzo, en las playas La Mina y Tijera, la concentración de las bacterias CF en el agua rebasó los límites permitidos por la legislación mexicana, en cambio el agua de la bahía de Puerto Ángel, estuvo fuertemente contaminada durante todo el periodo de muestreo.

Figura 2
Determinación de coliformes totales y fecales (NMP/100 ml)
en muestras de agua.



Por otro lado, el género *Salmonella* es un patógeno de los más temidos en alimentos, dada su virulencia y habilidad para vivir en gran variedad de condiciones de estrés por largos periodos de tiempo. En la actualidad, se han encontrado más de 2,400 serotipos, de los cuales un número reducido de estos han sido asociados con infecciones humanas. Generalmente, se encuentra en alimentos crudos, especialmente en aquellos de origen animal, o en productos alimenticios preparados, que presentan a esta bacteria por contaminación cruzada, de ahí que éstas sean las principales formas de transmisión del patógeno (González *et al.*, 2009). Por lo anterior, es importante señalar que en la presente investigación no se encontró la presencia de *Salmonella*.

Discusión

Evaluación de variables fisico-químicas en muestra de agua

Con el fin de conocer las características fisicoquímicas del área de estudio, se determinaron el pH, oxígeno disuelto, la temperatura y la salinidad del agua. En la (tabla 1) se muestran los resultados obtenidos en la presente investigación. Respecto al pH, se pudo observar que este parámetro se mantuvo ligeramente básico duran-

te el periodo de muestreo; estas condiciones alcalinas podrían deberse a las mezclas de agua pluvial y a la remoción de sedimento, provocando el incremento en los valores de dicho parámetro (De la Lanza y Cáseres, 1994).

En cuanto a la temperatura del agua en el área de estudio, los valores mínimo y máximo obtenidos fueron 26.77°C y 30.05°C, respectivamente. Esta variable es muy importante ya que influye fuertemente sobre el crecimiento microbiano. Sin embargo, en este caso, la temperatura no fue un valor determinante para el desarrollo de los microorganismos estudiados ya que, durante todo el periodo de muestreo, se encontró dentro de la escala propia para el crecimiento de las bacterias analizadas.

Para el caso de la salinidad, los valores encontrados sugieren que pueden estar relacionados con la época de lluvias y estiaje, ya que al área de muestreo llega agua dulce por medio de escorrentías y arroyos que desembocan en el mar. Además, es importante mencionar que el valor más alto se observó en el mes de marzo, y debido a que en este mes se registran las temperaturas más elevadas, se sugiere que dicho aumento en la concentración de sal pueda deberse al fenómeno de evaporación del agua.

Por último, al correlacionar la concentración de oxígeno disuelto con el crecimiento de las bacterias estudiadas, se sugiere que no fue una variable determinante bajo estas condiciones de estudio, debido a que las bacterias analizadas son bacterias anaerobias facultativas, lo que les permite proliferar en concentraciones muy bajas de oxígeno (Barrera *et al.*, 1999).

Evaluación microbiológica

Para determinar la calidad sanitaria del ostión en la bahía de Puerto Ángel y sitios cercanos, se tomó como referencia los límites permisibles establecidos en la Norma Oficial Mexicana 031-SSA1-1993 (tabla 1-anexo). Con respecto a las bacterias coliformes, tanto totales como fecales, durante todo el periodo de muestreo los valores encontrados fueron superiores a lo que especifica la norma (1100 NMP/100 ml) a excepción del mes de octubre 2012 y marzo 2013. Las altas concentraciones encontradas en estos moluscos representan un serio problema de salud pública, ya que al consumirse crudos o ligeramente cocinados son un riesgo potencial para

adquirir enfermedades gastrointestinales. Las altas concentraciones de este tipo de bacterias, puede deberse al aporte de aguas residuales de pequeñas comunidades ubicadas a la orilla del área de muestreo, así como a la llegada de agua continental al sistema durante la época de lluvias, además de la dinámica oceánica, que durante todo el periodo de muestreo fue muy activa, originando la remoción del sedimento que puede contener altas concentraciones de bacterias, así como la presencia de materia orgánica que coadyuva para la proliferación de dichos microorganismos.

Por otro lado, fue de gran importancia evaluar la presencia y concentración de las bacterias mesófilas aerobias, pues como se mencionó anteriormente, estas representan un indicador del grado de frescura o de descomposición de los alimentos, así como de su calidad sanitaria (Flores-Abuxapqui *et al.*, 1996). La concentración observada estuvo por debajo del límite permisivo por la NOM-092-SSA1-1994 (tabla 2, anexo). Sin embargo, las variaciones que en un determinado momento pudieran ocurrir en cuerpos de agua que cumplan con los parámetros de crecimiento de bacterias mesófilas aerobias, son un reflejo de la variación de la materia orgánica que ingresa o se produce en dichos cuerpos de agua (Téllez *et al.*, 1999).

Por otro lado, es importante mencionar que en este trabajo no se observó la presencia de *Salmonella*, lo cual coincide con lo reportado por Fontánez (2005), quien realizó un estudio en Puerto Rico con *Lucina pectinata* y *Crassostrea rhizophorae*, quien menciona que encontró en algunos puntos de muestreo, baja concentración de este microorganismo, sugiriendo que el método utilizado no fue capaz de detectarlo, debido a los niveles tan bajos de esta bacteria, o que se encontraba en estado viable no cultivable.

Por otra parte, Téllez *et al.* (1999) en una investigación realizada en la laguna Madre de Tamaulipas México, muestran que el análisis de las muestras en busca de *Salmonella* y *Vibrio cholerae* fue negativo, encontrándose ausencia total de estos microorganismos en muestras de agua, ostión fresco y ostión congelado. Estos resultados son similares a los encontrados en el presente estudio.

Conclusiones

Durante la presente investigación, la calidad sanitaria del agua en el área de estudio fue inadecuada para la protección de la vida acuática (flora y fauna), como área de cultivo de moluscos bivalvos y como área de recreación, a excepción del mes de mayo de 2013 para playa La Mina. Con respecto a playa Tijera en los meses de julio, octubre de 2012 y marzo de 2013, los valores de bacterias coliformes fecales estuvieron por debajo de lo que marca la norma para agua de recreación con contacto primario. En el caso de la bahía de Puerto Ángel, durante todo el periodo de muestreo los valores obtenidos para bacterias coliformes rebasaron lo indicado por las leyes mexicanas. De lo anterior, se considera que las condiciones de la playa La Mina y de la bahía de Puerto Ángel han sufrido un deterioro, ya que en el periodo Febrero 2000-Marzo 2001 Huante-González (1997) reportó que solamente en julio y septiembre se rebasaron los límites establecidos por la legislación para el caso de bacterias coliformes fecales.

Las altas concentraciones de bacterias observadas se atribuyen a la entrada de agua continental al sistema, así como, a la dinámica costera, que durante todo el periodo de muestreo se encontró bastante activa, por lo que probablemente, haya algunas corrientes que coadyuvieron a la remoción del sedimento, y por lo tanto, a la proliferación de estos microorganismos, ya que la presencia de materia orgánica favorece su reproducción.

Por otro lado, los niveles de bacterias coliformes totales y fecales detectados en las muestras de ostión no cumplen con los estándares establecidos para el consumo de moluscos bivalvos, representando así, un riesgo para la salud de los consumidores, sin embargo, para el caso de playa Tijera y playa La Mina en los meses de octubre y marzo se cumplieron con las especificaciones de la Norma Oficial correspondiente. Para el caso de la bahía de Puerto Ángel, solamente el mes de marzo estuvo por debajo de lo que indica la norma.

Con respecto a la evaluación de bacterias mesófilas aerobias y al aislamiento de *Salmonella*, los resultados obtenidos indican que, durante todo el monitoreo, estos microorganismos se encontraron por debajo de lo establecido por las Normas Oficiales

Mexicanas. De ahí que se considere que la evaluación de la contaminación microbiológica en el agua y ostión del área de estudio debe monitorearse continuamente por el posible riesgo que representa en la salud humana, no solamente para los consumidores locales, sino también para aquellos a donde se envía el ostión para su venta y consumo, y el peligro es aún mayor cuando estos organismos se consumen crudos o no se cocinan adecuadamente.

Finalmente, el agua utilizada para recreación representa un peligro de adquirir enfermedades por contacto primario, tampoco es apta para el cultivo de moluscos y resulta inapropiada para la flora y fauna que ahí habitan.

Agradecimientos

Esta investigación se realizó con el apoyo financiero de la Universidad del Mar (UMAR) clave: (CUP): 21R1201.

Literatura citada

- American Public Health Association (1980). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*, 15th. Ed. pp. 747-925. E.U.A.: American Public Health Association.
- Barrera-Escorcia, G., Fernández-Rendón C. A., Wong-Chang, Ramírez-Romero P. (2013). La sensibilidad del grupo coliforme como indicador de la presencia de enterobacterias patógenas en cuatro cuerpos acuáticos de México. *Hidrobiológica*, 23(1), 87-96.
- Barrera-Escorcia, G., Wong- Chang, I., Sobrino-Figueroa, A.S., Guzmán-García F. Hernández-Galindo, F. y Saavedra-Villeda, F. (1999). Evaluación microbiológica de la laguna de Tamiahua, Veracruz, en el ciclo 1994-1995. *Hidrobiológica*, 9(2), 125-134.
- Cofepris (2010). Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. Documentos. Lineamientos. Recuperado de: <http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Documents/LineamientosAC2010.pdf>.
- De la Lanza, E.G. y Cáseres, M.C. (1994). *Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano*. México: UABC-UNAM.
- Fontánez, Y. (2005). Determinación del perfil microbiológico de la almeja (*Lucina pectinata* Gmelin, 1791) de ostión de mangle (*Crassostrea rhizophorae* Guilding, 1828) y las aguas de extracción de bivalvos en la zona suroeste de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. (Tesis de maestría). Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. Puerto Rico.
- Flores-Abuxapqui, J.J., Suárez-Oil, G., Heredia-Navarrete, M.R., y Franco-Monreal, J. (1996). Calidad Microbiológica de los alimentos marinos en la Ciudad de Mérida, Yucatán. *Veterinaria México*, 27(4), 319-324.

- Food and Drug Administration (1995). *Bacteriological Analytical Manual*. 8th. Arlington, VA: AOAC.
- García, E. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. México: Offset Larios.
- González, M., Graü, C., Villalobos, L.B., Gil, H., Vazquez-Suárez, A. (2009). Microbiological quality of the oyster *Crassostrea rhizophorae* and extraction waters, Sucre State, Venezuela. *Revista Científica* 19(6), 659-666.
- Graü, C., La Barbera, A., Zerpa, A., Silva, S. y Gallardo, O. (2004). Aislamiento de *Vibrio* spp. y Evaluación de la condición sanitaria de los moluscos Bivalvos *Arca zebra* y *Perna perna* de la costa Nororiental del Estado de Sucre. Venezuela. *Revista Científica* 24 (6).
- Huante-González, Y. (1997). Contaminación Biológica de la Bahía de Puerto Ángel, Oaxaca. *Ciencia y Mar*. 1(2):38-43 pp.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) (1998). Carta hidrográfica de aguas superficiales. Puerto Escondido N° d14-3.
- Larrea-Murrey, J. A., Rojas-Badía, M. M., Romeu-Álvarez, B., Rojas-Hernández, N. M. y Heidrych-Pérez, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas; revisión de la literatura. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 44 (3), 24-34.
- Marín, C., Fonseca, C., Sidey A., Villegas, I., García, A. & Hikaru I. (2009). Carga bacteriana de los peces *Cynoscion squamipinnis* (Perciformes: Scianidae) y *Lujanus gutattus* (Perciformes: lujanidae) en la cadena de comercialización, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 57 (1-2), 45-52.
- Marín, B., Garay, J., Ramírez, G., Betancourt, J., Troncoso, W. y Gómez, M. L. (2005). Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia. Diagnóstico Nacional y Regional. 2004. INVEMAR; 2004^a.
- Moscarella, M.V., García, F. & Palacio, C. (2010). *Microbiological Water Quality of Santa Martha Bay*. Colombia. *DYNA*, 78(167), 132-141.
- NMX-F-304-1997. General Research Method for the Determination of *Salmonella* in Foods. NORMAS Mexicanas. Dirección General de Normas.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-112-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-110-SSA1-1994, Bienes y Servicios. Preparación de diluciones de muestras de alimento para su análisis microbiológico.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-230-SSA1-2002, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-031-SSA1-1993. Bienes y Servicios. Moluscos bivalvos frescos refrigerados y congelados.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-181-SSA1-1998. Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Requisitos sanitarios que deben cumplir las sustancias germicidas para tratamiento de agua de tipo doméstico.

- Norma Oficial Mexicana. NOM-092-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-114-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Método para la determinación de Salmonella en alimentos.
- Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-242-SSA1-2005. Productos de la pesca frescos, refrigerados y congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y método de prueba. México. Diario Oficial de la Federación, mayo 16, 1994.
- Sandoval, D. G. (1998). Estudio de las comunidades bentónicas en la zona rocosa litoral y sublitoral de localidades en Bahías de Huatulco, Oaxaca. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Secretaría de Salubridad y Asistencia Pública (SSA). (1994). Laboratorio nacional de salud pública. Manual de procedimientos para el análisis bacteriológico de Moluscos Bivalvos. México.
- Téllez, S.J., Oliva, M., Ramírez de León, J.A. & Vázquez, M. (1999). Evaluation of microbiological quality of oyster from "La Laguna Madre" of Tamaulipas (México). *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 2(3), 152-157. Doi: 10.1080/11358129909487597.
- World Health Organization (1985). *Manual of the International Statistical classification of Diseases. Injuries and Cause of Death*. Argentina.

Anexo

Tabla 1
Especificaciones microbiológicas permitidas
por la NOM-031-SSA1-1993 y PRY-NOM-242-SSA-1-2005.

Mesófilos aerobios	500,000 UFC/g
Bacterias coliformes en carne más líquido intervalvar	230 NMP/100g
<i>Salmonella</i> spp.	Ausente en 25 g
<i>Vibrio cholerae</i> 01 toxigénico	Ausente Tox en 50 g

Tabla 2
Criterio de la calidad bacteriológica para clasificar las playas
de uso recreativo con contacto primario (COFEPRIS, 2010).

NMP/100ml	Calidad bacteriológica del agua de mar
0-40	Limpio sin riesgo sanitario.
41-200	Aceptable
201-500	No recommendable
> 500	Riesgo sanitario

Fitoplancton y su relación con la concentración de clorofila y nutrientes en la parte central de la costa de Oaxaca

*Phytoplankton and its relationship
with the concentration of chlorophyll and nutrients
in the central part of the coast of Oaxaca*

Miriam Hueytletl-Pérez¹

Aramis Olivos-Ortiz^{2*}

Sonia Isabel Quijano-Scheggia²

Carlos Augusto Zenteno-Palma²

Ivonne Sandra Santiago-Morales¹

Saúl Jaime Serrano-Gúzman¹

Yolanda Huante-González¹

Gustavo Oviedo-Piamonte¹

María de los Ángeles Horta-García¹

¹ Universidad del Mar, Campus Puerto Ángel, Ciudad Universitaria, Puerto Ángel, San Pedro Pochutla, C.P. 70902, Oaxaca, México.

² Centro Universitario de Investigaciones Oceanológicas, Universidad de Colima. Carretera Manzanillo-Barra de Navidad Km. 20, Col. El Naranjo, C.P. 28860, Manzanillo, Colima, México. *aolivos@ucol.mx.

Resumen

De enero a junio de 2015 se determinó mensualmente la abundancia fitoplanctónica, concentración de clorofila (*clo-a*), el biovolumen y los nutrientes inorgánicos disueltos ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3$, NH_4 , PO_4 , SiO_2) a 5 y 10 m en siete estaciones de la costa central de Oaxaca: Puerto Escondido (PE), Santa Elena (SE), Puerto Ángel (PA), Tijera (TJ), Salchi (SL), La Colorada (CL) y La Ventosa (VN). El objetivo fue determinar zonas de mayor productividad relacionadas con condiciones regionales como vientos “tehuanos”, corrientes o zonas de surgencias. Las estaciones del centro del Golfo de Tehuantepec (GT) (CL y VN) presentaron alta concentración de nutrientes debido a la influencia de los Tehuanos de enero a marzo, lo que generó altas abundancias de 3.10×10^5 cél/l (5 m) y 1.06×10^5 cél/l (10 m), una *clo-a* máxima de 1.56 $\mu\text{g/l}$ (5 m) y 1.94 $\mu\text{g/l}$ (10 m), con biomásas máximas de 33.13 $\mu\text{gC/l}$ (5 m) y 51.73 $\mu\text{gC/l}$ (10 m). Las estaciones fuera del GT (PE y SE) presentaron las mayores abundancias en marzo-abril, asociadas a la influencia de la corriente de California, con abundancias máximas de 3.50×10^5 cél/l (5 m) y 2.11×10^5 cél/l (10 m), máximos de *clo-a* de 1.52 $\mu\text{g/l}$ (5 m) y 0.47 $\mu\text{g/l}$ (10 m), con biomásas máximas de 49.26 $\mu\text{gC/l}$ (5m) y 35.56 $\mu\text{gC/l}$ (10m). Se registraron siete géneros potencialmente generadores de florecimientos algales nocivos (FAN). Se concluye que las estaciones centrales del GT presentan las mayores abundancias fitoplanctónicas, concentración de *clo-a* y nutrientes debido a la influencia de los Tehuanos que generan surgencias locales.

Palabras clave

Abundancia fitoplanctónica, biovolumen, *clo-a*, Oaxaca, tehuanos.

Abstract

From January to June 2015 phytoplankton abundance, chlorophyll (*clo-a*), biovolumen and dissolve inorganic nutrients ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3$, NH_4 , PO_4 , SiO_2) were determinate monthly in the central coast of Oaxaca, Mexico at 5 and 10 m in seven sampling stations: Puerto Escondido (PE), Santa Elena (SE), Puerto Ángel (PA), Tijera (TJ), Salchi (SL), La Colorada (CL) y La Ventosa (VN). The objective was to identify zones of higher productivity related to general conditions such “Tehuans” winds, currents or upwelling zones. The stations located in the center of the Gulf of Tehuantepec (GT) (CL y VN) presented high concentratio of nutrients due to the influence of Tehuanos from January to March, which resulted in high abundances up to 3.10×10^5 cél/l (5 m) and 1.06×10^5 cél/l (10 m), a maximum *clo-a* of 1.56 $\mu\text{g/l}$ (5 m) y 1.94 $\mu\text{g/l}$ (10 m), with maximum biomass of 33.13 $\mu\text{gC/l}$ (5 m) and 51.73 $\mu\text{gC/l}$ (10 m). Stations outside of GT

(PE and SE) recorded the highest abundances in March-April, associated with the influence of the California current, with maximum abundances of 3.50×10^5 cél/l (5 m) and 2.11×10^5 cél/l (10 m), maximum clo-*a* of 1.52 µg/l (5 m) and 0.47 µg/l (10 m), with maximum biomass of 49.26 µgC/l (5 m) and 35.56 µgC/l (10 m). It was recorded presence of seven genera potentially producers of Harmful Algal Blooms. It is concluded that the central stations of the GT present the highest phytoplankton abundance, concentration of clo-*a* and nutrients due to the Tehuanos winds that generate local upwellings.

Keywords

Phytoplankton abundance, biovolume, clo-*a*, Oaxaca, tehuanos

Introducción

El Pacífico oriental tropical alberga al Golfo de Tehuantepec (GT) en la zona costera del estado de Oaxaca que se clasifica como un sistema de baja productividad (Lara-Lara *et al.*, 2008). Sin embargo, el GT presenta condiciones que permiten el incremento de la velocidad de los vientos (alisios) en la temporada de secas (noviembre-mayo), llegando a alcanzar velocidades de 25 m/s, con una mayor influencia de enero a marzo (Trasviña y Barton, 1997). Estos vientos del norte, llamados “tehuanos”, son de los factores externos que propician la generación de surgencias costeras locales que provocan el afloramiento de aguas profundas con temperaturas bajas y ricas en nutrientes (Chapa-Balcorta *et al.*, 2015). Otro factor dinámico que fertiliza la región oaxaqueña se relaciona con la influencia de la corriente de California entre octubre y mayo (Limoges *et al.*, 2010). Estas condiciones hidrodinámicas de la región, junto con las condiciones fisicoquímicas y disponibilidad de nutrientes, son algunos de los factores que afectan la composición y zonación de las poblaciones de fitoplancton (Reynolds, 2006).

La biomasa fitoplanctónica es la responsable de más del 45% de la producción primaria neta del planeta, siendo base de las redes tróficas acuáticas, además de fungir como un indicador de la calidad del agua (Falkowski *et al.*, 2004). La clorofila (clo-*a*), principal pigmento fotosintético de ambientes terrestres y marinos, es un constituyente distintivo con una distribución universal entre algas y cianobacterias fotoautotróficas, por lo que se usa como ín-

dice de la biomasa de fitoplancton, que permite extrapolar su concentración a abundancia/productividad de fitoplancton (Reynolds, 2006). Debido a las condiciones hidrodinámicas que rigen la costa oaxaqueña, el objetivo de esta investigación fue identificar zonas de mayor productividad en base a la determinación de la abundancia fitoplanctónica y su posible relación con la concentración de *clo-a* y abundancia de nutrientes entre enero-junio de 2015.

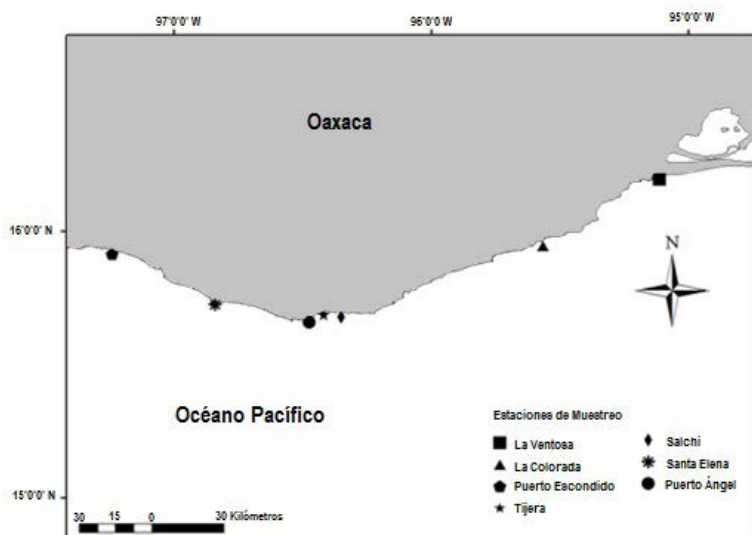
Metodología

Mensualmente se colectaron muestras de agua para nutrientes inorgánicos disueltos (100 ml), clorofila (1 L) y fitoplancton (1 L) con una botella Van Dorn a 5 y 10 m de profundidad entre enero-junio de 2015 en siete estaciones: Puerto Escondido (PE), Santa Elena (SE), Puerto Ángel (PA), La Tijera (TJ), Salchi (SL), La Colorada (CL) y La Ventosa (VN) (tabla 1-anexo). Las primeras dos estaciones están ubicadas fuera de los límites geográficos del GT, el resto dentro del mismo. La diversidad de fitoplancton se determinó según Utermöhl (1958) usando una columna de sedimentación de 50 ml. La *clo-a* se obtuvo según Strickland y Parsons (1972). Los nutrientes inorgánicos ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$, NH_4 , PO_4 y SiO_2) mediante un autoanalizador de flujo segmentado Skalar San Plus II de acuerdo a Strickland y Parson (1972) y Grasshoff *et al.* (1983). La biomasa de carbono celular ($\mu\text{gC/l}$) con el biovolumen de las células según Hillebrand *et al.* (1999), midiendo al menos, 25 células al azar de cada género y/o especie más abundante y de 10-15 células para el resto (Almandoz *et al.*, 2011); después se estimó el contenido de carbono celular usando las razones Menden-Deuer y Lessard (2000) para diatomeas y otros grupos de plancton.

Se ejecutó la prueba Kruskal-Wallis (no paramétrica) usando el software STATISTICA 7 para determinar diferencias significativas entre distintas variables y un análisis de correlación de Spearman, estandarizando previamente las variables ($v' = \log(v + 1)$). Con el software PRIMER 6 se hizo un escalamiento multidimensional (MDS); estandarizando previamente los datos: variables ambientales $v' = \log(v + 1)$ y variables bióticas $v' = v + 1$. Para este estudio se dividieron los resultados en temporada de invierno (enero-

marzo) y primavera (abril-junio), así como en secas (enero-marzo) y lluvias (junio).

Figura 1
Estaciones de muestreo en la costa oaxaqueña.



Resultados

Parámetros fisicoquímicos

La temperatura mostró tendencia estacional con los valores bajos en enero y febrero de 20.2 °C (VN-enero) aumentando hacia mayo y junio, con los valores altos de 31 °C (CL5-junio), 31.4 °C (CL5-mayo) y 31.7 °C (CL10-junio), encontrando diferencias significativas entre los meses de mayo y junio respecto a enero, febrero y marzo ($p < 0.05$). La salinidad en ambas profundidades osciló entre 34 y 36, manteniéndose generalmente en 35, sin diferencias significativas entre las estaciones de lluvias y secas ($p > 0.05$).

El oxígeno disuelto (OD) osciló entre 4.26 mg/l a 8.4 mg/l, con los menores valores en mayo y junio, encontrando diferencias significativas entre invierno y primavera ($p < 0.05$) y, entre secas

y lluvias ($p < 0.05$). El pH presentó variaciones entre 7.79 a 8.49, siendo significativamente diferente el mes de febrero respecto a mayo y junio ($p < 0.05$).

Fitoplancton

Las estaciones con mayor abundancia de fitoplancton fueron PE5 (3.50×10^5 cél/l, marzo), CL5 (3.10×10^5 cél/l, marzo) y VN5 (2.80×10^5 cél/l, febrero), todas a 5 m. La mayor abundancia registrada a 10 m fue en PE10 con 2.11×10^5 cél/l en abril. Espacialmente, únicamente fue significativa la diferencia entre PA y CL ($p < 0.05$), y temporalmente junio respecto a enero y febrero ($p < 0.05$) (figura 2). PE5 y CL5 presentaron la mayor abundancia en marzo con 3.50×10^5 cél/l y 3.10×10^5 cél/l, respectivamente, en ambas los nanoflagelados fueron el grupo más representativo con 48.62% y 79.59%. VN5 registró en febrero una abundancia máxima de 2.80×10^5 cél/l, dominando las diatomeas (66.16%). Por otro lado, PA5 registró las abundancias más bajas, no presentando cambios sustanciales en el semestre con valores bajo las 2.00×10^4 cél/l. En las estaciones de PA, SL, CL y VN (dentro del GT) se observó la presencia de dos máximos de abundancia fitoplanctónica: 1) febrero-marzo; 2) mayo.

Estadísticamente, con la técnica MDS, se observó el agrupamiento de las variables bióticas a 5 m para la temporada de secas, presentando las mayores biomásas de carbono ($\mu\text{gC/l}$), con excepción de CL5 mayo (lluvias) (figura 1-anexo), ésta se recolectó en las fechas límite entre temporadas. Asimismo, se encontró una diferencia significativa de la abundancia fitoplanctónica entre invierno y primavera ($p < 0.05$) entre lluvias y secas ($p < 0.05$). Se registró una relación negativa entre el fitoplancton y la temperatura ($p = -0.47$), y una positiva con el OD ($p = 0.34$) y pH ($p = 0.27$).

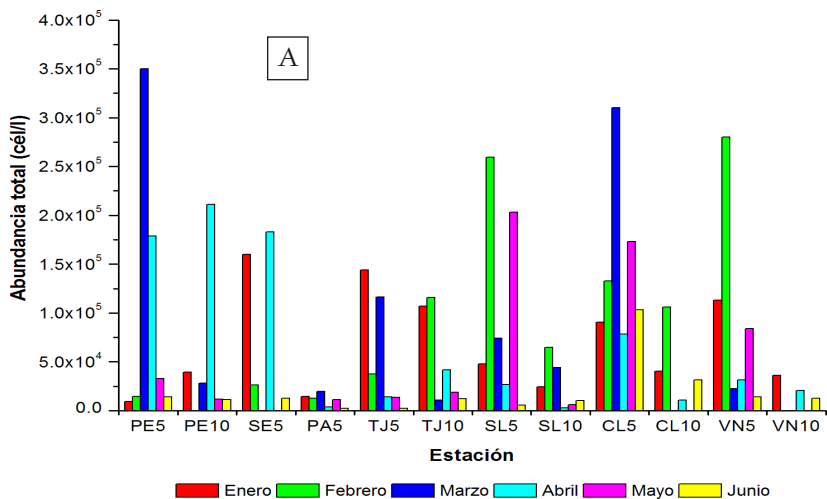
Por otro lado, se encontraron siete géneros asociados a la formación de FAN: *Chaetoceros*, *Scripsiella*, *Peridinium quadridentatum*, *Dyctiocha* (*D. californica*, *D. fibula* y *D. octonaria*), *Pseudo-nitzschia*, *Dinophysis* (*D. caudata*) y *Prorocentrum* (*P. micans* y *P. gracile*), éste último fue el género de dinoflagelados más recurrente en las muestras.

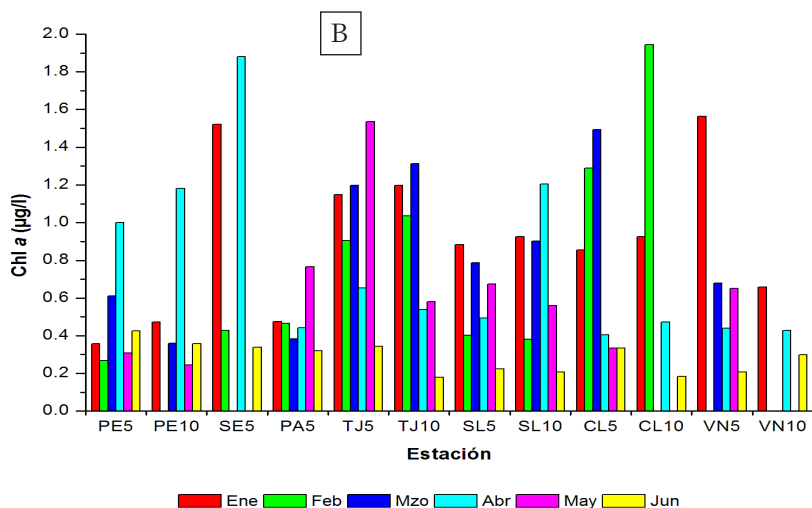
Clorofila

Las mayores concentraciones de *clo-a* se encontraron entre enero-marzo, y los valores más bajos en junio (excepto en PE con las concentraciones más bajas en febrero y mayo), no superando los 0.42 $\mu\text{g/l}$. Fue significativa la diferencia entre invierno y primavera y entre lluvias y secas ($p < 0.05$) (figura 2). Las estaciones CL y VN, pertenecientes al GT, presentaron mayor concentración de *clo-a* en el periodo enero-marzo con valores oscilando entre 0.66 a 1.94 $\mu\text{g/l}$. En cambio, PE y SE, fuera del GT, registraron los mayores valores en abril, oscilando entre 1.00 a 1.88 $\mu\text{g/l}$. En la tabla 2-anexo se muestra el rango de valores *clo-a* encontrado en las estaciones.

Figura 2

Abundancia total de fitoplancton (A) y concentración de *clo-a* (B) en las diferentes localidades y profundidades. PE5/10) Puerto Escondido 5 m/10 m; SE5) Santa Elena 5 m; PA5) Puerto Ángel 5 m; TJ5/10) Tijera 5 m/10 m; SL5/10) Salchi 5 m/10 m; CL5/10) Colorada 5 m/10 m; VN5/10) Ventosa 5 m/10 m.





Nutrientes

En todas las estaciones, el NH_4 presentó concentraciones bajas, no superando los $0.45 \mu\text{M}$ en ambas profundidades. De manera general se registró mayor concentración de $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$ y SiO_2 que de PO_4 y NH_4 (figura 3). No se observó tendencia en la concentración de $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$ entre las estaciones ($p > 0.05$). Los mayores valores se registraron en SE5-junio con $20.5 \mu\text{M}$, VN-enero con $19.5 \mu\text{M}$ (5 m) y $19.1 \mu\text{M}$ (10 m) y, CL10-febrero con $16.6 \mu\text{M}$. Los menores valores en VN5-mayo con $4.9 \mu\text{M}$ y CL10-enero/junio con $5.4 \mu\text{M}$. Los $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$ presentaron una correlación positiva con los SiO_2 ($p = 0.51$) y la salinidad ($p = 0.25$), y una negativa con la temperatura ($p = -0.31$).

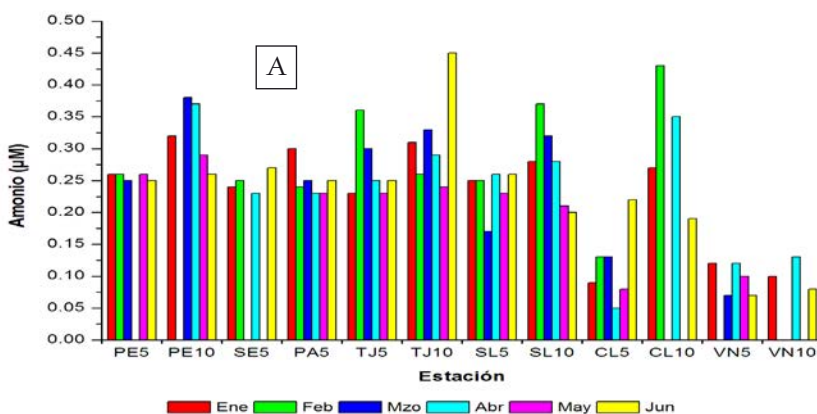
Las menores concentraciones de NH_4 se registraron en CL5-abril con $0.05 \mu\text{M}$, VN5-marzo/junio con $0.07 \mu\text{M}$ y VN10-enero/junio con $0.10 \mu\text{M}$ y $0.08 \mu\text{M}$, respectivamente. Las estaciones restantes presentaron valores superiores a $0.17 \mu\text{M}$, con los máximos en TJ $0.36 \mu\text{M}$ (5 m) y $0.45 \mu\text{M}$ (10 m). En términos generales, el NH_4 presentó correlación positiva con el pH ($p = 0.26$) y el OD ($p = 0.33$), y negativa con los PO_4 ($p = -0.31$). Los PO_4 no superaron $3.77 \mu\text{M}$, con los mayores valores en CL5-marzo/enero (3.77

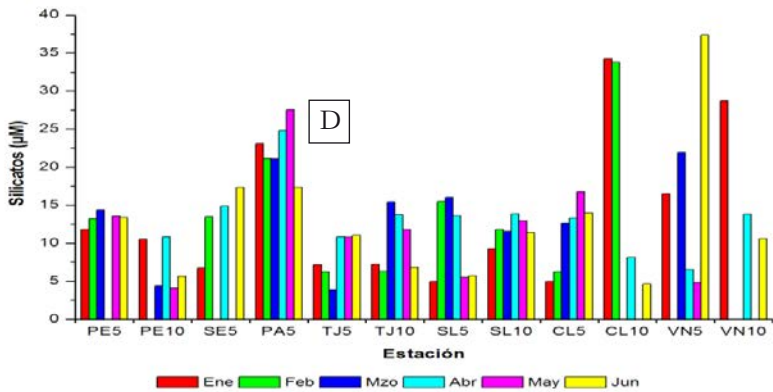
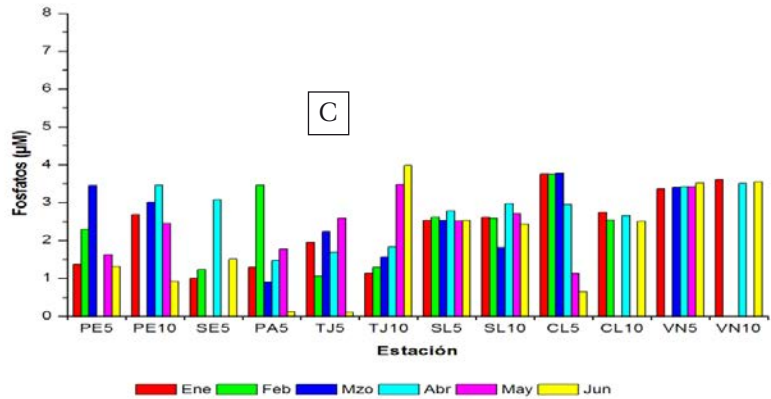
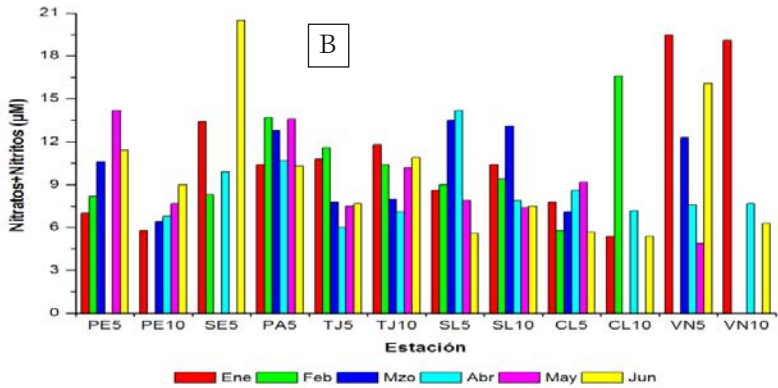
μM /3.75 μM), TJ10-junio (3.98 μM) y VN10-enero (3.60 μM). Se registraron los mínimos valores en PA5-junio (0.12 μM), TJ5-junio (0.10 μM) y PE10-junio (0.92 μM). Se encontró diferencia significativa de VN respecto PA y TJ ($p < 0.05$). Los PO_4 presentaron correlación positiva con diatomeas ($p = 0.28$) y negativa con el pH ($p = -0.27$).

Las altas concentraciones de SiO_2 fueron VN5-junio (37.37 μM), PA5-mayo (27.53 μM), CL10-enero/febrero (34.21 μM /33.81 μM), y VN10-enero (28.72 μM), sólo hubo diferencias significativas entre PA respecto a PE, TJ y SL ($p < 0.05$). Los menores valores se encontraron en VN5-mayo (3.94 μM) y PE10-mayo (4.12 μM). Hubo diferencia significativa en su concentración entre lluvias y secas ($p < 0.05$).

La razón estequiométrica N:P mostró que $\sim 87\%$ de los datos presentaron razón N:P < 10 . En cambio, $\sim 10\%$ presentó una razón N:P ≥ 10 y el $\sim 3\%$ con razones N:P ≥ 70 .

Figura 3
Concentración de $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$ (A), NH_4 (B), PO_4 (C) y SiO_2 (D)
en las estaciones
a lo largo del semestre en ambas profundidades.





Discusión

Parámetros fisicoquímicos

La salinidad no presentó un patrón estacional significativo ($p > 0.05$), con concentraciones alrededor de 35, contrario a lo reportado por Tapia-García *et al.* (2007) quienes reportan valores bajos durante lluvias y más altos en secas. Sin embargo, concuerda con el patrón de temperatura encontrado por estos autores de valores más altos en lluvias, registrando en el presente estudio los máximos en mayo/junio de 31-31.7°C (CL), y bajas temperaturas en enero/febrero (secas) con un mínimo de 20.2°C (VN-enero), valores menores a los exhibidos en el resto de estaciones del mismo mes, con una diferencia de hasta 7.9°C en PE durante enero (28.05°C), siendo significativa la diferencia entre secas y lluvias ($p < 0.05$). Lo anterior se atribuye a la entrada de agua fría de las surgencias, coincidiendo con Chapa-Balcorta *et al.* (2015) que reportan un descenso de hasta 8°C en el centro del GT por estos eventos.

El OD y el pH presentaron correlación positiva ($p = 0.56$) a ambas profundidades con menores valores en mayo y junio, lo que se relaciona con la fijación biológica del CO₂ mediante la fotosíntesis, liberando como subproducto OD (Libes, 2009). El CO₂ en conjunción con el H₂O genera ácido carbónico (H₂CO₃), entre otros iones (Riebesell y Wolf-Gladrow, 2002), por lo tanto una alta asimilación de CO₂ inhibe la liberación de iones H⁺ y se genera un pH ligeramente más básico. Se encontró una correlación negativa del pH ($p = -0.34$) y OD ($p = -0.70$) respecto a la temperatura, lo que se asoció a tres causas: 1) a temperaturas altas se encontró una menor abundancia fitoplanctónica, indicio de menor actividad fotosintética (menor fijación de CO₂) y un decremento en el pH; 2) en capas superficiales la variación del OD se asocia a cambios de temperatura lo cual causa una variación en la saturación (De la Lanza-Espino, 1991); 3) los eventos de surgencia provocan entrada de aguas de fondo más frías, bajo OD y pH más ácido debido a altos contenidos de CO₂ y formación de H₂CO₃ por ausencia de fijación fitoplanctónica (Chapa-Balcorta *et al.*, 2015).

Fitoplancton y clorofila

Espacialmente las concentraciones de CL y VN localizadas en la parte central del GT, zona afectada por los nortes, presentaron mayores abundancias, lo que se relaciona con la temporada de “Tehuano” entre noviembre-mayo (Chapa-Balcorta *et al.*, 2015), caracterizada por el aumento de la velocidad de los vientos alisios alcanzan hasta 25 m/s; generando surgencias costeras que provocan un rompimiento de la estratificación y afloramiento de aguas profundas con temperaturas bajas y ricas en nutrientes, con un área de influencia de 200 km de ancho y 500 km (Trasviña y Barton, 1997; Chapa-Balcorta *et al.*, 2015). Lo anterior explica el gradiente de disminución hacia el extremo oeste del GT (PA5), que presentó un rango de abundancias bajas a lo largo del semestre (2.32×10^3 cél/l, junio a 1.95×10^4 cél/l, abril), debido a la menor incidencia de los vientos favoreciendo la estratificación de la columna de agua.

En el límite oeste del GT (PA5) la abundancia incrementó hacia SE5 (1.83×10^5 cél/l, abril) y PE (3.50×10^5 cél/l PE5-marzo y 2.11×10^5 cél/l en PE10-abril) con máximos en marzo/abril y para clo-*a* y biomasa en abril. Lo cual se asoció a la influencia de la corriente de California de octubre a mayo como lo reporta Limoges *et al.* (2010), encontrando un aumento de la abundancia respecto a los meses de mayor intensidad de la corriente (febrero a abril) (De La Lanza-Espino, 1991). Lo anterior concuerda con la tendencia de la clo-*a* mencionada por López-Sandoval *et al.* (2009) con valores más altos en marzo-abril, decreciendo de mayo a junio en la zona de cabo Corrientes, así como con el incremento de la abundancia fitoplanctónica durante abril del 2010 reportado por Olivos-Ortiz *et al.* (2016) en zonas costeras de Colima; debido a que estas zonas se encuentran influenciadas por condiciones hidrodinámicas similares.

De enero a marzo, meses de mayor influencia de los tehuano, las estaciones de CL y VN (GT) reportaron un rango de clo-*a* entre 0.66 µg/l y 1.94 µg/l, con diferencias significativas entre invierno y primavera ($p < 0.05$ en CL y VN). En contraste, para el mismo periodo los valores de PE (fuera del GT) oscilaron de 0.27 µg/l a 0.61 µg/l, es decir, la mayor concentración entre enero-marzo en esta zona no alcanzó el mínimo valor reportado en la CL y

VN, evidenciando la marcada diferencia entre estas zonas límite del área de estudio. Lo anterior coincide con la tendencia espacial de incremento dirección norte-sur de la concentración de *clo-a* y producción primaria (PP) en el Pacífico mexicano de enero-febrero 1999 encontrado por Lara-Lara y Bazán-Guzmán (2005) debido a una mayor influencia de la corriente de California que genera el levantamiento de aguas de fondo más productivas.

La tendencia temporal del fitoplancton y de la *clo-a* fue similar, apoyado por la correlación positiva encontrada entre estas variables ($p=0.49$). Las mayores concentraciones ($1.88 \mu\text{g/l}$ en SE5-abril y $1.94 \mu\text{g/l}$ en CL10-febrero) se presentaron en ambas profundidades de enero a mayo (temporada de secas/nortes), y los menores valores ($0.21 \mu\text{g/l}$ en VN5 y $0.18 \mu\text{g/l}$ en TJ10 y CL10) en junio (lluvias), no superando los $0.42 \mu\text{g/l}$, siendo significativa la diferencia entre temporadas ($p<0.05$). Lo anterior concuerda con Aguirre-Gómez y Salmerón-García, (2007) que a partir de imágenes satelitales registran aumento de *clo-a* como consecuencia de surgencias en el GT entre diciembre-febrero, que al igual que en este trabajo descendió hacia junio, coincidiendo con Lara-Lara *et al.* (1998) sobre los valores bajos de Chl y PP que presenta el GT fuera de la temporada de nortes. Por otra parte, la menor abundancia fitoplanctónica y de *clo-a* hacia junio concuerda con la correlación negativa encontrada entre ésta y la temperatura ($p=-0.47$ y $p=-0.63$), pues según Acosta-Chamorro *et al.* (2016) el crecimiento de fitoplancton disminuye ante incrementos de temperatura, aunado a que en éste mes ya no hay presencia de la corriente de California (Limoges *et al.*, 2010) ni surgencias a causa de tehuanos (Chapa-Balcorta *et al.*, 2015) generándose una estratificación de la columna de agua, por lo que la *clo-a* fue relativamente homogénea entre estaciones durante este mes. En el GT, la abundancia de fitoplancton presentó dos picos temporales, uno de febrero-marzo que concuerda con la mayor concentración de *clo-a* y biomasa ($\mu\text{gC/l}$) atribuible a los tehuanos que están presentes de noviembre a mayo, con mayor influencia de enero a marzo (Chapa-Balcorta *et al.*, 2015). El segundo pico en mayo el cual pudo estar dado por el mismo fenómeno pero de menor escala, pues se ha reportado impulso a la la dinámica y productividad por este tipo

de pulsos climáticos en la zona, con máximos en febrero/marzo seguido de abril/mayo (Owen y Zeitzschel, 1970).

Los grupos fitoplanctónicos mejor representados en la zona de estudio fueron las diatomeas y los dinoflagelados, siendo las diatomeas las más importantes en términos cuantitativos (cél/l), pero los dinoflagelados los más representativos en cuanto a biomasa ($\mu\text{gC/l}$) debido a que estos son significativamente más densos de carbono que las diatomeas (Menden-Deuer y Lessard, 2000) debido a su menor biovolumen. Fuera del GT de enero-abril y mayo-junio, respectivamente, los resultados de este trabajo son similares a lo reportado por Hernández-Becerril *et al.* (2015) con mayores densidades de diatomeas en invierno y principios de primavera, así como en el área de Baja California/California (Hernández-Becerril *et al.*, 2007) y en costas de Colima en el 2010 (Olivos-Ortiz *et al.*, 2016). Lo anterior porque las diatomeas prefieren temperaturas bajas y regiones donde los nutrientes sean suministrados en pulsos de alta frecuencia, como son las zonas de surgencias, en cambio, los dinoflagelados son más abundantes en medios cálidos y regiones de baja turbulencia (Falkowski *et al.*, 2004; Glibert, 2016). La sucesión de las diatomeas de enero-febrero (diatomeas pennadas) a marzo-junio (céntricas) se asocia a la morfología de los organismos, así como a las condiciones de mezcla y turbulencia presentes en las estaciones (Tomas, 1997).

La biomasa de carbono celular a partir de concentración de *clo-a* y de la abundancia celular fue similar. En las estaciones fuera del GT los mayores valores se registraron en abril, lo que se asocia a la influencia de la corriente de California (Limoges *et al.*, 2010) con un máximo de $49.26 \mu\text{gC/l}$ (SE5-abril) y un mínimo de $3.04 \mu\text{gC/l}$ (SE5-febrero). Dentro del GT se presentaron los valores más altos de enero a marzo, coincidiendo con el lapso de mayor influencia de los vientos tehuanos (Chapa-Balcorta *et al.* 2015), con una biomasa máxima de $33.13 \mu\text{gC/l}$ (VN5-febrero).

Nutrientes

No se observó una tendencia definida de manera temporal ($p > 0.05$) ni espacial ($p > 0.05$) en la concentración de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$, los mayores valores se registraron en SE5-junio ($20.5 \mu\text{M}$), VN5-enero ($19.5 \mu\text{M}$), VN10-enero ($19.1 \mu\text{M}$), CL10-febrero ($16.6 \mu\text{M}$) y las menores

en VN5-mayo ($4.9 \mu\text{M}$) y CL10-enero/junio ($5.4 \mu\text{M}$). Por otro lado, sin tomar en cuenta la profundidad, los $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$ mostraron una correlación positiva con los SiO_2 ($p=0.51$) y una negativa con la temperatura ($p=-0.31$), lo anterior se asocia a su fijación biológica pues se ha reportado la preferencia de éstos nutrientes por las diatomeas, además de su predilección por aguas de temperatura baja (Glibert, 2016).

El amonio no registró valores mayores a $0.45 \mu\text{M}$, con un mínimo de $0.05 \mu\text{M}$. La tendencia espacial de este nutriente, cuya concentración se mantuvo homogénea de PE a SL en ambas profundidades, con una marcada disminución en CL5 y VN (centro del GT), estaciones que presentaron abundancias altas de fitoplancton, encontrando diferencias significativas en su concentración entre VN respecto a PE, TJ y SL ($p<0.05$) lo que se relaciona a que su concentración es inversamente proporcional a los $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ debido a su relación con la disponibilidad de OD, siendo más marcado entre estos nutrientes a 10 m de profundidad, además que las bajas concentraciones de NH_4 se pueden relacionar con el hecho de que es más fácilmente asimilado por los organismos, seguido de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ (Spalinger y Bouwens, 2003).

La mayor concentración de PO_4 se registró en TJ10-junio ($3.98 \mu\text{M}$), seguido de CL5-marzo ($3.77 \mu\text{M}$). En promedio se encontró mayor concentración dentro del GT que fuera del mismo, coincidente con los reportes de Lara-Lara y Bazán-Guzmán (2005) y Robles-Jarero y Lara-Lara (1993), lo que se asocia a la presencia de surgencias que acarrean aguas de fondo ricas en este nutriente (De la Lanza-Espino, 1991). Los mínimos valores se reportaron en TJ5-junio ($0.10 \mu\text{M}$), PA5-junio ($0.12 \mu\text{M}$) y PE10-junio ($0.92 \mu\text{M}$), estaciones que presentaron abundancias fitoplanctónicas bajas, lo que se puede relacionar porque las altas temperaturas aumentan el metabolismo del fitoplancton, provocando una asimilación más rápida de este nutriente y su agotamiento (Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo, 2008), justificando la correlación negativa encontrada entre los PO_4 y la temperatura ($p=-0.33$). Sin tomar en cuenta la profundidad, la concentración de PO_4 presentó una correlación positiva con las diatomeas ($p=0.28$), lo anterior se explica por el hecho de que la adición de fósforo estimula el crecimiento de este

grupo fitoplanctónico, y una correlación negativa con el pH ($p = -0.27$), pues la disponibilidad de los ortofosfatos aumenta en pH básicos y disminuye en pH ácidos (Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo, 2008).

La concentración de SiO_2 en términos generales fue inversa a la abundancia fitoplanctónica, lo que se relaciona con la presencia de las diatomeas en las estaciones, siendo las principales consumidoras de sílice (Falkowski *et al.*, 2004). A pesar de que no se encontró una tendencia temporal definida ($p > 0.05$), a 5 m la concentración de éste nutriente tendió a incrementar hacia junio, asociándolo con la disminución en la abundancia de diatomeas. En cambio, a 10 m los valores altos se encontraron en enero y febrero, relacionados con el inicio de su acumulación hacia aguas profundas.

De las razones N:P obtenidas se encontró que en $\sim 87\%$ de las estaciones la razón fue < 10 , indicando menor disponibilidad de N biológicamente asimilable, dentro de éste grupo se ubicaron estaciones con las mayores abundancias de fitoplancton (CL5-marzo con una razón N:P ~ 2 y PE5-marzo con N:P ~ 3), lo anterior se relaciona con el requerimiento de razones bajas de N:P para que se mantenga una alta tasa de crecimiento (Glibert, 2016). En cambio, un $\sim 10\%$ presentó una razón ≥ 10 , implicando una limitación en la disponibilidad de P, no habiendo un grupo fitoplanctónico dominante en específico. Finalmente, las estaciones de PA5 y TJ5 en el mes de junio, representaron el $\sim 3\%$ con razones N:P ≥ 70 , sugiriendo que los nutrientes no tuvieron un efecto limitante lo que favoreció a los dinoflagelados (Hillebrand y Sommer, 1999).

Taxas potencialmente generadores de FAN

La confirmación de *Chaetoceros* sp. con una máxima abundancia de 5.48×10^4 cél/l (TJ5-marzo), *Scripsiella* sp. (4.98×10^3 cél/l, TJ10-febrero), *Peridinium quadridentatum* (5.93×10^2 cél/l, SL5-enero), y *Dyctiocha* sp. (7.11×10^2 cél/l, PE5-abril), es importante ya que las altas abundancias de éstos géneros a pesar de no generar toxinas, se asocian al daño y obstrucción de branquias de peces debido a las setas o proyecciones que poseen (*Chaetoceros* y *Dyctiocha*), con lo cual pueden generar mortandades por asfixia, además de llegar a ocasionar condiciones de hipoxia y con esto, mortandad de espe-

cies superiores al momento de ser degradados debido a la respiración bacteriana (Gárate-Lizárraga y Muñetón-Gómez, 2008).

El género *Pseudo-nitzschia* puede producir ácido domoico y generar en el hombre intoxicación amnésica por consumo de mariscos (ASP por sus siglas en inglés), o bien ser consumido por algunos bivalvos y otras especies superiores, pudiendo generar mortandad de aves piscívoras o mamíferos marinos (Smayda, 1997). En el presente estudio se registró una máxima abundancia de 8.29×10^4 cél/l en VN5-febrero lo cual puede ser un indicador a considerarse para un posible evento tóxico si las condiciones ambientales son las adecuadas. El dinoflagelado *Dinophysis* sp. produce ácido okadaico (AO) y dinofisistoxinas (DTX), que en los humanos ocasionan intoxicación diarreica por consumo de mariscos (DSP, por sus siglas en inglés), bastando una abundancia de 200 cél/l para que se genere la acumulación de toxinas en moluscos bivalvos (Shumway, 1990; García-Mendoza *et al.*, 2016). Para este género fue registrado un evento de abundancia máxima (3.56×10^2 cél/l, PE10-abril), y para *D. caudata* (8.00×10^1 cél/l, SE5-abril), sin que se pueda afirmar si expresó estas toxinas, sin embargo, éste registro confirma registros anteriores de este género en la zona.

El género *Prorocentrum* fue recurrente en las muestras con una abundancia máxima de 2.46×10^4 cél/l en TJ10-febrero. Las especies identificadas *P. micans*, *P. gracile*, *P. dentatum* y *P. rostratum*, teniendo registro de toxicidad de las dos primeras sobre moluscos bivalvos, generando AO y DTX afectando peces y moluscos, provocando DSP en humanos, además de generar condiciones de anoxia consecuencia de altas abundancias (Shumway, 1990; García-Mendoza *et al.*, 2016).

A pesar de que estos taxas pueden generar FAN, es difícil establecer la cantidad de biomasa o células que deben de presentar para que exista una afectación, siendo variable la abundancia entre especies para generar este tipo de afectaciones, ejemplo de esto es que a diferencia de *Dinophysis*, otras especies presentan efecto nocivo en abundancias del orden de millones de cél/l (García-Mendoza *et al.*, 2016), valores que las especies potencialmente tóxicas reportadas en este trabajo no presentaron, lo que sin embargo sugiere continuar el seguimiento de este tipo de eventos.

Conclusión

Existe una marcada diferencia entre las estaciones ubicadas dentro y fuera del GT por la influencia de los vientos tehuanos en la zona. Las mayores abundancias fitoplanctónicas y concentración de *clo-a* en el GT se registraron en las estaciones CL y VN, con diferencia estacional ($p < 0.05$) en la abundancia de fitoplancton y *clo-a* respecto a la temporada de secas y lluvias. Las estaciones fuera del GT (PE y SE) presentaron la máxima abundancia en marzo/abril y la máxima *clo-a* y biomasa en abril, asociado a la influencia de la corriente de California. En cambio, las estaciones ubicadas dentro del GT presentaron las máximas abundancias en febrero/marzo, con la máxima *clo-a* en temporada de secas y las mayores biomásas entre enero-marzo debido a surgencias costeras relacionadas con los vientos tehuanos.

Agradecimientos

Los autores expresan el apoyo financiero recibido del proyecto 178145 CONACyT-CB2012, del cual surgen los datos de esta investigación, así como la beca otorgada (No. 23461) a la primera autora.

Literatura citada

- Acosta-Chamorro, V., Moreno-Ramos, O. L. y Cano-Ibarra, G. (2016). La temperatura superficial del mar y su relación con florecimientos algales nocivos en áreas costeras del Pacífico Tropical Mexicano. En: E. García-Mendoza, S. I. Quijano-Scheggia, A. Olivos-Ortiz y E. J. Núñez-Vázquez (Eds.), *Florecimientos Algales Nocivos en México* (Vol. 1, pp. 268-281). Ensenada, México: CICESE.
- Aguirre-Gómez, R. y Salmerón-García, O. (2007). Análisis estacional de la variación en la clorofila en el Pacífico Sur Mexicano mediante imágenes SeaWiFS de 1998 a 2004.
- Almandoz, G. O., Hernando, M. P., Ferreyra, G. A., Schloss, I. R. & Ferrario, M. E. (2011). Seasonal phytoplankton dynamics in extreme southern South America (Beagle Channel, Argentina). *Journal of Sea Research*, 66(2), 47-57.
- Chapa-Balcorta, C., Hernandez-Ayon, J. M., Durazo, R., Beier, E., Alin, S. R. & López-Pérez, A. (2015). Influence of post-Tehuano oceanographic processes in the dynamics of the CO₂ system in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 120(12), 7752-7770.
- De la Lanza-Espino, G. (1991). *Oceanografía de mares mexicanos*. AGT Editor: 569 pp.

- Falkowski, P. G., Katz, M. E., Knoll, A. H., Quigg, A., Raven, J. A., Schofield, O. & Taylor, F. J. R. (2004). The evolution of modern eukaryotic phytoplankton. *Science*, 305(5682), 354-360.
- Gárate-Lizárraga, I. y Muñetón-Gómez, M. S. (2008). Florecimiento de *Peridinium quinquecorne* Abé in La Ensenada de La Paz, Golfo de California (Julio 2003). *Acta botánica mexicana*(83), 33-47.
- García-Mendoza, E., Quijano-Scheggia, S. I., Olivos-Ortiz, A. y Núñez-Vázquez, E. J. (2016). *Florecimientos Algales Nocivos en México* (Vol. 1). Ensenada, México: CICESE.
- Glibert, P. M. (2016). Margalef revisited: a new phytoplankton mandala incorporating twelve dimensions, including nutritional physiology. *Harmful algae*, 55, 25-30.
- Grasshoff, K., Kremling, K. & Ehrhardt, M. (1983). *Methods of seawater analysis*. 237.
- Hernández-Becerril, D. U., Bravo-Sierra, E. & Aké-Castillo, J. A. (2007). Phytoplankton on the western coasts of Baja California in two different seasons in 1998. *Scientia Marina*, 71(4), 735-743.
- Hernández-Becerril, D. U., López-Tachiquín, L. F., Machain-Castillo, M. L. y Monreal-Gómez, M. A. (2015). Distribución de pigmentos fotosintéticos del fitoplancton del Golfo de Tehuantepec en verano (junio, 2003): importancia del picofitoplancton. *Hidrobiológica*, 25(3), 365-374.
- Hillebrand, H., Dürselen, C. D., Kirschtel, D., Pollinger, U. & Zohary, T. (1999). Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of phyecology*, 35(2), 403-424.
- Hillebrand, H. & Sommer, U. (1999). The nutrient stoichiometry of benthic microalgal growth: Redfield proportions are optimal. *Limnology and Oceanography*, 44(2), 440-446.
- Lara-Lara, J. R., Arenas-Fuentes, V., Bazán-Guzmán, C., Díaz-Castañeda, V., Escobar-Briones, E., García-Abad, M. C., Gaxiola-Castro, G., Robles-Jarero, G., Sosa-Ávalos, R., Soto-González, L. A., Tapia-García, M. y Valdez-Holguín, J. E. (2008). Los ecosistemas marinos. *Capital natural de México*, 1, 135-159.
- Lara-Lara, J. R. y Bazán-Guzmán, C. (2005). Distribución de clorofila y producción primaria por clases de tamaño en la costa del Pacífico mexicano. *Ciencias Marinas*, 31.
- Lara-Lara, J. R., Robles-Jarero, E. G., Bazán-Guzmán, M. C. y Millán-Núñez, E. (1998). Productividad del fitoplancton. *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos*, 51-58. México.
- Libes, S. (2009). *Introduction to marine biogeochemistry*: 2nd. Ed. Elsevier. USA. 893 pp.
- Limoges, A., Kieft, J. F., Radi, T., Ruiz-Fernandez, A. C. & de Vernal, A. (2010). Dinoflagellate cyst distribution in surface sediments along the south-western Mexican coast (14.76 N to 24.75 N). *Marine Micropaleontology*, 76(3), 104-123.
- López-Sandoval, D. C., Lara-Lara, J. R., Lavín, M. F., Álvarez-Borrego, S. & Gaxiola-Castro, G. (2009). Primary productivity in the eastern tropical Pacific off Cabo Corrientes, Mexico. *Ciencias Marinas*, 35(2).

- Menden-Deuer, S. & Lessard, E. J. (2000). Carbon to volume relationships for dinoflagellates, diatoms, and other protist plankton. *Limnology and Oceanography*, 45(3), 569-579.
- Olivos-Ortiz, A., Quijano-Scheggia, S. I., Pérez-Morales, A., Gaviño-Rodríguez, J. H., Kono-Martínez, T., Pelayo-Martínez, G. C., Ortega-Ortiz, C. D. y Verduzco-Zapata, M. G. (2016). Condiciones hidrográficas en el Pacífico Central Mexicano relacionadas con florecimientos algales en la zona costera de Colima. En: E. García-Mendoza, S. I. Quijano-Scheggia, A. Olivos-Ortiz y E. J. Núñez-Vázquez (Eds.), *Florecimientos Algales Nocivos en México* (Vol. 1, pp. 256-267). Ensenada, México: CICESE.
- Owen, R. W., & Zeitzschel, B. (1970). Phytoplankton production: seasonal change in the oceanic eastern tropical Pacific. *Marine Biology*, 7(1), 32-36.
- Reynolds, C. S. (2006). *The ecology of phytoplankton*: Cambridge University Press.
- Riebesell, U. & Wolf-Gladrow, D.A. (2002). Supply and uptake of inorganic nutrients. *Phytoplankton productivity: carbon assimilation in marine and freshwater ecosystems*, 109-140.
- Robles-Jarero, E. G. & Lara-Lara, J. R. (1993). Phytoplankton biomass and primary productivity by size classes in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Journal of plankton research*, 15(12), 1341-1358.
- Roldán-Pérez, G. y Ramírez-Restrepo, J. J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* (Vol. 15): Universidad de Antioquia.
- Shumway, S. E. (1990). A review of the effects of algal blooms on shellfish and aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society*, 21(2), 65-104.
- Smayda, T. J. (1997). Bloom dynamics: physiology, behavior, trophic effects. *Limnology and Oceanography*, 42(5 part 2), 1132-1136.
- Spalinger, K. & Bouwens, K. (2003). The roles of phosphorus and nitrogen in lake ecosystems: Regional Information Report.
- Strickland, J. D. H. & Parsons, T. R. (1972). A practical handbook of seawater analysis. 2nd ed. Bull. Fish. Res. Board Can., 67, 311 pp.
- Tapia-García, M., García-Abad, M. C., Carranza-Edwards, A. & Vázquez-Gutiérrez, F. (2007). Environmental characterization of the continental shelf of the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Geofísica internacional*, 46(4), 249-260.
- Tomas, C. R. (1997). *Identifying marine phytoplankton*: Academic press., Florida. 858 pp.
- Trasviña, A. y E.D. Barton (1997). *Los "Nortes" del Golfo de Tehuantepec: la circulación costera inducida por el viento. Contribuciones a la Oceanografía Física en México*. Unión Geofísica Mexicana, Monografía. 3:25-46.
- Utermöhl, H. (1958). Zur vervollkommenung der quantitativen phytoplankton methodik. Mitt int. Verein. Theor. Angew. Limnologie 9:1-38.

Anexo

Figura 1
MDS de parámetros bióticos en términos de biomasa de carbono (µgC/l) a 5 m.

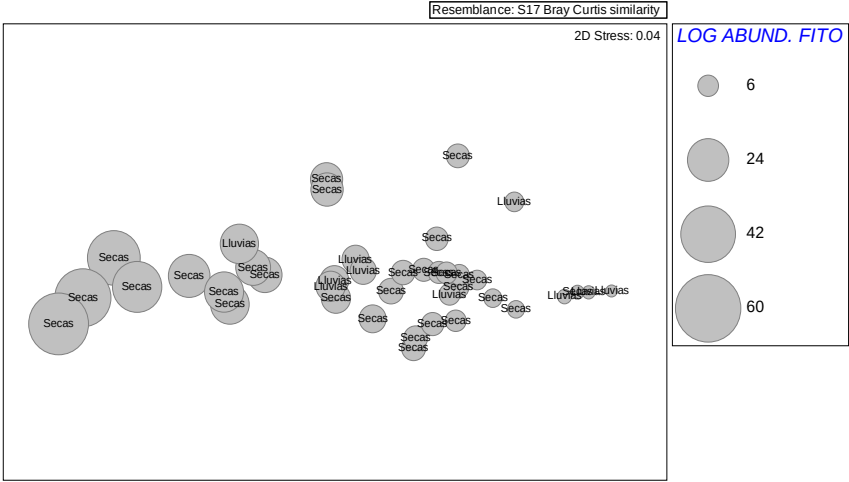


Tabla 1
Claves para las localidades y respectivas profundidades.

Estación	Coordenadas geográficas	Profundidad	Clave
Puerto Escondido	15° 92'50"N, 97° 23'61"O	5	PE5
		10	PE10
Santa Elena	15° 43'40"N, 96° 50'28"O	5	SE5
Puerto Ángel	15° 66'35"N, 96° 49'32"O	5	PA5
La Tijera	15° 68'75"N, 96° 43'95"O	5	TJ5
		10	TJ10
Salchi	15° 40'15"N, 95° 22'18"O	5	SL5
		10	SL10
Colorada	15° 56'12"N, 95° 36'33"O	5	CL5
		10	CL10
Ventosa	16° 10'50"N, 95° 09'06"O	5	VN5
		10	VN10

Tabla 2
Rangos de clo-*a* en las estaciones

Estación	Min-Max (µg/l)
PE5	0.27 (febrero) - 1.00 (abril)
PE10	0.24 (mayo) - 1.18 (abril)
SE5	0.34 (junio) - 1.88 (abril)
PA5	0.32 (junio) - 0.77 (mayo)
TJ5	0.65 (abril) - 1.53 (mayo)
TJ10	0.54 (abril) - 1.31 (marzo)
SL5	0.40 (febrero) - 0.88 (enero)
SL10	0.38 (febrero) - 1.21 (abril)
CL5	0.33 (mayo/junio) - 1.49 (marzo)
CL10	0.18 (junio) - 1.94 (febrero)
VN5	0.21 (junio) - 1.56 (enero)
VN10	0.30 (junio) - 0.66 (enero)

Incendios forestales sobre la vegetación del municipio de Tomatlán, Jalisco, en el periodo 2010-2016

*Forest fires on the vegetation of the municipality
of Tomatlán, Jalisco, in the period 2010-2016*

Julio César Morales-Hernández¹
Víctor Manuel Cornejo-López²
Jorge Ignacio Chavoya-Gama²
Javier Leopoldo López-Rubio²
Iris Leticia Camba-Pérez²

¹Unidad de Meteorología, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. Av. Universidad de Guadalajara No. 203, Delg. Ixtapa, C.P. 48280. Puerto Vallarta, Jalisco. Correo-e: cesarbemarena@gmail.com.

²Departamento de Ciencias Exactas, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara.

Resumen

Los incendios son una perturbación común en los ecosistemas terrestres y un tema controversial para el manejo de zonas costeras. Este trabajo se ha realizado con el objetivo de analizar la distribución temporal y espacial de incendios y los diferentes tipos de vegetación afectados en el municipio de Tomatlán, Jalisco. La metodología se dividió en tres procesos, el primero es la detección de los puntos de calor utilizando imágenes de satélite AVHRR y MODIS, el segundo corresponde a la caracterización del sitio en el cual se localizan los puntos de calor, su publicación, distribución de la información y finalmente la relación con los sistemas atmosféricos presentes al momento del incendio forestal. En la región se aprecia que los años con mayor número de puntos de calor son 2013 y 2016. Para el año 2013, la temporada muestra varios puntos altos de 198 en mayo y 241 en junio, posteriormente en 2016, el mes con más incendios de la temporada muestra varios puntos altos de 1105 en mayo y 632 en junio. Para el año 2010 la temporada seca empezó de abril a junio y se perfiló como la más constante en cuanto a incendios ya que se registraron datos similares durante el temporal seco acumulando un registro de 118. Para el año 2012 se nota una clara reducción en el número de fuegos que en el lapso anterior de 114 incendios forestales. Los resultados de este trabajo contribuyen al conocimiento de la dinámica de incendios en la región y dentro de una escala local permitirá a las entidades de control tener un panorama general, del cual podrán desarrollar métodos de control y prevención que aporten en el establecimiento y continuidad del plan nacional de prevención, control de incendios forestales y restauración de áreas afectadas.

Palabras clave

Sistemas atmosféricos, ecosistemas forestales, incendios forestales, factores ecológicos.

Abstrac

Fires are a common disturbance in terrestrial ecosystems and a controversial issue for coastal zone management. This work was carried out with the objective of analyzing the temporal and spatial distribution of fires and the different types of vegetation affected in the municipality of Tomatlan, Jalisco. The methodology was divided in three processes, the first one is the detection of the heat points using satellite images AVHRR and MODIS, and the second corresponds to the characterization of the site in which the heat spots are located, their publication, distribution of the information and finally relate it to the atmospheric systems present

at the time of the forest fire. In the region, it can be seen that the year with the highest number of heat points is 2013 and 2016. For the year 2013, the season shows several high points of 198 in May and 241 in June, later in 2016, the month with more fires of the season shows several high points of 1105 in May and 632 in June. For the year 2010 the dry season began from April to June is the most constant in terms of fires since similar data were recorded during the dry season accumulating a record of 118. For the year 2012 there is a clear reduction in the number of fires that in the previous period of 114 forest fires. The results of this work contribute to the knowledge of the fire dynamics in the region and within a local scale will allow the control entities to have an overview, from which they will be able to develop methods of control and prevention that contribute in the establishment and continuity of the national plan for prevention, control of forest fires and restoration of affected areas.

Keywords

Atmospherics Systems, Forest Ecosystems, Forest Fires, Ecological Factors.

Introducción

La dinámica existente de cualquier ecosistema es el resultado no sólo de las condiciones ambientales actuales, sino que es influida por las fluctuaciones y perturbaciones del pasado. El término “disturbio” puede definirse como un evento más o menos discreto en el tiempo y en el espacio que altera la estructura de las poblaciones, de las comunidades o del ecosistema; produciendo cambios en la disponibilidad de recursos o en el ambiente físico.

La intervención directa del hombre en ecosistemas naturales mediante la quema de biomasa ha llevado a una alteración de los espacios naturales traducida en la expansión de la frontera agrícola (Lauk y Erb, 2009; Pereira *et al.*, 2009). Estos eventos antrópicos crean una serie de perturbaciones que incluyen: pérdida de biomasa, extinciones locales continuas de especies nativas y desplazamiento de especies animales.

Tanto la evidencia de estudios ecológicos como la experiencia práctica de manejo indican que el fuego es un factor ecológico cuya supresión, en ciertos ecosistemas, puede ser considerada como una perturbación (Pyne *et al.*, 1996).

El fuego tiene un papel relevante en la estructura, funcionamiento y dinámica de los ecosistemas terrestres, pero cuando se propaga sin control en selvas, bosques o vegetación de zonas áridas o semiáridas, contribuye directamente al incremento de bióxido de carbono en la atmósfera y a la deforestación, con sus consecuencias como la erosión de los suelos o el cambio en la estructura y composición de los bosques.

Los incendios forestales son sumamente variables, sin embargo, se han distinguido tres tipos que implican diferentes grados de daño en los ecosistemas: los superficiales, donde el fuego consume los combustibles que se encuentran sobre el suelo como hierbas, zacates, leñas, hojarascas, sin quemar todo el cuerpo de los árboles; los subterráneos, el fuego quema el mantillo y raíces bajo la superficie del suelo o la materia orgánica acumulada en las fracturas de grandes afloramientos de roca-malpais; y por último, los incendios de copa o corona, poco frecuentes en México, en los cuales el fuego consume completamente a los árboles y se propaga tanto de copa en copa como superficialmente. Cabe señalar que la presencia de este tipo de incendio, peligroso y difícil de controlar, se incrementa bajo condiciones extremas de sequía como las experimentadas en 1998 (Villers, 2006).

La buena comprensión de estos fenómenos es esencial en la actualidad y esto se logra obteniendo datos precisos, partiendo de parámetros bien establecidos. Entre los métodos más usados en los últimos años se encuentra la teledetección espacial, mediante sensores satelitales (Merino de Miguel *et al.*, 2010). El uso de esta técnica, como herramienta complementaria, permite tener mayor cobertura tanto temporal como espacial, de la biomasa consumida por el fuego, sin necesidad de costosos e intensos trabajos de campo; la información que se obtiene del análisis de los datos se puede integrar a sistemas de información geográfica (SIG) que permiten almacenamiento, procesamiento y análisis de gran cantidad de registros.

En México, a pesar de que se desconoce con exactitud la magnitud de la pérdida de vegetación por cuenta de estos fuegos, se encuentran gran cantidad de reportes anuales de distintas fuentes, privadas o públicas (Armenteras *et al.*, 2005, 2009, 2011; Ama-

ya *et al.*, 2010;), que informan sobre la ocurrencia de incendios en el país. Sin embargo, para la región de Tomatlán no se cuenta con ningún trabajo de este tipo por lo cual es necesario continuar avanzando en la comprensión de la dinámica de estos eventos, dado que usualmente no se cuenta con estudios que permitan conocer la distribución espacial y el impacto en la vegetación a través del tiempo en los sitios afectados.

Este trabajo se ha realizado con el objetivo de analizar la distribución temporal y espacial de incendios y los diferentes tipos de vegetación afectados en la región de Tomatlán que comprende, bajo la hipótesis que a menos precipitación hay más incendios y que existe una dependencia del tipo de vegetación, en base a la determinación de un patrón espacio temporal de incendios, mediante el uso de imágenes del satélite MODIS de la NASA.

Metodología

La zona de estudio corresponde a la región de Tomatlán, se localiza al oeste del estado de Jalisco, entre las coordenadas 19° 38'17" N-104° 37'15" O y 20° 14'14" N-105° 33'02" O. Su extensión territorial es de 2,657.5 km², que representa 3.32% de la superficie total del estado de Jalisco, colinda al norte con los municipios de Talpa de Allende y Cabo Corrientes; al noreste con Cuautla y Ayutla; al sur con La Huerta y Villa Purificación, y al este con el océano Pacífico (figura 1-anexo). La superficie está conformada por zonas accidentadas (42%), cerros y montañas que tienen alturas que van de los 200 a los 1,100 msnm; zonas semiplanas en lomas y laderas con alturas desde los 125 a los 200 msnm (41 %) y zonas planas (17%). El clima del municipio es semiseco con invierno y primavera secos; en general cálidos sin estación invernal definida. La temperatura media anual es de 26.9°C y tiene una precipitación media anual de 892.2 mm con régimen de lluvia en los meses de junio a octubre.

Los vientos dominantes son en dirección sur. Sus recursos hidrológicos están formados por los ríos y arroyos que conforman la cuenca hidrológica río Tomatlán, Ameca-Tomatlán y río San Nicolás, pertenecientes a la región hidrológica Pacífico centro. El municipio de Tomatlán tiene el suelo cubierto principalmente por las

superficies en las que se practica la agricultura, por la población y por la cobertura vegetal en la que se incluyen los bosques, los cuerpos de agua, los pastizales, las selvas y otros tipos de vegetación, siendo la selva la que predomina en el municipio.

Para llevar a cabo la siguiente investigación el proceso se dividió en tres partes, el primero fue la detección de los puntos de calor utilizando imágenes de satélite AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) y MODIS, el segundo correspondió a la caracterización del sitio en el cual se localizan los puntos de calor, su publicación, distribución de la información y el tercero a la relación de la incidencia de puntos de calor con los sistemas atmosféricos.

Los datos de teledetección utilizados en este trabajo provienen de series temporales de focos activos o anomalías térmicas detectadas por el sensor MODIS (NASA, 2010) y procesadas por CONABIO (Comisión Nacional de Biodiversidad), en el periodo comprendido entre los años 2010-2016. Para determinar la vegetación involucrada en los sitios donde se ubican los focos activos, se utilizó información proveniente de CONABIO.

Para establecer correlaciones entre los datos de focos activos e información de variables como precipitación y temperatura, se utilizó la base de datos virtual del Servicio Meteorológico Nacional y (CLICOM). Estas almacenan registros de estaciones meteorológicas distribuidas en la región de Tomatlán. Se utilizaron los archivos disponibles de: valores medios mensuales de temperatura (°C) y valores totales mensuales de precipitación acumulada (mm) de todo el municipio, y se tomaron como variables ambientales que podrían incidir en la aparición y dinámica de focos activos o incendios.

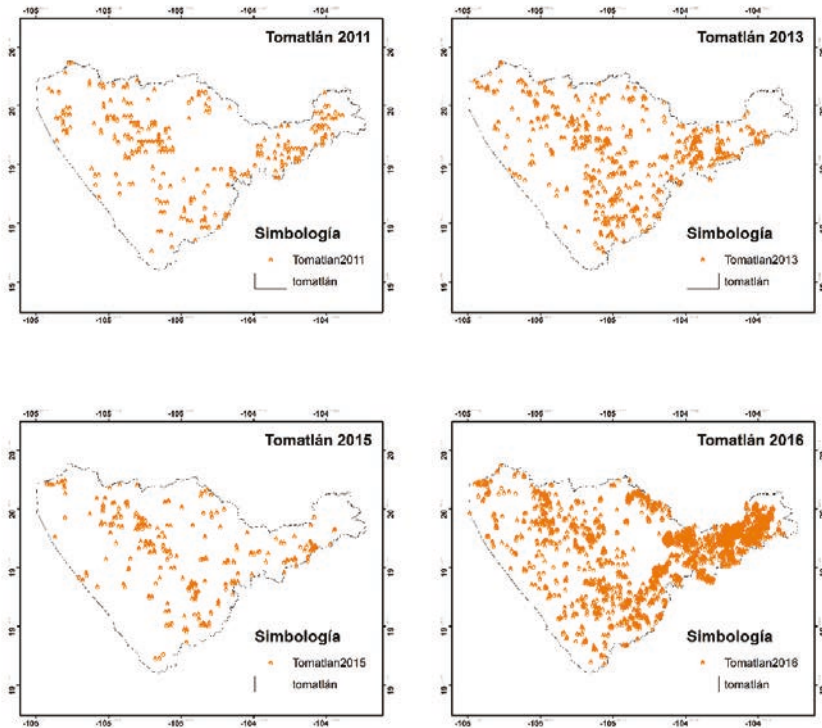
Se realizó utilizando el software ArcGIS 9.3 y su herramienta ArcMap, la cual permitió analizar la distribución mensual y anual de los focos activos para todos los años del periodo 2010-2016, en el área de estudio. Esta información permitió conocer también la distribución espacial y frecuencia de incendios en todo el municipio, identificándose, además, los sectores afectados a lo largo del tiempo y en qué lugares se producen la mayor recurrencia de los incendios. Posteriormente, la información se cruzó con la capa de

vegetación del área de estudio proporcionada por CONABIO, desarrollado para Jalisco, y se determinaron los tipos de cobertura vegetal que han sido más afectados durante los últimos seis años. Se establecieron así las distribuciones temporal y espacial de las coberturas involucradas (figura 2-anexo).

Resultados

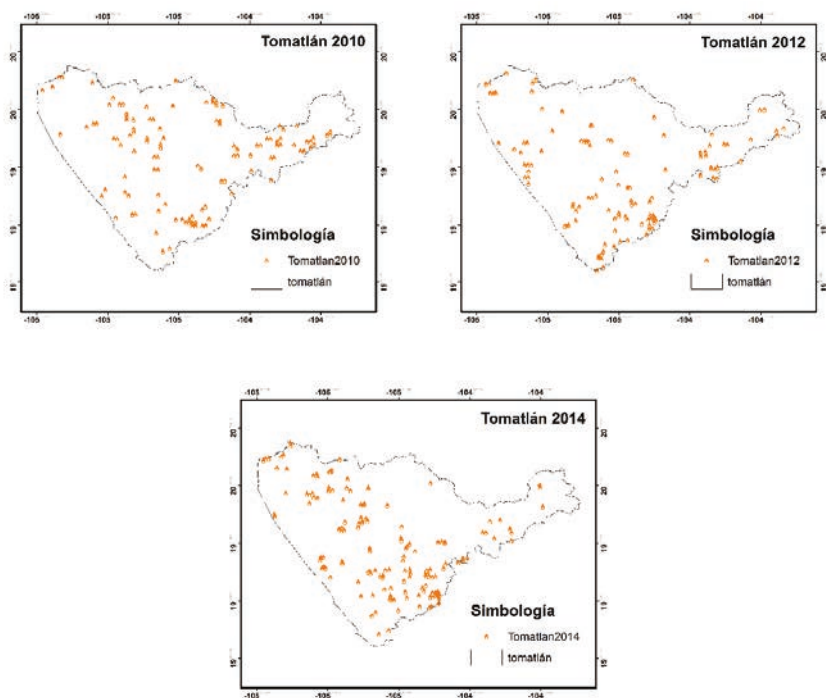
En la región de Tomatlán se aprecia que los años con mayor número de puntos de calor son 2011, 2013 y 2015. Para el año 2011, la temporada muestra varios puntos altos de 84 en mayo y 168 en junio, posteriormente en 2013, el mes con más incendios de la temporada muestra varios puntos altos de 189 en mayo y 241 en junio. Para el año 2015 la temporada seca fue de abril a junio, pero la mayor cantidad de registro se dio en el mes de mayo con 173 puntos de calor, por lo que se perfila como la más constante en cuanto a incendios ya que se registraron datos similares durante el temporal seco acumulando un registro de 258 puntos y finalmente el año 2016 se presentó como el año más intenso del periodo de registro con un total de 2025, presentándose mayo como el más intenso con 1105 registros (figura 1).

Figura 1
Años con más puntos de calor en el periodo de estudio.



Para los años 2010, 2012 y 2014 se nota una clara reducción en el número de puntos de calor que, en el lapso anterior, el año registro 118 puntos de calor siendo el mes de junio el más 70, en el 2012 se registraron 114, presentándose mayo como el más intenso con 63 puntos de calor y finalmente en mayo del 2014 con 173 registros, con un total de 248 en el año (figura 2).

Figura 2
Años con menores puntos de calor en el periodo de estudio.

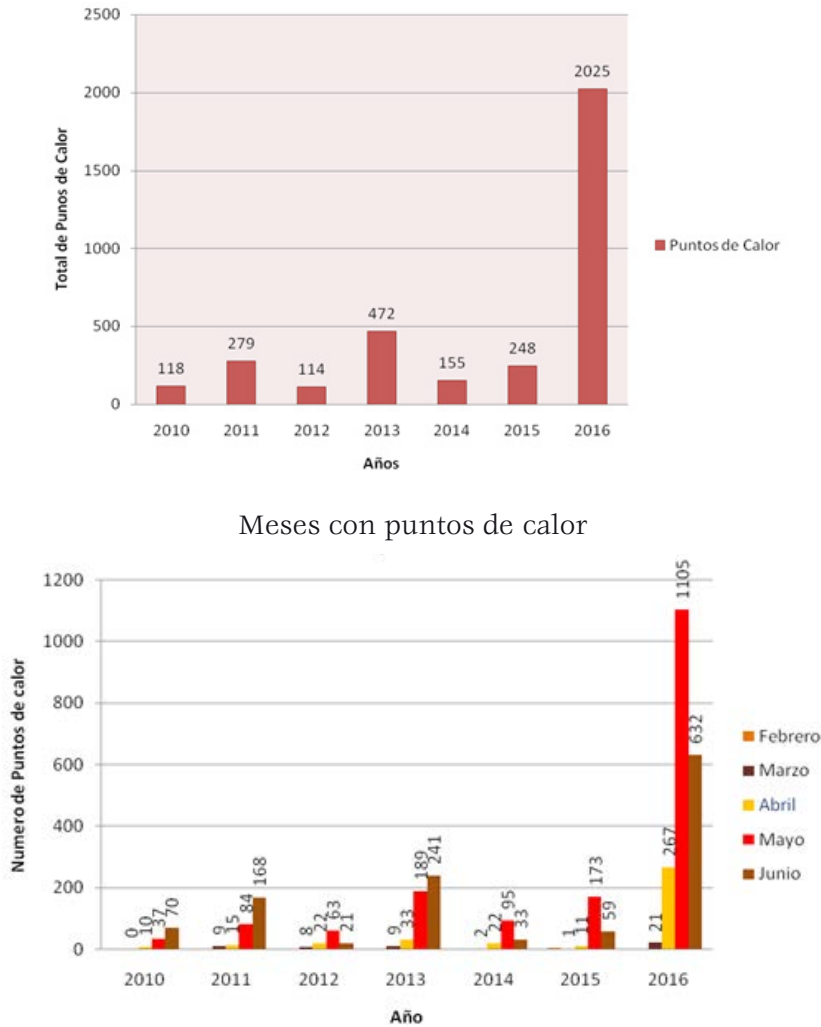


La causa de esta reducción puede estar ligada a una mejor intervención por parte de las entidades del estado y municipales, como las corporaciones autónomas regionales, quienes se han focalizado en reducir los eventos de monitoreo periódico de las zonas con mayor frecuencia y con campañas de vigilancia, educación y sensibilización principalmente en poblaciones campesinas vinculadas directa o indirectamente con los eventos, pero para el año 2016 el aumento de puntos de calor está directamente relacionada al déficit de precipitación en el año 2014, 2015 y 2016, así como también a las quemas agrícolas sin tomar en cuenta las condiciones atmosféricas presentes.

Los meses con mayor número de registros, en todo el periodo evaluado, son junio y mayo con totales de 1,224 y 1,746 respectivamente. El año con más registros fue 2016 con 2,025 regis-

tros, seguido de 2014 con 472. Mayo de 2016 fue el mes que mostró el mayor número de eventos en periodo registrado (figura 3).

Figura 3
Puntos de calor en el periodo de estudio en la región de Tomatlán.



Se puede establecer que los periodos secos observados de inicio de años, comprendidos generalmente de abril a junio son las épocas donde más se presentan registros o reportes en cada uno de los años de las series analizadas básicamente hasta el año 2011. Así se puede destacar que, aunque se esté analizando de manera más específica la dinámica de incendios en la región, el patrón bimodal característico del área sur de la región es particular, porque en él es donde se presenta la mayoría de los incendios.

Asociación de los incendios forestales con los sistemas atmosféricos

De acuerdo con el análisis de secuencia de imágenes GOES que se utilizó para identificar los sistemas meteorológicos frecuentes asociados a los puntos de calor y según las condiciones previas que favorecieron los incendios, tales como: altas temperaturas, bajo nivel de humedad y vientos fuertes, que junto a un descuido causaron el brote de incendios forestales, los principales sistemas relacionados fueron: los sistemas de alta presión, debido a la subsidencia, el viento es seco y por tal razón el ambiente soleado propicia el incremento de temperaturas, situación que se torna favorable para la ocurrencia de incendios forestales.

Los jets de niveles bajos, es muy importante monitorear este tipo de vientos durante el combate de incendios forestales, es causante de la muerte de los apaga fuegos, por que cambia el sentido de las llamas en forma súbita con la nueva dirección del viento. Hasta el momento no se cuenta con un sistema eficiente para su detección en esta región.

Los jets subtropicales o corrientes en chorro, este viento vespertino ocurre de forma imprevista, el viento se lleva al fuego en forma de chispas, fuera del área de control de cualquier quema agrícola.

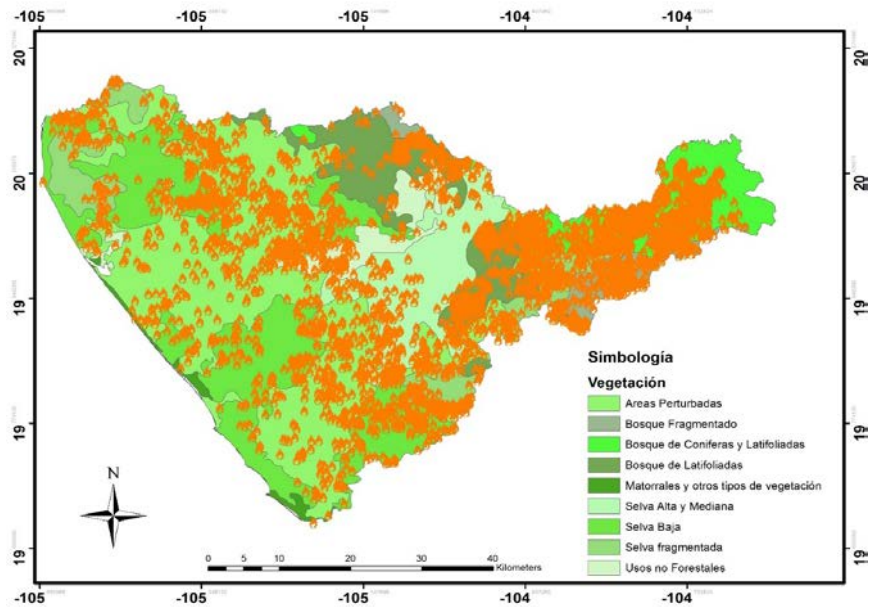
El anticiclón, este sistema pasaría desapercibido cuando se desplaza por una zona con una velocidad de traslado común, sin embargo, en algunos casos, tal sistema logra mantenerse casi-estacionario, cuando esto ocurre las temperaturas aumentan día con día y se denomina onda de calor, que pueden provocar valores de temperatura extremos; a su vez la humedad relativa registra las

máximas caídas que responde a los valores extremos de temperatura, esto coincide con las fuertes sequías (figura 3-anexo).

Análisis de la incidencia de incendios sobre la cobertura vegetal

En términos generales las coberturas vegetales que más se han afectado en el periodo están compuestas por: bosque (al este de Tomatlán), donde predomina bosque de pino-encino, bosque de conífera, donde se han presentado muchos casos de quemas agrícolas y otros en áreas con difícil acceso, en los cuales se realizan para el cambio de uso de suelo y en gran parte del municipio se encuentran distribuidos varios puntos de calor, se realizan por parte de las quemas agrícolas ya que la región es una de las principales zonas de cultivos (figura 4).

Figura 4
Incidencia de incendios forestales sobre la cobertura vegetal en la región de Tomatlán.



Discusión

Sin duda, la combinación de diversos factores, tales como condición de sequía inducida por eventos como El Niño (Pompa-García y Sensibaugh, 2014), así como vientos fuertes, acumulación de biomasa seca y el uso del fuego como herramienta de aclareo, han causado la gran mayoría de los incendios en diferentes zonas de estudios. Entendiendo que el efecto de las variables climáticas y su correspondiente temporalidad son factores clave en la dinámica de incendios forestales en Tomatlán, ahora hay que determinar un origen real de estos eventos. Según CONIF (1998), las causas naturales son las que menor peso tienen al momento de analizar factores de ignición e históricamente se sabe que en la región, por tradición, el fuego no propiamente es utilizado para favorecer la dinámica natural de los bosques, por el contrario, se usa para reducir su ecosistema, beneficiando la entrada del hombre y agricultura a áreas que nunca habían sido intervenidas.

Estos resultados concuerdan con lo descrito por Rowell y Moore (2013), quienes sugieren que la mayoría de los eventos de fuego en México han sido históricamente antropógenos: 60% de estos se deben a actividades agrícolas, tales como la quema de pastizales y cambios de cultivo, otras causas principales son cigarros y actividades de campismo (18%) e intencionales (12%) y el 10% restante lo atribuyen a causas indirectas que no son muy evidentes.

Los resultados de los análisis permiten deducir la siguiente relación: poca precipitación + quemas = incendios de importante magnitud, acertando con lo propuesto por Aragao *et al.* (2008), quien señala que el origen de los incendios se puede clasificar en cuatro grupos: naturales, sociales, técnicos y desconocidos. La menor incidencia de reportes está dada por factores técnicos o naturales.

De acuerdo con los resultados de nuestro estudio, la topografía juega un papel importante debido a que hay muchas pendientes, lo que imposibilita el acceso rápido para sofocar oportunamente los incendios, los cuales, tal vez tengan orígenes antropógenos (Velasco-Herrera *et al.*, 2013; Pompa-García y Sensibaugh, 2014).

El uso de los sistemas de información geográfica representa una herramienta valiosa en la búsqueda de estrategias para la prevención de incendios, como la búsqueda de áreas de respuesta homogénea similares a las propuestas por Velasco-Herrera *et al.* (2013). Además, es necesario desarrollar mediante estas herramientas, modelos que permitan la conjunción de las variables que se relacionan con la incidencia de incendios y que tengan alta eficiencia en la representación de la vulnerabilidad real en la zona costera de Jalisco, pero que a su vez puedan ser empleados en cualquier otro territorio con problemáticas semejantes; avances en este sentido, han sido ya presentados por otros autores para el caso del estado de Durango, el cual es el segundo lugar a nivel nacional en incendios forestales.

Conclusión

Esto indica que la presencia humana es uno de los principales factores de riesgo, independiente de la vulnerabilidad climática y tal como lo indica, la expansión humana y sus demandas por bienes y servicios son características que están muy vinculadas ocasionando que aumente la presión sobre sistemas ecológicos.

De acuerdo a su relación con las variables meteorológicas la temperatura no es un factor determinante en el origen o desarrollo de incendios en el área de estudio, la precipitación, en cambio, juega un papel importante en la dinámica de incendios, contribuyendo al probable origen antrópico de los fuegos, con condiciones favorables de combustión.

Literatura citada

- Amaya D., Armenteras D. (2012). Incidencia de incendios sobre la vegetación de Cundinamarca y Bogotá D. C, entre 2001 y 2010. *Acta Biologica Colombiana*. 17(1), 143-158.
- Aragao L, Malhi Y, Barbier N, Lima A, Shimabukuro Y, Anderson L. (2008). Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 363, 1779-185. doi: 10.1098/rstb.2007.0026.
- Armenteras, D., M. Romero and G. Galindo (2005) Vegetation fire in the savannas of the Llanos Orientales of Colombia. *Journal of World Resource Review* 17 (4): 531-543.

- Armenteras, D., González, F., & Franco A. (2009). Distribución geográfica y temporal de incendios en Colombia utilizando datos de anomalías térmicas. *Caldasia*, 31(2): 303-318.
- Armenteras, D., Retana, J., Molowny, R., Roman, R. M., Gonzalez, F., & Morales, M. (2011). Characterising fire spatial pattern interactions with climate and vegetation in Colombia. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 151 (3), 279-289.
- Jedlovac Gary (2017). GOES weather satellite imagery courtesy of the Earth Science Branch at the NASA George C. Marshall Space Flight in Huntsville, Alabama. The global composite satellite maps are courtesy of the NCEP Aviation Weather Center in Kansas City, Missouri.
- Lauk, C., Erb, K-H. (2009). Biomass consumed in anthropogenic vegetation fires: global patterns and processes. *Ecological Economics* 69 (2), 328-334 doi: 10.1016/j.ecolecon.2009.06.025.
- Merino de Miguel, S., Huesca M., Gonzalez F. (2010). Modis Reflectance and active fire data for burn mapping and assessment at regional level. *Journal of Ecological Modelling*. 67-74.
- Pereira G, Freitas S. Moraes E, Ferreira N, Shimabukuro Y, Rao V. (2009) Estimating tracegas and aerosol emissions over South America: Relationship between fire radiative energy released and aerosol optical depth observations. *Journal of Atmospheric Environment*. 6388-6397.
- Pompa-García, M. y Sensibaugh, M. (2014). Ocurrencia de incendios forestales y su teleconexión con fenómenos ENSO. *CienciaUAT*. 27(2): 06-10.
- Pyne, S.J., Andrews, P.L., and Laven, R.D. (1996). *Introduction to Wildland Fire*. (2nded.) John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Villers M. (2006). Incendios forestales. *Ciencias*, 81, 60-66.
- Rowell, A. and Moore, P. F. (2013). Global Review of Forest Fires. WWF. IUCN. [En línea]. Disponible en: [http:// www.envedu.gr/Documents/ Global%20 Review%20of%20Global%20Fires.pdf](http://www.envedu.gr/Documents/Global%20Review%20of%20Global%20Fires.pdf). Fecha de consulta: 20 de diciembre de 2013.
- Velasco-Herrera, J. A., Flores Garnica, J. G., Marquez-Azúa, B. y López, S. (2013). Áreas de respuesta homogénea para el muestreo de combustibles forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 4(15): 41-54.

Anexo

Figura 1
Área de estudio de la región de Tomatlán.

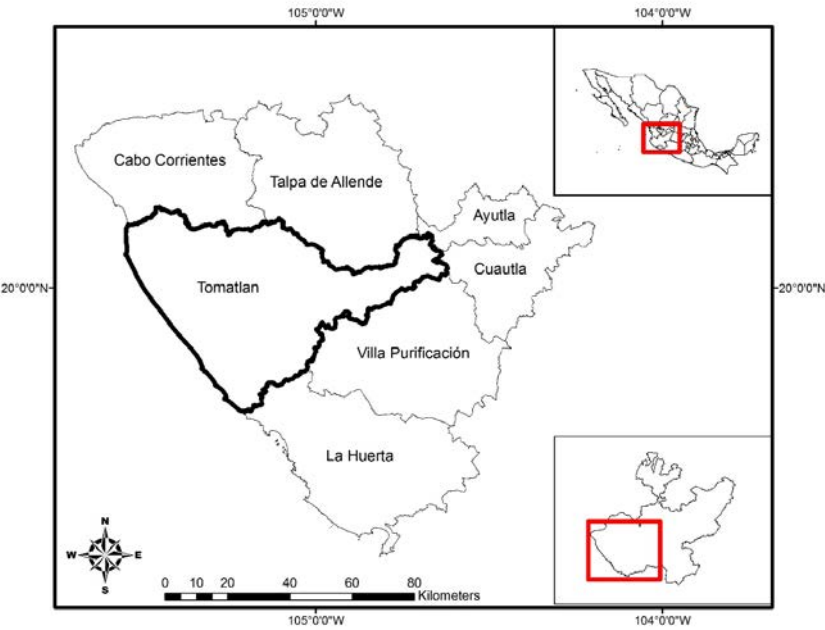


Figura 2
Tipo de vegetación en la región de Tomatlán.

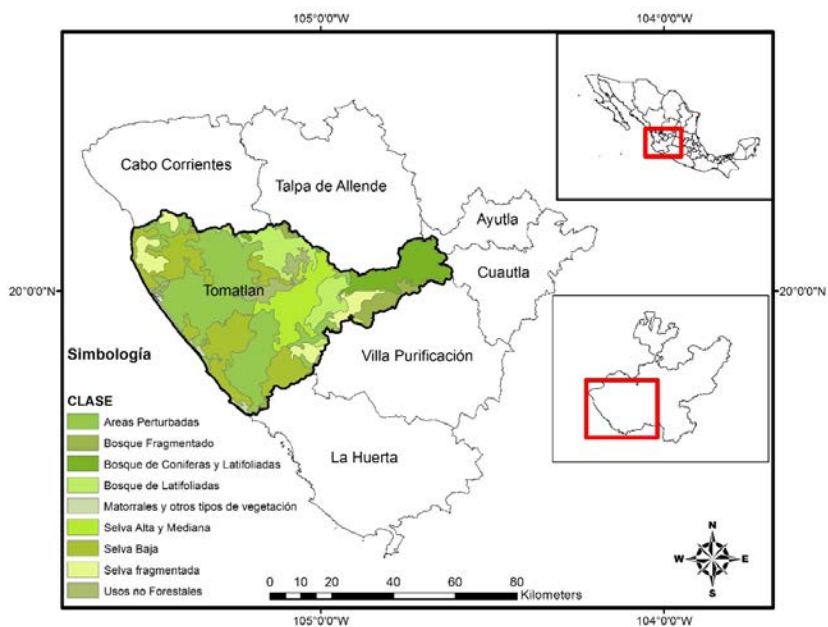
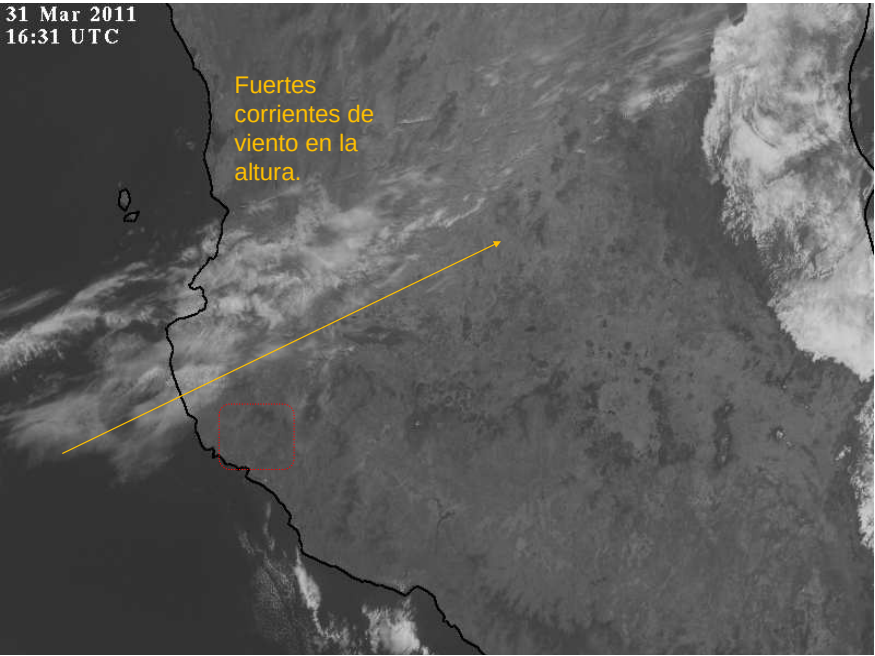


Figura 3

Sistema atmosférico asociado a la ocurrencia de incendios forestales.



Fuente: *Marshall Space Flight Center* (MSFC)

La biodiversidad de copépodos
en la bahía de La Paz,
Golfo de California

*Copepod biodiversity in La Paz Bay,
Gulf of California*

José Ricardo Palomares-García^{1*}
Sergio Hernández-Trujillo¹
Gabriela María Esqueda-Escárcega¹
Alfredo Pérez-Morales²

¹ Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Departamento de Plancton y Ecología Marina. Av. Instituto Politécnico Nacional s/n Col. Playa Palo de Santa Rita CP 23090, La Paz, Baja California Sur, México. Correo-e: rpalomar@ipn.mx.

² Centro Universitario de Investigaciones Oceanológicas. Universidad de Colima. Carretera Manzanillo-Barra de Navidad Km 20. Col. El Naranjo. CP 28860. Manzanillo, Colima, México.

Resumen

Los copépodos representan más del 60% de la biomasa anual del zooplancton pelágico, en la bahía de La Paz, por ello en este trabajo se compiló y analizó la información disponible, publicada y original, de la comunidad de copépodos y haciendo énfasis en aquellas especies que aportan una mayor proporción de la biomasa, con el propósito de establecer una línea base del conocimiento del grupo que aporta una buena parte de la producción secundaria en esta zona.

Palabras clave

Calanoida, Copepoda, Golfo de California, Producción secundaria, Zooplancton.

Abstract

The Copepoda group represents more than 60% of annual zooplankton biomass in the epipelagic ecosystem from La Paz Bay. Therefore, we compiled and analyzed original data available for this region, with emphasis in the dominant species, in terms of abundance. The goal is to define a base line of knowledge of the copepod group that represents one of the most important sources of secondary production in this zone.

Keywords

Calanoida, Copepoda, Gulf of California, Secondary production, Zooplankton.

Introducción

El grupo de los copépodos es el taxón más diverso del zooplancton marino, sobresaliendo por el número de especies los órdenes: Calanoida, Poecilostomatoida, Harpacticoida y Siphonostomatoida, de estos, el orden Calanoida es el que predomina en el zooplancton marino con 3,307 especies marinas reportadas en los mares del mundo distribuidas en 42 familias (WORMS, 2017). Habitan tanto en cuerpos de agua dulce como marinos; en aguas costeras pueden encontrarse en altas biomásas, donde algunas poblaciones pueden alcanzar los 1.5×10^6 individuos/m³ (Huys y Boxshall 1991). Por ejemplo, en aguas oceánicas, la especie de aguas templadas *Calanus finmarchicus* puede formar “enjambres” que cubren hasta 2500 km² (Mauchline, 1998).

Los copépodos, representan entre el 60 y el 80% de la biomasa de la comunidad zooplanctónica y a pesar de que la mayoría de los copépodos tiene un tamaño reducido (~ 0.3 y 5 mm), son responsables de la mayor parte de la transferencia de energía del fitoplancton hacia niveles tróficos superiores, donde los peces son el principal eslabón y en menor medida crustáceos, contando ambos grupos con representantes depredadores tanto en etapas larvarias como adultas (Drillet *et al.*, 2011; Pérez-Morales *et al.*, 2015). De hecho, se ha documentado que el pez conocido más grande el tiburón ballena (*Rhyncodon typus*), se alimenta principalmente de copépodos durante su etapa juvenil en el interior de la bahía de La Paz (Clark y Nelson 1997; Ketchum *et al.*, 2012).

No obstante, en el zooplancton marino están representados solo 5 de los 10 órdenes reconocidos: Calanoida, Cyclopoida, Harpacticoida, Siphonostomatoida y Monstrilloida. Aunque existe discusión respecto a la validez de los órdenes Poecilostomatoida y Monstrilloida (Huys *et al.*, 2007; Suárez-Morales, 2011; Boxshall y Walter, 2017), en este trabajo se consideró la clasificación de Huys y Boxshall (1991) por ser la más conservativa.

En el océano Pacífico mexicano se distribuyen cerca de 200 especies de copépodos pelágicos (Palomares-García *et al.*, 1998; Suárez-Morales y Gasca, 1998; Suárez-Morales *et al.*, 2000; Hernández-Trujillo y Esqueda-Escárcega, 2002), pero este número se incrementa frecuentemente con nuevos registros (Hernández-Tru-

jillo *et al.*, 2004; Suárez-Morales y Kozak, 2012; Kozak *et al.*, 2014). Usualmente la mayoría de las especies pelágicas son de amplia distribución y sólo algunas pueden considerarse endémicas, pero en el Pacífico mexicano y particularmente en el Golfo de California algunas especies como: *Labidocera diandra*, *L. johnsoni* y *L. kolpos*, fueron descritas para estas zonas (Suárez-Morales y Gasca, 1998). Algo similar sucede en el caso de los monstroloides *Cymbasoma californiense*, *C. guerrense* y *Monstrilla gibbosa*, considerados como endémicos del Pacífico de México (Suárez-Morales y Palomares-García, 1995, 1999; Barranco-Ramírez *et al.*, 2002; Suárez-Morales y Morales-Ramírez, 2009).

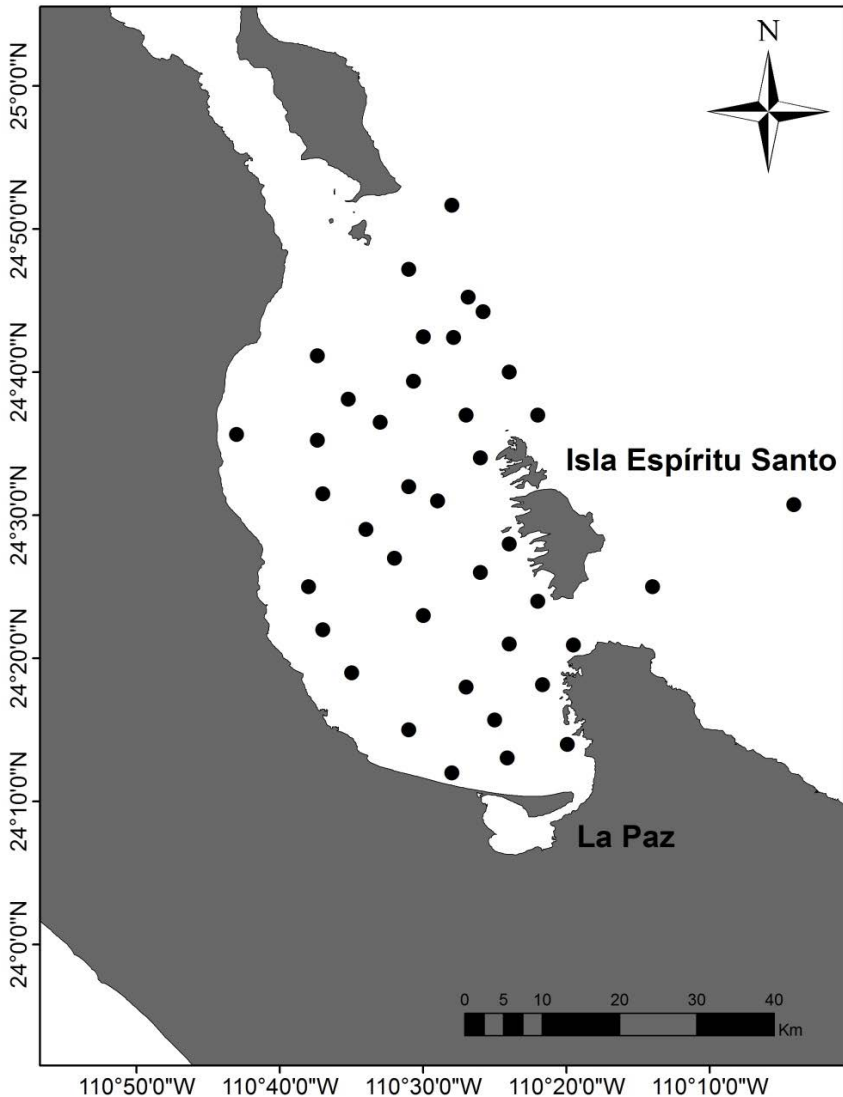
En el Pacífico tropical oriental se han registrado alrededor de 480 especies de copépodos pelágicos (Razouls *et al.*, 2017), mientras que para la bahía de La Paz solo se han observado 96 especies, que representan un 21 % (Lavaniegos y González-Navarro, 1999), para la ensenada de La Paz el máximo observado a lo largo de un ciclo anual es de 59 especies (13%). Dado lo anterior, en este trabajo se pretende establecer una línea base del conocimiento de los copépodos que habitan en la bahía de La Paz a partir del análisis de la literatura disponible y complementada con la información de investigaciones puntuales, propias e inéditas realizadas en la región.

Metodología

Se llevó a cabo una revisión bibliográfica *in situ* (bibliotecas) y en línea (Google Scholar, Science Direct, Scopus) sobre lo publicado de copépodos en la ensenada y bahía de La Paz (figura 1), esto con el fin de obtener información de las especies reportadas, así como de su abundancia. Con esa información se construyó una serie histórica de la diversidad y abundancia del grupo, que fue complementada con datos inéditos obtenidos en proyectos con contaron con apoyo de la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional, entre los años 2000 y 2011.

Figura 1

Puntos de muestreo de zooplancton considerados (Signoret y Santoyo, 1980; Lavaniegos y González-Navarro, 1999; De Silva-Dávila y Palomares-García, 2002; Ketchum, 2003; Aceves-Medina *et al.*, 2007 y Hernández-Trujillo *et al.*, 2007).



El listado que se presenta en la tabla 1 (anexo), incluye copépodos pelágicos, epibentónicos y algunas especies parásitas que forman parte del zooplankton durante la etapa adulta. Los datos de clorofila *a* y temperatura superficial del mar registradas en las publicaciones, se complementaron con datos *in situ* de los proyectos propios y con información de sensores remotos tomada del sistema de datos en línea Giovanni, desarrollados y mantenidos por la NASA DISCO GES. En virtud de que la base de datos utilizada incorpora estudios con diferente temporalidad y frecuencia, la comparación histórica de la abundancia y riqueza específica, no se puede establecer con base a un ciclo estacional o multianual. Por ello, el análisis se enfocó a la caracterización de la comunidad de copépodos en relación a la temperatura superficial del mar (TSM) y a la concentración de clorofila *a*, como *proxis* de las condiciones ambientales. La estructura de la comunidad de copépodos en la bahía de La Paz, se evaluó mediante el uso de un diagrama de dispersión de Olmstead y Tukey, utilizando la frecuencia de aparición de las especies de copépodos en cada zona muestreada *vs.* su abundancia, transformada previamente mediante una transformación logarítmica (Sokal y Rohlf, 1994).

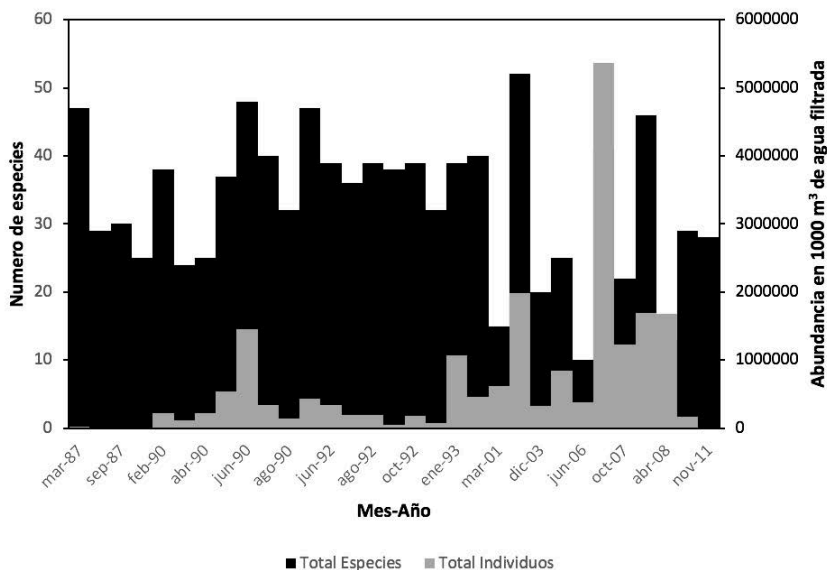
Resultados y discusiones

En la bahía de La Paz se registró un total de 146 especies (tabla 1-anexo) pertenecientes a 5 órdenes, 28 familias y 47 géneros, lo que significa un incremento cercano al 52% (50 especies) respecto a lo registrado en la literatura para la bahía de La Paz (Lavaniegos y González-Navarro, 1999) y representa 2.5 veces más a lo registrado para la ensenada de La Paz (59 especies, Palomares-García, 1996), ubicada en la región sur de la bahía. De los 5 órdenes registrados en la bahía de La Paz, el orden Calanoida es el más diverso, pues cerca del 68% de las especies reconocidas en aguas mexicanas del Pacífico pertenecen a este orden; le siguen el orden Cyclopoida (17%), Harpacticoida, Siphonostomatoida y Monstrilloida con cerca de 5% cada uno. De acuerdo a los resultados de éste y otros trabajos (Signoret y Santoyo, 1980; Palomares-García, 1996; Lavaniegos y Gonzalez-Navarro, 1999), en la bahía y ensenada de La Paz mantiene esta proporción (58% Calanoida, 43% Poecilostomatoi-

da, 10% Cyclopoida, 6% Harpacticoida y 2% Monstrilloida) aunque los números totales son menores.

El mayor número de especies identificadas fue de 52 en abril de 2003 y el menor fue de 10 en junio de 2006; el promedio de la riqueza de especies fue de 33 especies; respecto a la abundancia, se observa una amplia variación en la que el máximo valor se ubica en noviembre de 2006, con más de 5×10^6 individuos/100 m³ (figura 2).

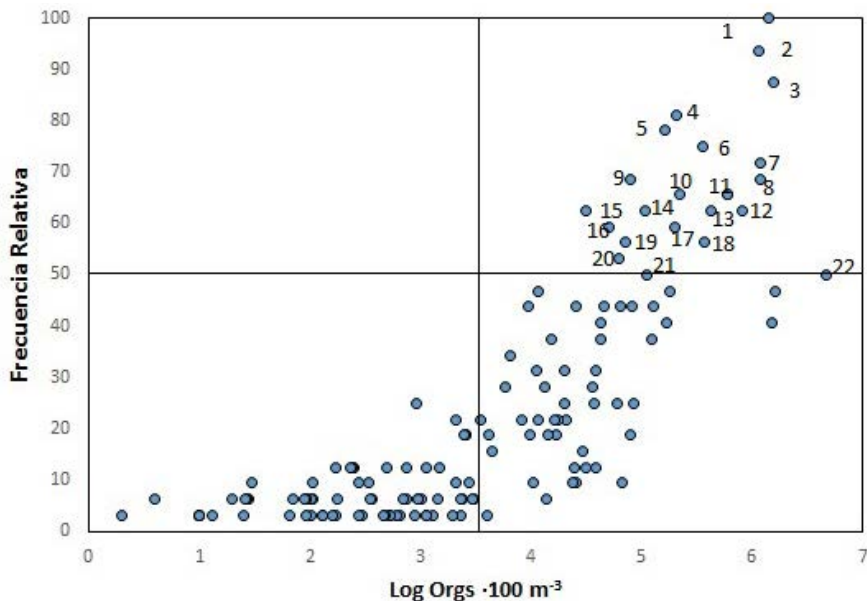
Figura 2
Serie histórica de abundancia y riqueza específica de copépodos en la ensenada y bahía de La Paz.



En el diagrama frecuencia-abundancia (figura 3) se observa que el 16% de las especies de copépodos identificados han sido dominantes en prácticamente todos los estudios efectuados en la bahía y ensenada de La Paz, 37% han permanecido constantes y 46% se han observado con escasa frecuencia.

Figura 3

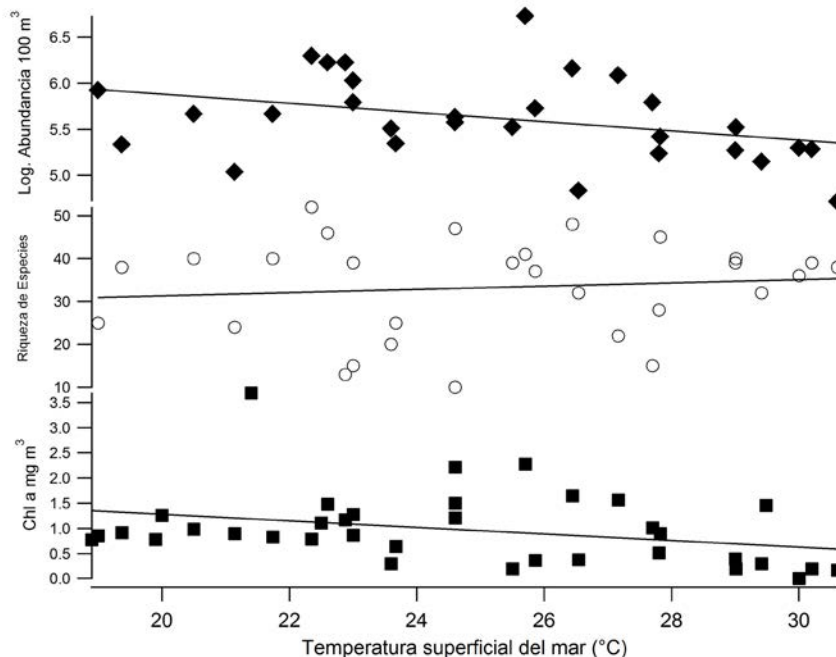
Relación frecuencia vs abundancia de especies de copépodos, datos discretos (1987-2011). 1. *Temora discaudata*, 2. *Centropages furcatus*, 3. *Oithona plumífera*, 4. *Acartia danae*, 5. *Corycaeus speciosus*, 6. *Paracalanus parvus*, 7. *Undinula vulgaris*, 8. *Canthocalanus pauper*, 9. *Copilia mirabilis*, 10. *Labidocera acuta*, 11. *Subeucalanus mucronatus*, 12. *Clausocalanus furcatus*, 13. *Paracalanus aculeatus*, 14. *Acrocalanus longicornis*, 15. *Calocalanus pavo*, 16. *Pareucalanus sewelli*, 17. *Corycaeus catus*, 18. *Clausocalanus arcuicornis*, 19. *Scolecithrix danae*, 20. *Subeucalanus subtenuis*, 21. *Corycaeus andrewsi*, 22. *Acartia lilljeborgi*.



A lo largo del lapso estudiado, la comunidad de copépodos estuvo inmersa en un ambiente en el que la concentración de clorofila *a* tuvo una tendencia negativa con el aumento de la temperatura superficial del mar ($p > 0.05$), al igual que la abundancia del grupo ($p > 0.05$), en tanto que la relación fue positiva entre ésta variable y la riqueza de especies ($p > 0.05$) (figura 4).

Figura 4

Diagrama de dispersión de la concentración de clorofila a, la riqueza de especies y Log de la abundancia de copépodos respecto a la temperatura superficial del mar ($p > 0.05$ en todos los casos).



La mayor parte de los copépodos epipelágicos tienen una amplia distribución y no es raro encontrar especies cosmopolitas o de distribución circunglobal. En el orden Calanoida, la familia Pontellidae fue la mejor representada con 20 especies, seguida de la familia Paracalanidae con 10, Clausocalanidae y Candacidae con 7 cada una y Acartiidae con 6. Estas 6 familias agruparon a 50 especies, las otras 49 se distribuyeron en las restantes 12 familias de éste orden. El hecho de que la familia Pontellidae sea la mejor representada, contrasta con estudios previos realizados por Lavaniegos y González-Navarro (1999), Palomares-García (1996) y Aceves *et al.* (2007), pero es coincidente con lo observado por Hernández-Trujillo (2004) en la parte sur de la Península de Baja California.

Esto se explica en función de la fuerte presencia de aguas de la región sur del Golfo de California, en la porción norte de la bahía, donde en la cuenca Alfonso se alcanzan hasta 400 m de profundidad. En esta región profunda se han registrado muchas de las especies propias de ambientes oceánicos, que no habían sido registradas para la zona (se marcan con * en la tabla I). En cambio, en la región sur de la bahía, donde predominan las aguas neríticas, habitan comúnmente las especies pertenecientes a las familias Paracalanidae, Candacidae y Clausocalanidae, quienes aportan un número significativo de especies y se presentan con frecuencias elevadas (figura 2). También en el extremo sur de esta zona, es donde se han registrado las máximas densidades de las especies del género *Acartia*, y donde recurrentemente se ha observado al tiburón ballena alimentándose (Palomares-García, 1996; Clark y Nelson, 1997; Ketchum *et al.*, 2012).

Los siguientes órdenes en importancia fueron Cyclopoida y Poecilostomatoida. El primero sólo estuvo representado por la familia Oithonidae con 9 especies y el segundo por las familias Corycaidae con 24 especies, Sapphirinidae con 14 y Oncaeidae con 5. Estas familias son comunes en la zona nerítica y visitantes habituales en ambientes lagunares, donde incluso llegan a ser co-dominantes junto con las especies pertenecientes al género *Acartia* (Palomares-García, 1992; Palomares-García y Gómez-Gutiérrez, 1996). El orden Harpacticoida, está conformado en su mayoría por especies bentónicas. No obstante, existen especies epipelágicas de amplia distribución que también fueron registradas en este estudio, donde el harpacticóide *Euterpina acutifrons* es la especie más común y abundante. Aunque los miembros del orden Monstrilloida son eminentemente parásitos de invertebrados, en su fase adulta pueden llegar a registrarse en el plancton, donde liberan sus huevos.

El hecho de no haber encontrado representantes de los órdenes Platycopioidea, Misophrioida y Mormonilloidea, se debe en buena medida al tipo de muestreo empleado, que consiste básicamente de arrastres superficiales. Y dado que la mayoría de estas especies son bentónicas y/o parásitas, esto limita fuertemente su probabilidad de captura en el medio pelágico. Por otro lado, buena

parte de especies de copépodos que fueron registradas por primera ocasión para la zona son integrantes del microzooplancton ($< 200 \mu\text{m}$), esta fracción de tamaño no había sido analizada en estudios anteriores, tanto dentro como fuera de la bahía (Signoret y Santoyo, 1980; Lavaniegos y González-Navarro, 1999; De Silva-Dávila y Palomares-García, 2002; Ketchum, 2003; Aceves-Medina *et al.*, 2007; Hernández-Trujillo *et al.*, 2008). El número de especies registradas en la bahía de La Paz contrasta con bahías situadas al norte de la costa peninsular (33 especies en promedio en bahía de La Paz y 21 en la bahía de Los Ángeles, Lavaniegos *et al.*, 2012). Esto puede relacionarse con una mayor presencia de especies de afinidad tropical, asociada con una mayor influencia de aguas provenientes de la región sur del Golfo de California y/o de la influencia estacional de las aguas ecuatoriales.

Conclusiones

La evaluación de la diversidad de los copépodos de vida libre en los ecosistemas pelágicos es esencial desde el punto de vista trófico, dado que son el vínculo entre la producción primaria y los consumidores secundarios, como las larvas y juveniles de peces y otras especies meroplantónicas. La composición específica y los ciclos biológicos de las especies son igualmente factores esenciales que requieren monitoreo continuo en las zonas costeras y oceánicas, ya que las especies se convierten en indicadores importantes de masas de agua, de productividad biológica, de condiciones de salud de ecosistemas, de impactos climáticos de corto, mediano y largo plazo, entre otros.

Literatura citada

- Aceves-Medina, G., Esqueda-Escárcega, G. M., Pacheco-Chávez, R., Zárate-Villafranco, A., Hernández-Alfonso, J. R. y Hernández-Trujillo, S. (2007). Cambios diarios en la composición y abundancia de copépodos planctónicos al sur de Bahía de La Paz (octubre de 2002). *Hidrobiológica*, 17(2), 185-188.
- Barranco-Ramírez, E. Gómez, S. & Suárez-Morales, E. (2002) Supplementary description and illustrated record of *Monstrilla gibbosa* Suárez-Morales & Palomares-García, 1995 (Copepoda, Monstrilloida) from Sinaloa, México. *Crustaceana*, 74, 1279-1289.

- Boxshall, G. & Walter, T. C. (2017). Poecilostomatoida. World of Copepods database. Retrieved from: <http://www.marinespecies.org/copepoda/aphia.php?p=taxdetails&id=1103>.
- Clark, E. & Nelson, D. R. (1997) Young whale sharks, *Rhincodon typus*, feeding on copepod bloom near La Paz, México. *Environmental Biology of Fishes*, 50, 63-73.
- De Silva-Davila, R. & Palomares-García, R. (2002) Distributional patterns of the euphausiid community in Bahía de La Paz, B.C.S., México. *Contribution to the Study of East Pacific Crustaceans*, 1, 109-125.
- Drillet, G., Frouël, S., Sichlau, M. H., Jepsen, P. M., Højgaard, J. K., Joarder, A. K. & Hansen B. W. (2011). Status and recommendations on marine copepod cultivation for use as live feed. *Aquaculture*, 315, 155-166. doi.10.1016/j.aquaculture.2011.02.027.
- Hernández-Trujillo, S. (1999) Variability of community structure of Copepoda related to El Niño 1982-83 and 1987-88 along the west coast of Baja California Peninsula, Mexico. *Fisheries Oceanography*, 8 (4), 284-295.
- Hernández-Trujillo, S. y Esqueda-Escárcega, G.M. (2002) La diversidad de copépodos marinos en México. *CICIMAR Océánides*, 17(1), 57-68.
- Hernández-Trujillo, S., Palomares-García, R., López-Ibarra, G., Esqueda-Escárcega, G. y Pacheco-Chávez, R. (2004). Riqueza específica de copépodos en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. *Anales del Instituto de Biología de la UNAM, Serie Zoológica*, 75(2), 253-270.
- Hernández-Trujillo, S., Zárate-Villafranco, A., Pacheco-Chávez, R., Esqueda-Escárcega, M. G., Hernández-Alfonso, J. R. y Aceves-Medina, G. (2008) Variación estacional de la producción de huevos del copépodo calanoideo *Centropages furcatus* (Dana, 1852) en la Bahía de La Paz, México. *Hidrobiológica*, 18, 61-67.
- Huys, R. & Boxshall, G. A. (1991) Copepod evolution. London: The Ray Society.
- Huys, R., Llewellyn-Hughes, J., Conroy-Dalton, S., Olson P. D., Spinks, J. N. & Johnston, D. A. (2007). Extraordinary host switching in siphonostomatoid copepods and the demise of the Monstrilloidea: Integrating molecular data, ontogeny and antennular morphology. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 43, 368-378.
- Ketchum-Mejia, J. T. (2003). Distribución espacio-temporal y ecología alimentaria del tiburón ballena (*Rhincodon typus*) en la bahía de La Paz y zonas adyacentes en el Suroeste del Golfo de California. (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, Baja California Sur, México.
- Ketchum, J. T., Galván-Magaña, F. & Klimley, A. P (2012). Segregation and foraging ecology of whale sharks, *Rhincodon typus*, in the southwestern Gulf of California. *Environmental Biology of Fishes*, 96(6), 779-795.
- Kozak, E., Franco-Gordo C., Suárez-Morales, E. & Palomares-García R. (2014). Seasonal and interannual variability of the calanoid copepod community structure in shelf waters of the Eastern Tropical Pacific. *Marine Ecology Progress Series*, 507, 95-110.

- Lavaniegos, B. E. y González-Navarro, E. (1999). Grupos principales del zooplankton durante El Niño 1992-93 en el Canal de San Lorenzo, Golfo de California. *Revista de Biología Tropical*, 47, 129-140.
- Lavaniegos, B. E., Heckel, G. y Ladrón de Guevara, P. (2012). Variabilidad estacional de copépodos y cladóceros de bahía de los Ángeles (Golfo de California) e importancia de *Acartia clausi* como alimento del tiburón ballena. *Ciencias Marinas*, 38(1A), 11-30.
- Mauchline, J. (1998). *Advances in marine biology. The biology of calanoid copepods* Vol. 33. Netherlands: Academic Press.
- Palomares-García, R. (1992). Análisis de la taxocenosis de los copépodos en el complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas, Baja California Sur durante 1985-1986. *Ciencias Marinas*, 18(3), 29-43.
- Palomares-García, R. (1996). Estructura espacial y variación estacional de los copépodos en la Ensenada de la Paz. *CICIMAR Océánides*, 11, 29-43.
- Palomares-García, R. & Gómez-Gutiérrez, J. (1996). Copepod community structure at Bahía Magdalena, México during El Niño 1983-1984. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 43, 583-595.
- Palomares-García, R., Suárez-Morales, E. y Hernández-Trujillo, S. (1998). *Catálogo de los copépodos (Crustacea) pelágicos del Pacífico Mexicano*. México: CICIMAR/ ECOSUR.
- Pérez-Morales, A., Martínez-López, A. & Camalich-Carpizo, J. M. (2015). Dry weight, carbon, C/N ratio, hydrogen, and chlorophyll variation during exponential growth of selected microalgae species used in aquaculture. *CICIMAR Océánides*, 30, 33-43.
- Razouls, C., de Bovée F., Kouwenberg, J. & Desreumaux N. (2017). Diversity and geographic distribution of marine planktonic copepods. Retrieved from: <http://copepodes.obs-banyuls.fr/en>.
- Signoret, M. & Santoyo, H. (1980). Aspectos ecológicos del plancton de la Bahía de La Paz, B.C.S. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 7(2), 217-248.
- Suárez-Morales, E. (2011). Diversity of the Monstrilloida (Crustacea: Copepoda). *PLoS ONE* 6(8). doi.10.1371/journal.pone.0022915
- Suárez-Morales, E. & Palomares-García, R. (1995). A new species of *Monstrilla* (Copepoda: Monstrilloida) from a coastal system of the Baja California Peninsula, Mexico. *Journal of Plankton Research*, 17, 745-752.
- Suárez-Morales, E. & Gasca, R. (1998). Update checklist of the free-living marine Copepoda (Crustacea), of México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 69, 105-119.
- Suárez-Morales, E. & Palomares-García, R. (1999). *Cymbasoma californiense*, a new monstrilloid (Crustacea: Copepoda: Monstrilloida) from Baja California, Mexico. *Proceedings of Biological Society of Washington*, 112, 189-198.
- Suárez-Morales, E. & Morales-Ramírez, A. (2009). New species of Monstrilloida (Crustacea: Copepoda) from the Eastern Tropical Pacific. *Journal of Natural History*, 43, 1257-1271.
- Suárez-Morales, E. & Kozak, E. R. (2012). Redescription of the poorly known planktonic copepod *Pontellopsis lubbockii* (Giesbrecht, 1889) (Pontelli-

- dae) from the Eastern Tropical Pacific with a key to species. *ZooKeys*, 234, 1-18.
- Suárez-Morales, E., Franco-Gordo, C. & Saucedo, M. (2000). On the pelagic copepod (Crustacea: Copepoda) community of the central Mexican tropical Pacific (autumn, 1990). *Crustaceana*, 73(6), 751-761.
- Sokal, R. R. & Rohlf, F. J. (1994). Biometry. The principles and practice of statistics in biological research (3rd ed.). New York: Freeman.
- WORMS (2017). World register of marine species. Retrieved from: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=1100>.

Anexo

Tabla 1
Listado taxonómico de copépodos pelágicos
de la bahía de La Paz, Baja California Sur.

Orden	Familia	Género	Especie
Calanoida	Acartiidae	<i>Acartia</i>	<i>clausi</i> Giesbrecht 1892
			<i>danae</i> Giesbrecht 1889
			<i>lilljeborgii</i> Giesbrecht 1889
			<i>longiremis</i> lilljeborg 1853
			<i>negligens</i> Dana 1849
			<i>tonsa</i> Dana 1849
	Aetideidae	<i>Aetideus</i>	<i>armatus</i> (Boeck 1872)*
	Calanidae	<i>Calanus</i>	<i>pacificus</i> Brodsky 1948
		<i>Canthocalanus</i>	<i>pauper</i> (Giesbrecht 1888)
		<i>Cosmocalanus</i>	<i>darwinii</i> (Lubbock 1860)
	Calocalanidae	<i>Nannocalanus</i>	<i>minor</i> (Claus 1863)
		<i>Calocalanus</i>	<i>pavo</i> (Dana 1849)
			<i>plumulosus</i> (Claus 1863)
			<i>styliremis</i> (Giesbrecht 1888)
			<i>tenuis</i> Farran 1926
		Candaciidae	<i>Candacia</i>
			<i>aethiopica</i> (Dana 1849)
			<i>catula</i> Giesbrecht 1889
			<i>curta</i> (Dana 1849)
			<i>pachydactyla</i> Dana 1849*
			<i>pectinata</i> Boeck 1872*
			<i>pofi</i> Grice & Jones 1960
			<i>truncata</i> (Dana 1849)
		Centropagidae	<i>Centropages</i>
			<i>calaninus</i> (Dana 1849)*
			<i>elongatus</i> Giesbrecht 1896
			<i>furcatus</i> (Dana 1849)
			<i>gracilis</i> (Dana 1849)
			<i>longicornis</i> Mori 1932*
		Clausocalanidae	<i>Clausocalanus</i>
			<i>arcuicornis</i> (Dana 1849)
			<i>farrani</i> Sewell 1929
			<i>furcatus</i> (Brady 1883)
			<i>mastigophorus</i> (Claus 1863)
			<i>parapergens</i> (Frost y Fleming 1968)
			<i>pergens</i> Farran 1926
			sp.
	Eucalanidae	<i>Pareucalanus</i>	<i>sewelli</i> (Fleminger 1973)

Orden	Familia	Género	Especie
		<i>Rhincalanus</i>	<i>nasutus</i> Giesbrecht 1888
		<i>Subeucalanus</i>	<i>mucronatus</i> (Giesbrecht 1888)
			<i>pileatus</i> (Giesbrecht 1888)
	Eucalanidae	<i>Subeucalanus</i>	<i>subtenuis</i> (Giesbrecht 1888)
	Euchaetidae	<i>Euchaeta</i>	<i>indica</i> Wolfenden 1905
			<i>longicornis</i> Giesbrecht 1888
			<i>media</i> Giesbrecht 1888
			<i>rimana</i> (Bradford 1974)
			sp.
	Heterorhabdidae	<i>Heterorhabdus</i>	<i>papiliger</i> (Claus 1863)
	Lucicutiidae	<i>Lucicutia</i>	<i>flavicornis</i> (Claus 1863)
	Mecynoceridae	<i>Mecynocera</i>	<i>clausi</i> Thompson 1888
	Metridinidae	<i>Pleuromama</i>	<i>gracilis</i> (Claus 1863)
			<i>quadrungulata</i> (F. Dahl 1893)
	Paracalanidae	<i>Acrocalanus</i>	<i>andersoni</i> Bowman 1958
			<i>gibber</i> Giesbrecht 1888
			<i>longicornis</i> Giesbrecht 1888
			<i>monachus</i> Giesbrecht 1888
		<i>Bestiolina</i>	sp*
		<i>Paracalanus</i>	<i>aculeatus</i> Giesbrecht 1888
			<i>indicus</i> Wolfenden 1905
			<i>parvus</i> (Claus 1863)
		<i>Pareucalanus</i>	<i>sewelli</i> (Fleminger 1973)
		<i>Parvocalanus</i>	<i>crassirostris</i> (F. Dahl 1894)
	Pontellidae	<i>Calanopia</i>	<i>eliptica</i> (Dana 1849)
		<i>Labidocera</i>	<i>acuta</i> (Dana 1849)
			<i>acutifrons</i> (Dana 1849)
			<i>detruncata</i> (Dana 1849)
			<i>diandra</i> Fleminger 1967
			<i>johnsoni</i> Fleminger 1964
			<i>jollae</i> Esterly 1906*
			<i>trispinosa</i> Esterly 1905
			sp.
		<i>Pontella</i>	<i>agassizii</i> Giesbrecht 1895*
			<i>fera</i> (Dana 1849)
			<i>securifer</i> Brady 1883
			sp.
		<i>Pontellina</i>	<i>plumata</i> (Dana 1849)
		<i>Pontellopsis</i>	<i>armata</i> (Giesbrecht 1889)
			<i>occidentalis</i> Esterly 1906
			<i>perspicax</i> (Dana 1852)
			<i>regalis</i> (Dana 1849)

LA BIODIVERSIDAD DE COPÉPODOS EN LA BAHÍA DE LA PAZ...

Orden	Familia	Género	Especie
			<i>tenuicauda</i> (Giesbrecht 1889)
	Pseudodiaptomidae	<i>Pseudodiaptomus</i>	<i>euryhalinus</i> Johnson 1939
			<i>wrighti</i> Johnson 1964
	Scolecithricidae	<i>Scolecithrix</i>	<i>danae</i> (Lubbock 1856)
		<i>Scolecithricella</i>	sp.
	Temoridae	<i>Temora</i>	<i>discaudata</i> Giesbrecht 1892
Cyclopoida	Incertae sedis	<i>Pachos</i>	<i>dentatum</i> Claus 1863
		<i>Oithona</i>	<i>decipiens</i> Farran 1913
			<i>fallax</i> Farran 1913
			<i>nana</i> Giesbrecht 1992
			<i>plumifera</i> Baird 1843
			<i>rigida</i> Giesbrecht 1896
			<i>robusta</i> Giesbrecht 1891
			<i>setigera</i> (Dana 1849)
			<i>similis</i> Claus 1866
			<i>tenuis</i> Rosendorn 1917
Harpacticoida	Clytemnestridae	<i>Clytemnestra</i>	<i>rostrata</i> (Brady 1883)
			<i>scutellata</i> Dana 1852
	Ectinosomatidae	<i>Microsetella</i>	<i>norvergica</i> (Boeck 1864)
			<i>rosea</i> (Dana 1848)
	Miraciidae	<i>Macrosetella</i>	<i>gracilis</i> (Dana 1848)
	Tachiidae	<i>Euterpina</i>	<i>acutifrons</i> (Dana 1848)
		<i>Cymbasoma</i>	<i>californiense</i> Suárez-Morales y Palomares-García 1999
		<i>Monstrilla</i>	<i>gibbosa</i> Suárez-Morales y Palomares-García 1995
Poecilostomatoida	Corycaeidae	<i>Corycaeus</i>	<i>affinis</i> McMurrich 1916
			<i>agilis</i> McMurrich 1916
			<i>anglicus</i> Lubbock 1857
			<i>amazonicus</i> F. Dahl 1894
			<i>andrewsi</i> (Farran 1911)
			<i>catus</i> F. Dahl 1894
			<i>clausi</i> F. Dahl 1894
			<i>crassiusculus</i> Dana 1848
			<i>flaccus</i> Giesbrecht 1891
			<i>latus</i> Dana 1848
			<i>lautus</i> Dana 1848
			<i>limbatus</i> Brady 1883
			<i>ovalis</i> Claus 1863
			<i>pacificus</i> F. Dahl 1894
			<i>pumilus</i> Dahl 1912
			<i>speciosus</i> Dana 1849

Orden	Familia	Género	Especie
			<i>flaccus</i> Giesbrecht 1891
			<i>typicus</i> (Kroyer 1849)
			sp.
		<i>Farranula</i>	<i>carinata</i> (Giesbrecht 1891)
			<i>gibbula</i> (Giesbrecht 1891)*
			<i>gracilis</i> (Dana 1849)
			<i>rostrata</i> (Claus 1863)
			sp.
	Oncaeidae	<i>Lubbockia</i>	<i>squillimana</i> Claus 1863*
		<i>Oncaea</i>	<i>conifera</i> Giesbrecht 1891
			<i>media</i> Giesbrecht 1891
			<i>mediterranea</i> Giesbrecht 1891
			<i>venusta</i> Philipii 1843
		<i>Copilia</i>	<i>longistylis</i> Mori 1932
			<i>mirabilis</i> Dana 1849
			<i>quadrata</i> Dana 1852
	Sapphirinidae	<i>Sapphirina</i>	<i>angusta</i> Dana 1849
			<i>auronitens</i> Claus 1863
			<i>gástrica</i> Giesbrecht 1891
			<i>gemma</i> Dana 1849
			<i>intestinata</i> Giesbrecht 1891
			<i>nigromaculata</i> Claus 1863
			<i>opalina</i> Dana 1849
			<i>ovotolanceolata</i> Dana 1849
			<i>scarlata</i> Giesbrecht 1892
			<i>stellata</i> Giesbrecht 1891
			sp.

Cultivo de larvas de peces en el Pacífico mexicano: problemáticas y perspectivas

*Fish larvae rearing in the Mexican Pacific:
Problems and perspectives*

Emyr Saúl Peña-Marín^{1,5}

Leonardo Ibarra-Castro²

Juan Manuel Martínez-Brown^{2,5}

Dariel Tovar-Ramírez³

Gloria Gertrudys Asencio-Alcudia³

Alfredo Pérez-Morales⁴

Carlos Alfonso Álvarez-González¹

¹ Laboratorio de Acuicultura Tropical. División Académica de Ciencias Biológicas – Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5. CP 86139. Villahermosa, Tabasco, México. Correo-e: ocemyr@yahoo.com.mx.

² Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C., Mazatlán Unit. Av. Sábalo Cerritos s/n, Estero del Yugo. CP 89010. Mazatlán, Sinaloa, México.

³ Laboratorio de Fisiología Comparada y Genómica Funcional, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Calle IPN 195. CP 23096. La Paz, Baja California Sur, México.

⁴ Centro Universitario de Investigaciones Oceanológicas. Universidad de Colima. Carretera Manzanillo-Barra de Navidad Km 20. Col. El Naranjo. CP 28860. Manzanillo, Colima, México.

⁵ Cátedra-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Resumen

El Pacífico mexicano posee una gran diversidad de peces con potencial de cultivo acuícola, lo cual ha generado un gran interés por diversos grupos de investigación y centros productores con el fin de impulsar el desarrollo de la tecnología de cultivo, siendo el manejo larvario y producción de juveniles el cuello de botella para dicho desarrollo. Diversas especies distribuidas en zonas templadas y tropicales del Pacífico mexicano son aptas para el desarrollo de su zootecnia, lo que incluye especies de las familias Lutjanidae, Carangidae, Scianidae, Centropomidae, Tetraodontidae, Serranidae y Paralichthyidae, entre otras. Es así que el conocer a detalle diversos aspectos tales como el desarrollo morfo-fisiológico de la especie, manejo larvario y alimentación, así como sistemas de calidad en el cultivo, permitirá el desarrollo sustentable de la maricultura en aguas del Pacífico Mexicano.

Palabras clave

Cultivo larvario; maricultura; morfo-fisiología, nutrición larval

Abstract

The Mexican Pacific ocean has a great diversity of fishes with aquaculture potential, which has generated a great interest by diverse research groups and producing centers with the purpose of promoting the development of culture technology, being the larval management and production of juveniles a bottleneck for such development. Several species distributed in temperate and tropical areas of the Mexican Pacific Ocean are suitable for the zootechnics development, including species of the family Lutjanidae, Carangidae, Scianidae, Tetraodontidae, Serranidae, and Paralichthyidae among others. Therefore, knowledge of diverse aspects such as the morpho-physiological development of the species, larval management and feeding, as well as quality systems in the culture, will allow the sustainable development of mariculture in the Mexican Pacific waters.

Keywords

Larval culture; mariculture; morpho-physiology; larval nutrition.

Introducción

Los estudios en larvas de peces marinos con potencial acuícola y comercial en el Pacífico mexicano son diversos y se enfocan principalmente a especies de las familias Lutjanidae, Serranidae, Scianidae, Carangidae, Centropomidae, Tetraodontidae y Paralichthyidae. La producción masiva de juveniles de especies marinas es el principal cuello de botella para el desarrollo de la zootecnia de peces marinos en México. No obstante que la producción de juveniles de especies marinas en Europa y Asia se encuentra bien desarrollada, en México aún se presenta un rezago en su desarrollo. Actualmente, esta industria se basa en la captura, donde gran parte de los juveniles usados para producción son obtenidos a partir de poblaciones silvestres para ser engordados en jaulas (Avilés-Quevedo, 2006). Debido a lo anterior, se ha generado la necesidad de desarrollar tecnologías adecuadas para el cultivo de diferentes especies marinas con importancia comercial en el mercado nacional e internacional, y a pesar de que las diferentes especies de peces marinos presentan algunas características biológicas que provocan dificultades técnicas en el desarrollo de sus tecnologías de cultivo, a la fecha se tienen avances significativos al respecto (Gracia-López *et al.*, 2004; Moguel-Hernández *et al.*, 2013; Peña *et al.*, 2016). Es así que el presente trabajo pretende dar un panorama general sobre las problemáticas y perspectivas relacionadas al desarrollo de la zootecnia de producción de juveniles de peces marinos en el Pacífico mexicano.

Desarrollo de larvas de peces

Los peces son el grupo de vertebrados más diverso (Nelson *et al.*, 2016), actualmente se reconocen 34,464 especies válidas de peces distribuidas en todo el mundo (Eschmeyer *et al.*, 2017). Debido a que cada especie presenta una ontogenia derivada de su historia evolutiva única y asociada a su contexto ecológico actual (Balon, 1990), la diversidad de especies representa la diversidad de ontogenias. Esta gama de ontogenias se encuentra clasificada en los peces en tres patrones generales: ontogenia indirecta, transitoria y directa (Balon, 2002). Estas categorías se basan en el grado de desarrollo estructural que presenta el organismo al iniciar la nutrición

exógena (depredación), después de concluir un desarrollo embrionario sostenido exclusivamente por nutrición endógena (*i.e.* lecitotrofia y matrotrofia). Así, en la ontogenia directa, el desarrollo embrionario culmina directamente en un juvenil, donde los órganos presentan una maduración similar a la de los adultos, con excepción de las gónadas. En la ontogenia de transición, después del desarrollo embrionario aparece el alevín, estado de desarrollo similar al juvenil pero que mantiene algunas estructuras embrionarias (*e.g.* el pliegue de la aleta). En la ontogenia indirecta el desarrollo embrionario concluye con una larva, entidad que mantiene un desarrollo incipiente de órganos y que requerirá de recursos exógenos para llegar a transformarse en un juvenil (Balon 2001, 2002).

Con excepción de las familias Salmonidae y Anarhichadidae (especies de aguas subtropicales y templadas), las especies marinas cultivadas a escalas comercial y experimental presentan ontogenia indirecta. En América Latina, particularmente en el Pacífico subtropical-tropical mexicano, las especies de peces marinos que han sido estudiadas a la fecha con el propósito de desarrollar tecnologías de producción de juveniles pertenecen a las familias Lutjanidae (*Lutjanus guttatus*, *L. peru*, *L. argentiventris*, *L. aratus*, *L. colorado*), Serranidae (*Paralabrax maculatofasciatus*, *P. nebulifer*, *Epinephelus labriformis*, *Mycteroperca rosacea*), Sciaenidae (*Cynoscion othonopterus*, *C. nebulosa*, *Totoaba macdonaldi*), Carangidae (*Seriola rivoliana*, *S. lalandi*), Centropomidae (*Centropomus viridis*, *C. nigrescens*), Paralichthyidae (*Paralichthys californicus*) y Tetraodontidae (*Sphoeroides annulatus*), donde todas ellas presentan ontogenia indirecta (Álvarez-Lajonchère y Hernández Molejón, 2001; Álvarez-González *et al.*, 2006, 2010; Moguel-Hernández *et al.*, 2013, 2016; Zavala-Leal *et al.*, 2013; Martínez-Montaña *et al.*, 2014; Galaviz *et al.*, 2015; Peña *et al.*, 2016; Teles *et al.*, 2017).

La ontogenia indirecta presenta cinco periodos (embrión, larva, juvenil, adulto y senectud), cada uno dividido en fases y cada fase dividida en pasos (Balon, 1990). De acuerdo con la teoría del desarrollo en saltos (Balon, 2002), los pasos son los intervalos más importantes en el desarrollo. Cada paso presenta una forma específica de mantener un equilibrio dinámico entre los procesos fisiológicos del organismo y su interacción ecológica. La transi-

ción entre pasos ocurre como umbrales en los que se sincroniza el desarrollo de órganos e integran su función, permitiendo conservar la homeostasis en nichos nuevos. Al ser estos umbrales intervalos de transición ecomorfofisiológica, son también periodos críticos en los que se observan altas mortalidades (Browman, 1989). La sensibilidad de cada periodo crítico y su número son especie-específicos. Sin embargo, en el periodo larvario de peces marinos se han identificado los siguientes periodos críticos comunes (Blaxter, 1988):

- *La transición de la alimentación endógena a exógena.* Ocurre la integración funcional del sistema nervioso, muscular, visual y digestivo como inicio de la depredación. Debido a que las larvas de peces son depredadoras activas, los principales problemas en este umbral son originados por un estado de inanición (reversible o irreversible) (Yúfera y Darías, 2007).
- *El inflado de la vejiga gaseosa.* La vejiga gaseosa es un órgano hidrostático que permite la economía energética en la natación. En peces marinos con vejigas gaseosas, todas las larvas presentan un conducto que conecta al esófago con la vejiga gaseosa (conducto neumático), el cual sirve para llenar sus vejigas al engullir aire de la superficie. Múltiples eventos pueden evitar el inflado adecuado de la vejiga (*i.e.* alta tensión superficial, turbulencia o una capa de aceite en la superficie, luz, obstrucción bacteriana, entre otros) lo cual provocará la mortandad de los organismos o defectos en el desarrollo posterior.
- *La transición de la respiración cutánea a branquial.* Las larvas pelágicas al inicio del desarrollo no presentan branquias, por lo que sus requerimientos de oxígeno se sostienen por difusión pasiva. Sin embargo, durante el intenso crecimiento ocurre un aumento de su biomasa (que aumenta el requerimiento de oxígeno) y una reducción en la proporción del área superficial del cuerpo, limitando la transferencia de oxígeno por difusión pasiva.
- *La osteogénesis.* El desarrollo y mineralización de huesos es un proceso sincronizado con el crecimiento muscular

y los requerimientos de soporte para la actividad natatoria. Deficiencias nutrimentales, exceso de corrientes, ausencia de vejiga gaseosa, luz, entre otros factores, causan defectos en el desarrollo de huesos lo que repercute en la eficiencia biológica de las larvas.

- *El desarrollo de un estomago funcional y capacidades digestivas intestinales, así como el desarrollo de órganos soporte (páncreas, hígado, vesícula).* La maduración del sistema digestivo aumenta la capacidad de asimilación de nutrientes, a partir del cambio en el tipo de presas durante cambios de nicho.
- *La transición de la vida pelágica a la demersal (asentamiento).* Esta transición requiere de la sincronización e integración del sistema nervioso, (centros cerebrales que controlan la nueva conducta), visual (desarrollo de bastones, fotorreceptores que permiten la visión a bajas intensidades luminosas), digestivo (capacidades enzimáticas), sistema inmunitario (maduración del sistema inmune adaptativo), y desarrollo de la piel (formación de las capas dérmicas y escamación).

Manejo larval y sistemas de cultivo

Como base de todo cultivo larval se debe tomar en cuenta la calidad de los reproductores, ya que diferentes investigaciones han observado que las características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas que presenta la progenie, es una consecuencia de la nutrición previa de los reproductores, antes y durante el proceso reproductivo (Izquierdo *et al.*, 2001). El proceso del cultivo larvario es un factor limitante del cultivo de peces marinos, dado que las características biológicas de los primeros estadios larvales como la apertura y tamaño de boca; el desarrollo del sistema digestivo y órganos soporte (Rønnestad *et al.*, 1999); las escasas reservas energéticas (vitelo y gota lipídica); aunado a los cambios morfo-fisiológicos necesarios, representan un reto para alcanzar su estadio juvenil. La condición morfo-fisiológica de las larvas al inicio de su alimentación restringe el tipo de presa que puede ser suministrada para su consumo, lo que reduce la supervivencia y limita la pro-

ducción de juveniles para la industria acuícola tanto en cantidad como en calidad.

Las tecnologías básicas para la producción de juveniles de peces marinos de Europa y Asia fueron adoptadas, adecuadas y validadas para México a escala piloto en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) unidad Mazatlán. Dichas tecnologías fueron aplicadas a la producción de huevos, larvas y juveniles del pargo flamenco (*L. guttatus*), huachinango (*L. peru*), pargo colorado (*L. colorado*), pargo lisa (*L. aratus*) y robalo (*Centropomus viridis*). Adicionalmente, se han tomado en cuenta las características particulares de los huevos producidos por las distintas especies, esto porque siguen un patrón similar más no idéntico, con notables diferencias en tamaño del huevo y glóbulo de aceite, composición del vitelo, cronometría del desarrollo embrionario, tiempo para la eclosión, tamaño a la eclosión, patrón de pigmentación y funcionalidad de los sistemas de órganos (Falk-Petersen, 2005). Generalmente las diferencias entre especies se observan en el tiempo de eclosión (dependiente de temperatura), donde cada especie posee un intervalo para su desarrollo óptimo (Polo *et al.*, 1991) y a medida que la temperatura se aleja de dicho intervalo, se incrementa la mortalidad y la aparición de anomalías morfo-fisiológicas.

Por lo tanto, el desarrollo embrionario marca el inicio del cultivo larvario de los peces, el cual es un proceso complejo que sirve para estudiar diversos aspectos característicos de la ontogenia (Benítez *et al.*, 2002), tales como la forma y tamaño del huevo, características del corion, características del vitelo, presencia o ausencia de glóbulos de aceite y lo ancho del espacio perivitelino (Padrós *et al.*, 2011). La temperatura de incubación influirá en el tiempo y velocidad de aparición de los órganos y caracteres externos (Johnston *et al.*, 1993; Radoni *et al.*, 2005), así como en el desarrollo óseo con posibles deformaciones en mandíbulas y vértebras (Grini *et al.*, 2011; Ma *et al.*, 2016). Aunado a lo anterior, la tasa de crecimiento que presenta un embrión estará en función de la cantidad y calidad de la reserva vitelina, donde la degradación del vitelo para la formación de tejido somático y organogénesis es una característica especie-específica. Por lo tanto, entender los mecanis-

mos de absorción de las reservas energéticas es de vital importancia para el desarrollo del cultivo de larvas de peces marinos (Kang *et al.*, 2014).

Como regla general (no escrita), cualquier larva de pez marino debe ingerir alimento antes de consumir su reserva vitelina, de no hacerlo, las larvas presentan altas probabilidades de morir por inanición, ya que existe una ventana de tiempo crítica entre el consumo de reservas y la primera alimentación, lo cual determina el comienzo del desarrollo de un sistema digestivo funcional, proceso que está asociado a mortalidades masivas de larvas (Kamler, 2002, 2005, 2008). En el caso de las especies de pargo mantenidas en CIAD-Mazatlán se ha determinado que temperaturas bajas (22 y 24 °C) o temperaturas altas (28 y 30 °C) pueden inducir a un lento o rápido metabolismo, incidiendo directamente en el uso de las principales reservas energéticas (vitelo y glóbulo de aceite), donde de igual forma, los efectos son especie-específicos (Pittman *et al.*, 1989; Blaxter, 1992; Gracia-López *et al.*, 2004).

Desarrollo larvario

La primera alimentación en larvas es crucial para la obtención de juveniles, etapa que puede definirse como el periodo de transición de alimentación de fuente endógena a fuente exógena. Dependiendo de la temperatura de cultivo, la larva puede contar con algunas reservas de vitelo y glóbulo de aceite (que es lo ideal), para que ambos sirvan de reserva energética final, cuando se da una demanda de energía durante la captura de las primeras presas (Moteiki *et al.*, 2001). A la primera alimentación, las larvas generalmente tienen una longitud notocordal menor de 3 mm y presentan boca pequeña (entre 100 y 180 µm). En este estadio las larvas disponen de pocas horas para adquirir alimento vivo con tamaños entre 80 y 140 µm, donde los rotíferos de la cepa ss-type, o rotíferos tamizados (neonatos), así como nauplios de copépodos menores a 100 µm son adecuados (Pérez-Morales, 2006; Yúfera y Darías, 2007). Aunado a lo anterior, es importante que los factores ambientales sean adecuados para lograr un desarrollo armónico, donde la utilización de las reservas nutricionales y los cambios morfo-fisiológicos relacionados con el inicio de la alimentación exógena estén sincronizados (Polo *et al.*, 1991; Doi y Singhagraiwan, 1993; Álvarez-Lajonchère

re y Hernández Molejón, 2001). En general, para larvas de peces tropicales el alimento debe estar disponible durante las 24 h después de que los ojos se han pigmentado (Bagarinao, 1986; Alvarez-Lajonchère y Hernández Molejón, 2001).

Protocolos de cultivo

El cultivo de larvas puede realizarse en sistemas extensivos, semi-intensivos e intensivos, todo ello en presencia o ausencia de microalgas y con la tecnología de mesocosmos. Todas ellas tienen como objetivo, producir la mayor cantidad de juveniles posible, al costo más bajo, donde los sistemas de producción intensiva y mesocosmos son los más utilizados. El sistema intensivo se realiza en sistemas de recirculación, donde se tiene el control de todas las variables del cultivo (temperatura, salinidad, oxígeno, pH, nitritos, nitratos, amonio total, flujo de agua, luz y densidad de microalgas) en tanques de fibra de vidrio (0.5 a 20 m³), con una siembra inicial de 100 a 200 larvas/L (Kolkolovsky *et al.*, 2004; Schipp *et al.*, 2007).

Por otro lado, el sistema de mesocosmos se divide en dos sistemas de producción: mesocosmos semi-extensivo en agua verde y mesocosmos intensivo en agua clara o agua pseudo-verde (Divanach *et al.*, 2000). Se caracteriza por mantener un equilibrio en la producción de alimento vivo para las larvas de manera natural (extensivo), complementado con alimento exógeno al final del cultivo (18 a 22 días), generalmente se usan tanques (fibra de vidrio o geomembranas) o estanques de tierra o concreto (30 a 100 m³). Dichos sistemas de producción son fertilizados con nutrientes e inoculados con microalgas hasta alcanzar la densidad deseada, para después ser inoculada con rotíferos y copépodos, generando un ambiente adecuado para la introducción de huevos o larvas de la especie de interés (2 a 10 huevos-larvas/L). Dependiendo de la intensidad del mesocosmos (intensivo o semi-extensivo) se mantiene un equilibrio de la producción natural de la cadena alimenticia para alimento de la larva, si el sistema lo demanda se introducen las cantidades necesarias de microalgas, rotíferos, copépodos y artemia que el sistema requiera o en su caso el alimento balanceado que las larvas necesiten para complementar su crecimiento adecuado (Papandroulakis *et al.*, 2004; Cunha *et al.*, 2009).

Alimentación y nutrición de larvas

La nutrición de peces durante el desarrollo larval es compleja, esto debido a los cambios morfo-fisiológicos que presentan en esta etapa, lo que se encuentra directamente asociado a su capacidad digestiva. De manera simple, al final del consumo de las reservas endógenas (vitelo), se genera la apertura de la boca y el ano, donde el sistema digestivo es un tubo simple con capacidad digestiva limitada, lo cual cambia al final del desarrollo con la presencia de un estomago (en peces gástricos) y un intestino con secreción de enzimas pancreáticas (proteasas, lipasas, amilasas) y sales biliares sintetizadas en hígado, así como capacidad digestiva intestinal (enzimas citosolicas). A medida que la larva desarrolla los diferentes órganos digestivos, son capaces de asimilar, digerir y absorber de forma más eficiente los alimentos más complejos. Aunado a lo anterior, las larvas son depredadoras activas por lo cual se ha utilizado alimento vivo para su cultivo, sin embargo, en la actualidad se ha realizado una amplia investigación en la búsqueda de la formulación y manufactura de micro dietas con el fin de sustituir la dependencia del alimento vivo en los sistemas de producción de larvas (Rønnestad *et al.*, 1999, 2013).

Tipos de alimentos

Alimentos vivos: principalmente se utilizan pequeños organismos como rotíferos, artemias y copépodos, los cuales deben de ser del tamaño adecuado para el tamaño de la boca de la larva a alimentar, donde en algunos casos también se incluyen microalgas. *Alimentos inertes:* Se presentan tres tipos de microdietas, 1) las micro partículas, las cuales consisten en la aglutinación de ingredientes finos (20 a 80 μm) para formar dietas de un tamaño menor a 200 μm ; 2) los micro encapsulados, donde los nutrientes son encapsulados en polímeros orgánicos o inorgánicos con la inclusión de aditivos (amino ácidos, ácidos grasos, vitaminas, etcétera) debido a la disminución en la lixiviación de los mismos, y con un tamaño que varía de 0.2 a 5000 μm ; 3) hojuelas, donde estos alimentos son generados a partir de procesos de alta presión y temperatura, lo que facilita su molienda a tamaños pequeños, sin embargo es utilizada principalmente en acuariofilia (Rodríguez-Aguilera, 2009).

Requerimientos nutricionales

Poco se ha estudiado con respecto a los requerimientos nutricionales en larvas de peces en el Pacífico mexicano, lo cual es información crucial para un desarrollo de la zootecnia de las especies marinas de interés. Como ya se mencionó, las larvas entran en un proceso de cambios morfo-fisiológicos durante su ontogenia temprana, aunado a su alta tasa de crecimiento, sus requerimientos alimenticios no solo son altos en cantidad, sino también en calidad. El requerimiento de un nutriente se puede definir desde un punto de vista fisiológico como la cantidad del nutriente necesario para cubrir funciones fisiológicas, concepto que se ajusta a cantidad de nutriente sobre dieta cuando se habla del aporte a partir de dietas formuladas (Izquierdo y Lall, 2004; Hamre *et al.*, 2013) y a su vez, el requerimiento estará dado por la esencialidad de dicho nutriente (capacidad variable de síntesis de dicho nutriente), donde una sobredosis podría generar efectos negativos (Takeuchi, 2014).

La calidad de la proteína es de relevancia en la nutrición de larvas, donde se ha demostrado que en los primeros estadios el uso de hidrolizados y/o enriquecimiento de alimento vivo con aminoácidos libres, ha mejorado el crecimiento y la supervivencia de larvas, ya que facilita la absorción de dichos nutrientes y estimula el desarrollo del tracto digestivo (Rønnestad *et al.*, 2013).

Se ha reportado que el uso de triglicéridos en dietas para larvas, disminuye el crecimiento y acumula gotas de grasa en hígado e intestino, mientras de fosfolípidos mejora el crecimiento y supervivencia de larvas, esto a partir de ser parte esencial de la estructura de membranas celulares y estar envuelta en procesos de digestión, absorción y transporte lipídico. Aunado a esto, las larvas presentan requerimientos de ácidos grasos polinsaturados (HUFA) tales como el ácido araquidónico (ARA), el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA). Además, las larvas requieren también vitaminas (A, C, D y K) y minerales, donde en peces marinos la inclusión de DHA, vitamina A y taurina han mostrado mejoras en aspectos fisiológicos que son traducidos en mayor rendimiento de las especies (Hamre *et al.*, 2013; Takeuchi, 2014).

Estudios de nutrición y fisiología digestiva en especies del Pacífico mexicano

Es así que, muchas de las investigaciones realizadas en etapas larvarias de peces marinos del Pacífico mexicano se enfocan en el entendimiento del desarrollo del sistema digestivo, ontogenia de enzimas digestivas, ontogenia de hormonas reguladoras de procesos digestivos, así como en la evaluación del efecto de la adición de probióticos y/o tipo de nutriente, entre otros (Navarrete y Tovar, 2014).

Estudios recientes se han enfocado al desarrollo morfológico y/o fisiológico de huevos y larvas, principalmente en especies como *Lutjanus peru*, *S. lalandi* y *S. rivoliana* (Moguel-Hernández *et al.*, 2013; Zavala-Leal *et al.*, 2013; Martínez-Montaña *et al.*, 2014; Peña *et al.*, 2016; Teles *et al.*, 2017), mientras que en especies como el lenguado californiano (*Paralichthys californicus*) abordan cambios conductuales y/o protocolos de destete (Muguet *et al.*, 2011; Mata-Sotres *et al.* 2015).

Por otra parte, se han reportado estudios que abordan la caracterización de actividad y expresión de genes de enzimas u hormonas digestivas durante el desarrollo larval en especies como el lenguado californiano (*P. californicus*) (Zacarias-Soto, 2006; Alvarez-González *et al.*, 2006; Martínez-Montaña y Lazo, 2012), la totoaba (*Totoaba macdonaldi*) (Galaviz *et al.*, 2015), la cabrilla arenera (*Paralabrax maculatofasciatus*) (Alvarez-González *et al.*, 2010), el mero leopardo (*Mycteroperca rosacea*) (Martínez-Lagos, *et al.*, 2014), el pargo flamenco (*Lutjanus guttatus*) (Moguel-Hernández *et al.*, 2016) y el botete diana (*Spheroides analatus*) (García-Gasca *et al.*, 2006).

Técnicas de determinación de la calidad de las larvas de peces

El proceso de producción de larvas de peces marinos es una brecha tecnológica que, hasta la fecha, ha sido difícil de superar para numerosas especies con potencial económico en el Pacífico mexicano. Para lograr este objetivo, es necesario que los organismos resultantes de este proceso, posean las características de sobrevivir, así como mantener en cautiverio las condiciones más parecidas a su medio ambiente. La calidad larvaria de las especies con poten-

cial acuícola, comprende distintas aproximaciones, como son: 1) la morfología (ausencia de malformaciones, tamaño respecto a la edad, etcétera); 2) fisiología (maduración digestiva, actividad enzimática, resistencia al calor, salinidad, etcétera); 3) respuesta inmune (reto contra patógenos específicos o sus componentes antigénicos); 4) bioquímica (composición bromatológica, de aminoácidos y ácidos grasos), y éstas pueden ser evaluadas mediante técnicas de genómica funcional ya sea por expresión específica o masiva de genes responsables de aspectos vitales en el crecimiento; 5) metabolismo; 6) estrés, entre muchos otros más (Uribe *et al.*, 2011).

Durante el desarrollo larvario en peces, existe un proceso de maduración natural donde poco a poco van tomando las características propias de los adultos de cada especie, este proceso también incluye la maduración del sistema digestivo, que es determinante en la supervivencia y crecimiento del pez, que a su vez incluyen, la diferenciación funcional de los órganos sensoriales, el sistema neuroendocrino y el locomotor. Estos aspectos morfo-funcionales y bioquímicos se han constituido como indicadores de calidad larvaria, señalando que el individuo se encuentra en condiciones de maduración digestiva suficiente para realizar de manera más eficiente la ingesta, digestión y asimilación de los nutrientes (Zouiten *et al.*, 2011).

Gisbert *et al.* (2008) señala que los indicadores histológicos, son una herramienta útil y precisa para ayudar a la comprensión de los cambios trascendentales que ocurren durante la ontogenia inicial en peces teleósteos, con todo y sus limitaciones en el estudio de poblaciones silvestres. Por otro lado, el perfil de enzimas digestivas, es un indicador de la digestibilidad y utilización de los nutrientes (Mitra *et al.*, 2008). La presencia o ausencia de actividad de α -amilasa es una herramienta útil como indicador del hábito alimentario de la especie, pero también es un indicador de maduración digestiva, pues se ha observado que su actividad es alta en estadios larvales tempranos de diversas especies y disminuye cuando se logra la madurez morfo-funcional (Zambonino-Infante *et al.*, 1997). Otro indicador de las etapas de desarrollo de muchas especies, lo constituyen la relación entre la digestión extracelular con la acción de enzimas de origen pancreático (tripsina, quimotripsi-

na, lipasas, y α -amilasa) y la digestión con enzimas de origen intracelular o citosólica (leucina y alanina aminopeptidasa, fosfatasas, y carboxipeptidasas). Desde un punto de vista funcional, la actividad digestiva es mediada por diversos factores, entre los cuales destacan los hormonales que pueden ser orexigénicas o anorexigénicas. Entre las hormonas digestivas más estudiadas, tenemos la colecistoquinina, gastrina, grelina, neuropéptido Y, entre otras más (Gisbert *et al.*, 2013).

Indicadores moleculares

Cualquiera que sea la especie, los peces sufren cambios muy importantes a lo largo de sus primeras fases de vida, todos ellos regulados genéticamente, y éstos están representados por modificaciones morfológicas, por una diferenciación y proliferación celular, crecimiento y maduración de sus funciones hasta adquirir la forma de vida como los adultos de su especie (Srichanun *et al.*, 2013).

Los avances en la tecnología de secuenciación masiva de ADN, ha permitido ampliar los conocimientos de la transcriptómica, que involucran el uso de técnicas de genómica funcional (RNA-Seq) incrementando así los recursos genómicos que, a su vez, nos permiten desarrollar estrategias enfocadas a buscar marcadores moleculares de calidad larvaria de aquellas especies importantes para acuicultura. Los análisis de expresión de genes, nos permiten delinear los principales mecanismos fisiológicos y morfológicos que controlan la transición de larvas a juveniles en peces (Ferraresso *et al.*, 2013). Hasta el momento, los estudios de genómica funcional han abarcado a un gran número de especies modelo y comerciales, tanto marinas como dulceacuícolas, y éstos comprenden el estudio de diferentes aspectos de la fisiología del pez (Mazurais *et al.*, 2011). Podemos citar los estudios de transcriptómica durante el periodo larvario de la lubina europea *Dicentrarchus labrax* (Darias *et al.*, 2008), del lenguado *Solea solea* (Ferraresso *et al.*, 2013), y del jurel *S. lalandi* (Patel *et al.*, 2015; Jacobson *et al.*, 2017).

Es importante hacer notar que en cada uno de estos trabajos realizados, se obtuvieron patrones de expresión asociados a procesos específicos, donde se describen aquellos genes relacionados a la biología del desarrollo (formación de esqueleto y mandíbulas en organismos sanos y deformes; formación de músculo y siste-

ma nervioso), biosíntesis (síntesis de proteínas y ácido grasos), digestión (enzimas y hormonas digestivas), rutas energéticas (ciclo de krebs, gluconeogénesis, glucólisis y síntesis de ATP), e inmunología (citokinas), entre otros. La información obtenida a través del uso de estas técnicas de secuenciación masiva, nos permite encontrar nuevas variantes de transcritos, genes duplicados, polimorfismos de un solo nucleótido (SNP's), inserciones y deleciones, lo que nos permite conocer las múltiples respuestas de un organismo sometido a presiones de cultivo tales como el estrés, patologías variadas, desnutrición, malformaciones y otros factores que pueden ser detectados y que nos indiquen el estado actual del individuo.

Conclusiones

El desarrollo de la maricultura en México constituye una alternativa para mitigar los efectos que enfrentan las pesquerías, así como la necesidad de impulsar la seguridad alimentaria, lo cual trae consigo un desarrollo regional y nacional en algunos sectores de la población. El Pacífico mexicano posee una gran diversidad de especies de peces con potencial acuícola, los cuales también poseen alta aceptación y alto valor comercial, sin embargo, es necesario realizar investigaciones enfocadas a acelerar el desarrollo de la zootecnia de dichas especies, donde la producción de juveniles permitirá el establecimiento de una cadena productiva altamente rentable. El equilibrio en los factores ambientales, fisicoquímicos y nutricionales y su efecto en las transiciones ecomorfofisiológicas durante el desarrollo del cultivo, permitirá el buen desarrollo de las complejas transformaciones externas e internas de las larvas, lo que permitirá la máxima supervivencia posible y la óptima calidad de juveniles.

Cabe resaltar que debido a su alta relevancia, es necesario atender en primera instancia a los indicadores bioquímicos, moleculares y morfológicos, ya que son esenciales para lograr una producción óptima de larvas de peces marinos en el Pacífico mexicano. Además, es fundamental considerar que debe existir una correlación entre la calidad de los huevos desovados y la tasa de eclosión de cada progenie, lo cual permitirá una mayor tolerancia de

las larvas al estrés agudo, la sobrevivencia y con ello una mayor capacidad en su desarrollo adecuado.

Literatura citada

- Avilés-Quevedo, A. (2006). Engorda de pargo en jaulas flotantes. En: Hernández-Martínez, C., Rangel Dávalos, M., Garduño Dionate y Mora Cervantes, I. eds. Memorias de la Segunda Reunión Nacional de la Red de Cultivo de Peces Marinos. pp. 73-79. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Hermosillo (México).
- Álvarez-Lajonchère, L. y Hernández Molejón O. G. (2001). Producción de juveniles de peces estuarinos para un centro en América Latina y el Caribe: diseño, operación y tecnologías. *The World Aquaculture Society*, Baton Rouge, LA.
- Alvarez-González, C. A., Cervantes-Trujano, M., Tovar-Ramírez, D., Conklin, D. E., Nolasco, H., Gisbert, E. & Piedrahita, R. (2006). Development of digestive enzymes in California halibut *Paralichthys californicus* larvae. *Fish Physiology and Biochemistry*, 31(1), 83-93. <https://doi.org/10.1007/s10695-006-0003-8>.
- Alvarez-González, C. A., Moyano-López, F. J., Civera-Cerecedo, R., Carrasco-Chávez, V., Ortiz-Galindo, J. L., Nolasco-Soria, H. & Dumas, S. (2010). Development of digestive enzyme activity in larvae of spotted sand bass *Paralabrax maculatofasciatus* II: Electrophoretic analysis. *Fish Physiology and Biochemistry*, 36(1), 29-37. <https://doi.org/10.1007/s10695-008-9276-4>.
- Bagarinao, T. (1986). Yolk resorption, onset of feeding and survival potential of larvae of three tropical marine fish species reared in the laboratory. *Marine Biology*, 91, 449-459.
- Balon, E. K. (1990). Epigenesis of an epigeneticist: the development of some alternative concepts on the early ontogeny and evolution of fishes. *Guelph Ichthyology Reviews*, 1, 1-42.
- Balon, E. K. (2001). Saltatory ontogeny and the life-history model: neglected processes and patterns of evolution. *Journal of Bioeconomics*, 3: 1-26.
- Balon, E. K. (2002). Epigenetic processes, when natura non facit saltum becomes a myth, and alternative ontogenies a mechanism of evolution. *Environmental Biology of Fishes*, 65, 1-35.
- Blaxter, J. H. S. (1988). Pattern and variety in development. En: Hoar, W. S. & Randall, D. J. eds. *Fish Physiology*, Vol. XI. pp. 1-58. London, Academic Press.
- Blaxter, J.H. (1992). The effect of temperature on larval fishes. *Netherlands Journal of Zoology*, 42, 336-357.
- Browman, H. I. S. (1989). Embryology, ethology and ecology of ontogenetic periods critical in fish. *Brain, Behavior and Evolution*, 34, 5-12.
- Cuenca-Soria, C. A., Ortiz-Galindo, J. L., Tovar-Ramírez, D., Álvarez-González, C. A., Ochoa-Báez, R. I., Murillo-Álvarez, J. I. (2013). Indicadores del desarrollo morfofuncional durante la ontogenia inicial de peces teleósteos: una revisión. En: Cruz Suárez, L. E., Ricque Marie, D., Tapia Salazar, M.,

- Nieto López, M. G., Villarreal Cavazo, D. D., Gamboa Delgado, J., Álvarez-González C. A. eds. Contribuciones recientes en alimentación y nutrición acuícola. 20-22 de Noviembre. pp. 374-402. San Nicolás de los Garza, N.L. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México.
- Cunha, M. A., Quental, H., Barradas, A., Pousão-Ferreira, P., Cabrita E. & Engrola, S. (2009). Rearing larvae of dusky grouper, *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834), (Pisces: Serranidae) in a semi-extensive mesocosm. *Advances in Early Life History study of Fish, Scientia Marina*, 201-212.
- Darias, M. J., Zambonino, J. L., Hugot, K., Cahu, C. & Mazurais, D. (2008). Gene expression patterns during the larval development of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) by microarray analysis. *Marine Biotechnology*, 10(4), 416-428.
- Divanach, P. & Kentouri, M. (2000). Hatchery techniques for specific diversification in Mediterranean finfish larviculture. En: Basurco, B. ed. Mediterranean marine aquaculture finfish species diversification. 47, 75-87. Cah. Options Méditerran.
- Doi, M. & Singhagraiwan, T. (1993). Biology and culture of the red snapper, *Lutjanus argentimaculatus*. Res. Proj. Fish. Res. Dev. pp. 51. Kingdom of Thailand.
- Eschmeyer, W. N., Fricke, R. & van der Laan, R. (2017). Catalog of fishes: genera, species, references. Recuperado de <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>.
- Falk-Petersen, I. B. (2005). Comparative organ differentiation during early life stages of marine fish. *Fish and Shellfish Immunology*, 19, 397-412.
- Ferraresso, S., Bonaldo, A., Parma, L., Cinotti, S., Massi, P., Bargelloni, L. y Gatta, P. P. (2013). Exploring the larval transcriptome of the common sole (*Solea solea* L.). *BMC Genomics*, 14, 315.
- Galaviz, M. A., López, L. M., García Gasca, A., Álvarez González, C. A., True, C.D. & Gisbert, E. (2015). Digestive system development and study of acid and alkaline protease digestive capacities using biochemical and molecular approaches in totoaba (*Totoaba macdonaldi*) larvae. *Fish Physiology and Biochemistry*, 41(5), 1117-1130. <https://doi.org/10.1007/s10695-015-0073-6>.
- García-Gasca, A., Galaviz, M. A., Gutiérrez, J. N., & García-Ortega, A. (2006). Development of the digestive tract, trypsin activity and gene expression in eggs and larvae of the bullseye puffer fish *Sphoeroides annulatus*. *Aquaculture*, 251(2-4), 366-376. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.05.029>.
- Gracia-López, V. M., Kiewek-Martínez, M. Maldonado-García. (2004). Effects of temperature and salinity on artificially reproduced eggs and larvae of the leopard grouper *Mycteroperca rosacea*. *Aquaculture*, 237, 485-498.
- Grini, A., Hansen, T., Berg, A., Wargelius, A. & Fjellidal, P. G. (2011). The effect of water temperature on vertebral deformities and vaccine-induced abdominal lesions in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases*, 34, 531-546.

- Gisbert, E., Ortiz-Delgado, J. B. & Sarasquete, C. (2008). Nutritional cellular biomarkers in early life stages of fish. *Histology and Histopathology*, 23, 1525-1539.
- Gisbert, E., Morais, S., Moyano, F. J. (2013). Feeding and digestion, in Larval Fish Aquaculture, Qin, J. G. eds. pp. 230. Nova Publishers.
- Hamre, K., Yúfera, M., Rønnestad, I., Boglione, C., Conceição, L. E. C. & Izquierdo, M. (2013). Fish larval nutrition and feed formulation: Knowledge gaps and bottlenecks for advances in larval rearing. *Reviews in Aquaculture*, 5(SUPPL.1). <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2012.01086.x>.
- Izquierdo, M. S., Fernández-Palacios, H. & Tacon, A. G. J. (2001). Effect of broodstock nutrition on reproductive performance of fish. *Aquaculture*, 197, 25-42.
- Izquierdo, M. S. & Lall, S. (2004). Experimental design for lipid research. Workshop on Methodologies in Fish Nutrition Research. 2-7 May 2004, Phuket, Thailand.
- Jacobson, G., Muncaster, S., Mensink, K., Forlenza, M., Elliot, N., Broomfield, G., Signal, B. & Bird, S. (2017). Omics and cytokine discovery in fish: Presenting the Yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) as a case study. *Developmental and Comparative Immunology*, DOI: 10.1016/j.dci.2017.04.001.
- Johnston, I. A. (1993). Temperature influences muscle differentiation and the relative timing of organogenesis in herring (*Clupea harengus*) larvae. *Marine Biology*, 116, 363-379.
- Kang, C. B., Lee, S. H., Hwang, J. H. & Han, K. H. (2014). Morphological Development of larvae and juveniles of *Acanthopagrus schlegelii*. *Development & Reproduction*, 18(4), 311-319.
- Kamler, E. K. (2002). Ontogeny of yolk-feeding fish: an ecological perspective. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 12(1), 79-103.
- Kamler, E. K. (2005). Parent-egg-progeny relationships in teleost fishes: an energetics perspective. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 15, 399-421.
- Kamler, E. K. (2008). Resource allocation in yolk-feeding. *Reviews in Fish biology and Fisheries*, 18, 143-200.
- Kjorsvik, E., Hoehne-Reitan, K. & Reitan, K. I. (2003). Egg and larval quality criteria as predictive measures for juvenile production in turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Aquaculture*, 227(1-4), 9-20.
- Kolkovski, S., Curnow, J. & King, J. (2004). Intensive rearing system for fish larvae research. (3- 4), 295- 308.
- Ma, Z., Zhang, N., Qin, J. G., Fu, M. & Jiang, S. (2016). Water temperature induces jaw deformity and bone morphogenetic proteins (BMPs) gene expression in golden pompano *Trachinotus ovatus* larvae. *SpringerPlus*, 5, 1475. DOI 10.1186/s40064-016-3142-0.
- Martínez-Lagos, R., Tovar-Ramírez, D., Gracia-López, V. & Lazo, J. P. (2014). Changes in digestive enzyme activities during larval development of leopard grouper (*Mycteroperca rosacea*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 40(3), 773-785. <https://doi.org/10.1007/s10695-013-9884-5>.
- Martínez-Montaña, E., González-Álvarez, K., Lazo, J. P., Audelo-Naranjo, J. M. & Vélez-Medel, A. (2014). Morphological development and allometric growth of yellowtail kingfish *Seriola lalandi* V. larvae under culture con-

- ditions. *Aquaculture Research*, 47(4), 1277-1287. <https://doi.org/10.1111/are.12587>.
- Martínez-Montaño, E. & Lazo, J. P. (2012). In Vitro Protein Digestibility of Dietary Ingredients Throughout Ontogeny of California Halibut, *Paralichthys californicus*, Larvae. *Journal of the World Aquaculture Society*, 43(1), 51-62. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2011.00547.x>.
- Mata-Sotres, J. A., Lazo, J. P., & Baron-sevilla, B. (2015). Effect of age on weaning success in totoaba (*Totoaba macdonaldi*) larval culture. *Aquaculture*, 437, 292-296. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.11.037>.
- Mazurais, D., Darias, M., Zambonino-Infante, J. & Cahu, C., (2011). Transcriptomics for understanding marine fish larval development. *Canadian Journal of Zoology*, 89, 599-611.
- Mitra, G., Mukhopadhyay, P. K. & Ayyappan, S. (2008). Modulation of digestive enzyme activities during ontogeny of *Labeo rohita* larvae fed ascorbic acid enriched zooplankton. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 149(A), 341-350.
- Moguel-Hernández, I., Peña, R., Nolasco-Soria, H., Dumas, S. & Hinojosa-Baltazar, P. (2013). Egg quality criteria in Pacific red snapper (*Lutjanus peru*). *Aquaculture Research*, 46(4), 909-917. <https://doi.org/10.1111/are.12248>.
- Moguel-Hernández, I., Peña, R., Andree, K. B., Tovar-Ramirez, D., Bonacic, K., Dumas, S. & Gisbert, E. (2016). Ontogeny changes and weaning effects in gene expression patterns of digestive enzymes and regulatory digestive factors in spotted rose snapper (*Lutjanus guttatus*) larvae. *Fish Physiology and Biochemistry*, 42(5), 1319-1334. <https://doi.org/10.1007/s10695-016-0220-8>.
- Moteki, M., Yoseda, K., Sahin, T., Ustundag, C. & Kohno, H. (2001). Transition from endogenous to exogenous nutritional sources in larval Black Sea turbot *Psetta maxima*. *Fisheries Science*, 67, 571-578.
- Muguet, J. B., Lazo, J. P., Conklin, D. E. & Piedrahita, R. H. (2011). Evaluation of weaning performance of California halibut (*Paralichthys californicus*) larvae using growth, survival and digestive proteolytic activity. *Aquaculture Nutrition*, 17(2). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2010.00786.x>.
- Navarrete, P. & Tovar, D. (2014). Use a yeast as probiotics in fish aquaculture. In: Sustainable Aquaculture Techniques. En: Hernandez-Vergara, M. P., Perez-Rostro, C. I. eds. pp. 135-172. <http://dx.doi.org/10.5772/57196>.
- Nelson, J. S., Grande, T. C. & Wilson, M. V. H. (2016). *Fishes of the World* (5th ed.) New Jersey: Wiley.
- Padrós, F., Villalta, M., Gisbert, E. & Estévez, A. (2011). Morphological and histological study of larval development of the Senegal sole *Solea senegalensis*: an integrative study. *Journal of Fish Biology* 79(1), 3-32. doi: 10.1111/j.1095-8649.2011.02942.x.
- Papandroulakis, N., Kentouri, M., Maingot, E. & Divanach, P. (2004). Mesocosm: a reliable technology for larval rearing of *Diplodus puntazzo* and *Diplodus sargus sargus*. *Aquaculture International* 12(4- 5), 345-355.
- Patel, A., Dettleff, P., Hernandez, E. & Martínez V. (2016). A comprehensive transcriptome of early development in yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*). *Molecular Ecology Resources*, 16, 364-376.

- Peña, R., Dumas, S. & Contreras-Olguín, M. (2016). Organogenesis of the digestive system in Pacific red snapper (*Lutjanus peru*) larvae. *Aquaculture Research*, <https://doi.org/10.1111/are.12991>.
- Pérez-Morales, A. (2006). Efecto de diferentes microalgas en las tasas vitales de *Euterpina acutifrons* (Dana, 1848) (Copepoda: Harpacticoida) en condiciones controladas. (Tesis de Maestría). Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, México.
- Pittman, K. Skiftesvik, A. B. & Harboe, T. (1989). Effect of temperature on growth rates and organogenesis in the larvae of halibut (*Hippooglossus hippooglossus* L.). *Rapports et procès-verbaux des réunions*, 191, 421-430.
- Polo, A., Yufera, M. & Pascual, E. (1991). Effects of temperature on egg and larval development of *Sparus aurata* L. *Aquaculture*, 92, 367-375.
- Radoni, M., López, A. V., Oka, M. y Aristizábal, E. O. (2005). Effect of the incubation temperature on the embryonic development and hatching time of eggs of the red porgy *Pagrus pagrus* (Linne, 1758) (Pisces: Sparidae). *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 40(2), 91-99.
- Rodríguez-Aguilera, A. (2009). Avances y Perspectivas en Microdietas para Larvas de Peces. *Revista AquaTIC*, (30), 1-18.
- Rønnestad, I., Thorsen, A. & Finn, R. N. (1999). Fish larval nutrition: a review of recent advances in the roles of amino acids. *Aquaculture*, 177, 201-216.
- Rønnestad, I., Yúfera, M., Ueberchär, B., L. Ribeira, Saele. O. & Boglione, C. (2013). Feeding behavior and digestive physiology in larval fish: current knowledge, and gaps and bottlenecks in research. *Reviews in Aquaculture*, 5(1), 559-598. Doi: 10.1111/raq.12010.
- Schipp, G., Bosmans, J. & Humphrey, J. (2007). Northern Territory Barramundi Farming Handbook. Fishery Report No. 89, Department of Primary Industry, Fisheries and Mines, Northern Territory.
- Srichanun, M., Tantikitti, C., Utarabhand. P. & Kortner, T. M. (2013). Gene expression and activity of digestive enzymes during the larval development of Asian seabass (*Lates calcarifer*). *Comparative Biochemistry and Physiology*. 165B(1), 1-9. doi: 10.1016/j.cbpb.2013.02.005.
- Takeuchi, T. (2014). Progress on larval and juvenile nutrition to improve the quality and health of seawater fish: A review. *Fisheries Science*, 80(3), 389-403. <https://doi.org/10.1007/s12562-014-0744-8>.
- Teles, A., Salas-Leiva, J., Álvarez-González, C. A., Gisbert, E., Ibarra-Castro, L., Pérez, J. C. & Tovar-Ramírez, D. (2017). Histological study of the gastrointestinal tract in longfin yellowtail (*Seriola rivoliana*) larvae. <https://doi.org/10.1007/s10695-017-0397-5>.
- Uribe, C., Folch, H., Enriquez, R. & Morán, G. (2011). Innate and adaptive immunity in teleost fish: a review. *Veterinarni Medicina*, 56(10), 486-503.
- Yúfera, M. & Darias, M. J. (2007). The onset of exogenous feeding in marine fish larvae. *Aquaculture*, 268, 53-63.
- Zacarias-Soto, M., Muguet, J. B. & Lazo, J. P. (2006) Proteolytic activity in California halibut larvae (*Paralichthys californicus*) *Journal of the World Aquaculture Society*, 37, 175-185.

- Zambonino Infante, J. L., Cahu, C. L. & Peres A. (1997). Partial substitution of di- and tripeptides for native proteins in sea bass diet improves *Dicentrarchus labrax* development. *Journal of Nutrition*, 127, 608-614.
- Zambonino, J. L. & Cahu, C. (2007). Dietary modulation of some digestive enzymes and Metabolic processes in developing marine fish: Applications to diet formulation. *Aquaculture*, 268(1-4), 98-105.
- Zavala-Leal, I., Dumas, S., López-Villegas, E. O., Peña, R., Contreras-Olguín, M., Flores-Montijo, L. & De La Cruz-Agüero, J. (2013). Structural development of Pacific red snapper *Lutjanus peru* from hatching to the onset of first feeding. *Aquaculture Research*, 46(5), 1162–1174. <https://doi.org/10.1111/are.12272>.
- Zouiten, D., Khemis, I. B., Masmoudi, A. S., Huelvan, C. & Cahu, C. (2011). Comparison of growth, digestive system maturation and skeletal development in sea bass larvae reared in an intensive or a mesocosm system. *Aquaculture Research* 42(11), 1723-1736. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02773.x>.

Potencial bioactivo de organismos marinos del Pacífico mexicano

*Bioactive potential of marine organisms
from Mexican Pacific*

Claudia J. Hernández-Guerrero^{1*}

Mauricio Muñoz-Ochoa¹

Sergio Martínez-Díaz¹

¹ Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Av. IPN s/n. Col. Playa Palo de Santa Rita, La Paz, Baja California Sur. C.P. 23090. Correo-e: cguerrer@ipn.mx.

Resumen

El Pacífico mexicano es una zona de alta biodiversidad y por tanto de gran potencial como fuente de nuevos compuestos bioactivos para uso farmacéutico o biotecnológico. La presente revisión tiene como objetivo brindar un panorama de los últimos 10 años de descubrimientos en la búsqueda de compuestos con potencial terapéutico realizados en el Pacífico mexicano con microorganismos, macroalgas e invertebrados marinos. La mayoría de las investigaciones han sido dirigidas a las costas de la Península de Baja California y en el Mar de Cortés. La búsqueda a partir de microorganismos se centró en actinobacterias y bacterias asociadas a esponjas. Con respecto a las macroalgas, se ha realizado la evaluación de diversos potenciales bioactivos, desde antibacterianos, citotóxicos, antiincrustantes, antioxidantes, cosmecéuticos, repelentes de insectos, entre otros. Mientras que de invertebrados se han aislado el mayor número de nuevos compuestos. Las investigaciones realizadas hasta ahora ponen en evidencia el alto potencial bioactivo existente en organismos del Pacífico mexicano, sin embargo, los trabajos futuros se deben enfocar en dar una continuidad a los resultados actuales y llegar a la elucidación estructural de las moléculas responsables de la actividad.

Palabras clave

Microorganismos, macroalgas, invertebrados, citotóxico, antibacteriano, antiincrustante.

Abstract

The Mexican Pacific is an area of high biodiversity and therefore has a great potential as a source of new bioactive compounds for pharmaceutical or biotechnological use. The present review aims to provide an overview of the last 10 years of discoveries in the search of compounds with therapeutic potential in the Mexican Pacific with microorganisms, macroalgae and marine invertebrates. Most of the research was directed to the coasts of the peninsula of Baja California and the Sea of Cortes. The search from microorganisms was focused on actinobacteria and sponge-associated bacteria. In macroalgae, several bioactive evaluation has been carried out, such as antibacterial, cytotoxic, anti-fouling, antioxidants, cosmeceuticals and insect repellents. From invertebrates, were isolated the largest number of new compounds. Current research highlights the high bioactive potential of organisms in the Mexican Pacific. However, future work should be focus on giving continuity to current results and describe the structural characterization of the bioactive molecules.

Keywords

Microorganisms, seaweeds, invertebrates, cytotoxic, antibacterial, anti-fouling.

Introducción

La búsqueda de nuevos compuestos o productos naturales a partir de organismos marinos es una disciplina joven si se compara con las investigaciones en microorganismos y plantas terrestres. Las particularidades estructurales y los novedosos mecanismos de acción de las moléculas aisladas de organismos marinos, hacen suponer que los océanos serán una de las principales fuentes para el descubrimiento de productos bioactivos para el desarrollo de nuevos fármacos (Newman y Cragg, 2004; Blunt *et al.*, 2016). Este amplio potencial es reflejo de las adaptaciones especiales que los organismos marinos han desarrollado para competir en las condiciones en las que habitan, incluyendo las altas densidades, la restricción de movilidad y por poseer un sistema inmunológico que puede ser considerado primitivo, lo que los hace depender de moléculas de defensa para resistir presiones de competencia, depredación, asentamiento de organismos, o cuestiones reproductivas (Donia y Hamman, 2003).

La mayoría de los compuestos bioactivos de origen marino que han sido aislados, derivan de invertebrados, macroalgas y microorganismos, con actividades diversas que van desde la antibacteriana, antifúngica, antiviral, antiinflamatoria, anticoagulante o anti-epibiótica. Algunos de estos se encuentran en etapas de desarrollo clínico o preclínico (Montaser y Luesch, 2011).

México posee una amplia línea de costa (11,500 km de litoral continental), con zonas de humedales, manglares, islas de barrera, dunas, arrecifes de coral, praderas de césped e islas costeras (Lara-Lara *et al.*, 2008). Esta riqueza le da un gran potencial para el estudio y descubrimiento de nuevos bioactivos marinos. En específico, el Pacífico mexicano es de gran importancia por contar con diversos ecosistemas que son únicos dentro del planeta y que soportan una extraordinaria biodiversidad, donde destacan 800 especies de macroalgas y flora marina, 70 especies de corales, cerca de 500 equinodermos (Espinoza, 2004), y 156 especies de esponjas para

el Mar de Cortés con alto potencial para el aislamiento de compuestos con alguna actividad (Carballo *et al.*, 2014). Esta alta diversidad, representa un acervo de recursos que no han sido evaluados, sobre todo en regiones poco estudiadas o donde los estudios de productos naturales apenas empiezan a desarrollarse. Si bien, desde la década de los setenta, en el Pacífico mexicano se han buscado especies marinas con potencial bioactivo (p. ej. a bordo del R/V “Alpha Helix” en 1974) (Rinehart *et al.*, 1981). La presente revisión pretende mostrar el estado que guarda la investigación de compuestos bioactivos derivados de organismos marinos (microorganismos, macroalgas e invertebrados), haciendo énfasis en las investigaciones más conspicuas realizadas durante la última década.

Microorganismos

En los últimos años, gran parte del esfuerzo de búsqueda de compuestos bioactivos se ha dirigido a microorganismos marinos, debido a su enorme diversidad; las complejas asociaciones simbióticas con algas e invertebrados y un crecimiento exponencial en el número de nuevos compuestos aislados (Kelecom, 2002; Penesyan *et al.*, 2010). Para el Pacífico mexicano, existen pocos trabajos que evalúen la actividad de microorganismos, sin embargo, resulta notorio que estos se han llevado a cabo en años recientes, por lo que se prevé un aumento en los próximos años. La mayoría de estas investigaciones se han realizado en el Golfo de California y la costa occidental de la Península de Baja California (figura 1).

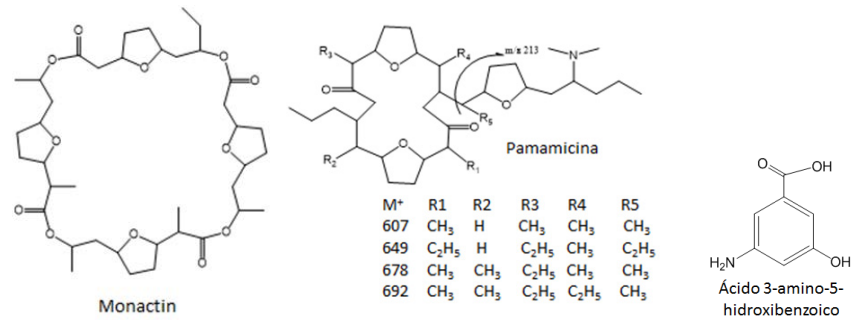
Figura 1
Principales zonas donde se ha evaluado la bioactividad de microorganismos (▲), Macroalgas (●) e invertebrados (■) en el Pacífico mexicano.



Investigaciones en el Golfo de California han evidenciado una alta diversidad de actinobacterias marinas (Maldonado *et al.*, 2009), lo que ha motivado a la evaluación de la actividad biológica de cepas provenientes de diferentes localidades del Golfo de California. Una exploración de la bioactividad de actinobacterias de los géneros *Micromonospora*, *Salinispora* y *Verrucosipora* de bahía Concepción y bahía de Los Ángeles, reveló una fuerte actividad citotóxica y antibacteriana la cual es mediada por compuestos como mutamicina, fortamicina, micinamicina y macquarimicina que fueron descritos por primera vez para cepas marinas (Torres-Beltrán *et al.*, 2012). Cepas del género *Streptomyces* aisladas de la bahía de Todos Santos, B.C. producen compuestos antitumorales como la monactina y derivados de pamamicina (figura 2) (Becerril-Espinoza, 2012). Dentro del Golfo de California, otra zona de interés por

sus condiciones ecológicas es el Parque Nacional de Bahía de Loreto, y a diferencia de otras regiones estudiadas, en esta localidad se encontró el mayor número de cepas activas de los géneros *Micromonospora*, *Streptomyces* y *Salinispora*. 71 % fueron activas frente a cepas patógenas y 40% con actividad citotóxica (Cardoso-Martínez *et al.*, 2015). Gran parte de las actinobacterias de la zona noroeste del Golfo de California, pertenecen al género *Salinispora*. El análisis de secuencias de genes biosintéticos (PKS) de cepas de este género de la zona, mostró evidencia de compartir rutas comunes con otras cepas del mismo género, pero también secuencias con bajos niveles de identidad con cualquier vía metabólica establecida, lo que puede estar asociado a la producción de nuevos metabolitos secundarios. Para el caso de la cepa AMS515 que comparte rutas comunes, una predicción experimental basada en su ruta biosintética indicó la presencia de compuestos de tipo rifamicina (Becerril-Espinosa *et al.*, 2013). A partir de la cepa AMS370 de *S. arenicola* se aislaron ocho compuestos conocidos, siendo el compuesto ácido-3-amino-5-hidroxi-benzoico (figura 2) el primer reporte para esta especie. Ningún compuesto presentó actividad, sólo una fracción fue activa frente a cepas patógenas, por lo que sigue pendiente la caracterización de los compuestos responsables de la actividad (Íñiguez-Martínez *et al.*, 2016).

Figura 2
Ejemplos de compuestos aislados de cepas de *Streptomyces* sp.
y *Salinispora arenicola* del Golfo de California.



También se ha documentado que los microorganismos asociados a esponjas pueden llegar a representar hasta el 60% de la biomasa de la esponja (Zeng *et al.*, 2013). Esto, aunado al alto porcentaje de cepas aisladas con actividad antibacteriana, apunta a que las esponjas marinas albergan una diversidad microbiana con un potencial metabólico que puede dar lugar al descubrimiento de nuevos compuestos activos (Thakur *et al.*, 2005).

En este sentido, se han empezado a explorar la actividad biológica de las bacterias asociadas a esponjas del género *Aplysina* y *Mycale* de la zona de Punta Arena y Pichilingue en Baja California Sur. El estudio de las bacterias cultivables asociadas a la esponja *A. gerardogreeni* indicó que el 87 % de los extractos obtenidos del cultivo bacteriano poseen la capacidad de inhibir el crecimiento de bacterias y microalgas involucradas en la formación de biofouling. Los géneros *Bacillus*, *Micrococcus*, *Paracoccus*, *Pseudobacter*, *Pseudovibrio*, *Psychrobacter*, *Staphylococcus* y *Terribacillus*, fueron los más activos, y en especial los extractos de *Bacillus* sp. son buenos candidatos para el control del fouling (Águila-Ramírez *et al.*, 2014). El 58% de estas cepas también mostró actividad antibacteriana frente a *S. aureus* y *Escherichia coli* (Águila-Ramírez, 2012). Por otra parte, a partir de *Aplysina chlatrata* se aislaron 41 bacterias Gram positivas, de las cuales 32% fueron activas frente a los patógenos *S. aureus*, *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Candida albicans* (Montes-Plascencia, 2013). Mientras que a partir de la esponja *Mycale* sp. de la bahía de La Paz, B.C.S., se obtuvo que el 49% de las cepas cultivables fueron activas frente a *S. aureus*, *E. coli* y *Vibrio carcharie* (Parera-Valadez, 2012).

Macroalgas

Como parte de su recurso ficológico, México cuenta con alrededor de 1,500 especies descritas, para el Pacífico mexicano, el número de especies indexadas asciende a más de mil ejemplares, de las cuales menos de un centenar son económicamente explotables (Pedroche y Santies, 2003). Este recurso es fuente potencial de compuestos bioactivos de interés en diversas ramas de la industria alimenticia (Kilinc *et al.*, 2013), farmacéutica (Blunt *et al.*, 2016), agrícola (Chojnacka *et al.*, 2015) y ambiental (Amita *et al.*, 2016; Xiao *et al.*, 2017).

En los últimos años se han reportado diversas actividades biológicas de extractos de algas recolectadas en diferentes puntos de las costas del Pacífico mexicano (figura 1), que van desde la anticoagulante, antibacteriana, antiepibiótica, citotóxica, antioxidante, cosmecéutica, antiinflamatoria y antiviral.

Diversos estudios se han enfocado a la búsqueda de polisacáridos sulfatados con la capacidad de modular la coagulación sanguínea (Muñoz-Ochoa, 2010; Muñoz-Ochoa *et al.*, 2009; Sánchez-Lozano, 2013; Castro-Silva, 2013; Villegas-Silva, 2014; Di Filippo-Herrera, 2014; García-Zamora, 2017). Estudios exploratorios con extractos acuosos de 21 especies de Baja California Sur, mostraron el potencial de diversas especies (Muñoz-Ochoa, 2010). Tal es el caso de los extractos de *Codium simulans* (Rodríguez-Cuautle, 2013) y *Eisenia arbórea*, de esta última se aisló un heterofucano sulfatado (acetil fucoidan) que tiene mayor actividad anticuagulante que el producto comercial heparina de sodio (Muñoz-Ochoa *et al.*, 2009). A partir de *Hydroclathrus clathratus*, se obtuvo una fracción polisacárida activa con las características de acetil fucoidan (Sánchez-Lozano, 2013). Mientras que de *Macrocystis pyrifera* se aislaron polisacáridos sulfatados que mostraron actividad anticoagulante en ensayos *in vivo* (Castro-Silva, 2013). El extracto y fracciones de *S. lapazeanum* mostraron valores de actividad comparables a la heparina de sodio a bajas concentraciones (Villegas-Silva, 2014), y de *Stephanocystis dioica* se aisló un heterofucano sulfatado con alta actividad anticoagulante (García-Zamora, 2017).

Un aspecto prioritario en salud pública es la búsqueda de compuestos que inhiban a bacterias patógenas resistentes (WHO, 2017), en este sentido se han realizado diversas evaluaciones con macroalgas (Muñoz-Ochoa, 2010; Muñoz-Ochoa *et al.*, 2010; Águila-Ramírez *et al.*, 2012; Villegas-Silva, 2014). Que han mostrado que el 33% de los extractos de especies recolectadas a lo largo de la Península de Baja California Sur, tiene capacidad para revertir la resistencia a los antibióticos de bacterias patógenas de interés clínico, siendo el extracto de *Sargassum horridum* uno de los más prometedores (Muñoz-Ochoa *et al.*, 2010). Otras especies con potencial antibacteriano que se han descrito son *Laurencia johnstonii*, *Ulva lactuca* y *Dictyota flabellata* (Águila-Ramírez *et al.*, 2012). Mientras que

S. lapazeanum, mostró actividad selectiva frente a bacterias del género *Vibrio* (Villegas-Silva, 2014). En ensayos frente a *Mycobacterium tuberculosis*, los extractos de *Laurencia* sp., *Sargassum horridum* y *Pterosiphonia bipinnata* mostraron actividad (Muñoz-Ochoa et al., 2010). Dentro de los compuestos aislados de *S. horridum*, el ácido mirístico mostró actividad contra *M. tuberculosis* (Muñoz-Ochoa, 2010).

Para la industria naviera, un problema a resolver es la incrustación de organismos en estructuras sumergidas en el mar. Para el Pacífico mexicano son pocas las investigaciones que se han enfocado en evaluar la actividad de extractos algales frente a microorganismos (bacterias y microalgas) que están involucrados en el proceso de formación del biofouling (Muñoz-Ochoa, 2010; Águila-Ramírez et al., 2012; Sánchez-Lozano, 2016). Dentro de los extractos más activos frente a cepas formadoras de biofouling, se pueden mencionar los obtenidos de *Laurencia johnstonii*, *Gelidium robustum*, *Padina concrescens*, *Macrocystis pyrifera* y *Ulva lactuca* (Muñoz-Ochoa, 2010; Águila-Ramírez et al., 2012). Un estudio más reciente frente a bacterias formadoras de biopelículas nativas de la bahía de La Paz, mostró que los de extractos de *Sargassum horridum* y *Laurencia gardneri* fueron los más activos, además de inhibir la actividad de la enzima fenoloxidasa, involucrada en procesos de fijación. Experimentos en campo con el extracto de *S. horridum* incluido en una matriz de pintura dio lugar a la inhibición de un 40% del asentamiento de organismos (Sánchez-Lozano, 2016).

Otra actividad interesante de evaluar, ha sido la antioxidante, diversos estudios han mostrado que las especies más promotoras son *Padina mexicana*, *P. concrescens*, *P. durvillaei*, *S. lapazeanum*, *E. arborea* y *C. osmundacea*, los cuales muestran alto contenido de flavonoides y polifenoles (Castro-Silva, 2010; Muñoz-Ochoa, 2010; Vargas-Betancourt, 2011; Villegas-Silva, 2014; Osuna-Ruiz et al., 2016; Tenorio et al., 2017).

Algunas especies de algas marinas también han mostrado actividad citotóxica frente a diferentes líneas de células tumorales, dentro de las cuales se puede mencionar a *P. mexicana*, *H. clathratus*, *R. intricata*, *C. sinuosa*, *S. horridum*, *S. lapazeanum*, *M. pyrifera*, *Laurencia* sp., *L. pacifica* y *L. johnstonii* (Muñoz-Ochoa, 2010;

García-Patiño, 2014; Zaleta-Pinet *et al.*, 2014; Mendoza-Alcalá *et al.*, 2017). A partir del alga roja *L. pacifica* recolectada en costas de Baja California Sur, se aislaron cinco nuevos sesquiterpenos (isoaplysin, isolaurenisol, debromoisolaurinterol, debromoaplysinol, laur-11-en-10-ol, 10~hidroxildebromoepiaplysin) y el compuesto conocido como 10-bromo -3,7,11,11-tetrametilspiro[5.5]-undeca-1,7-dien-3-ol. Isoaplysin y debromoaplysinol mostraron una prominente actividad anticancerígena contra diferentes las líneas celulares (Zaleta-Pinet *et al.*, 2014).

La enfermedad conocida como Huanglongbing (HLB) es causante de pérdidas millonarias para la industria de los cítricos en todo el mundo (Mora-Aguilera *et al.*, 2016). En este sentido se ha evaluado la actividad repelente de los extractos obtenidos de *L. lajolla* y *S. horridum* contra *Diaphorina citri*, el insecto vector de la enfermedad. Los extractos fueron activos con una repelencia mayor al 80% a diferentes tiempos de la aplicación (González-Castro *et al.*, 2014).

En el caso de evaluación del potencial cosmeceútico de los extractos etanólicos de macroalgas (Rodríguez-Cuautle, 2016), actividad antiinflamatoria (García-López, 2016) y actividad antiviral de lectinas (Pardo-Fuentes, 2017) son escasos los trabajos, pero dan pauta para continuar las investigaciones en este sentido por los resultados obtenidos.

Invertebrados

A nivel mundial, existe gran interés en la búsqueda de nuevos compuestos a partir de invertebrados marinos, lo que se refleja en el aislamiento de aproximadamente diez mil nuevos metabolitos en los últimos años (Leal *et al.*, 2012; Blunt *et al.*, 2016). Este interés se debe al tipo de estructuras y los novedosos mecanismos de acción, que han permitido desarrollar fármacos comerciales como Vidaravina, Gemzar, Prial y Yondelis (Montaser y Luesch, 2011).

Esponjas

Son uno de los grupos más estudiados para el descubrimiento de agentes terapéuticos (Munro *et al.*, 1999), a partir de ellas se ha obtenido el mayor número de nuevas moléculas, pertenecientes a diversos tipos estructurales con actividades biológicas interesan-

tes (Blunt *et al.*, 2016). En el Pacífico mexicano, la investigación de productos naturales con esponjas no ha sido la excepción. Sobre todo para el Golfo de California (figura 1), donde se han realizado varias investigaciones y en los últimos diez años se han aislado 40 nuevas moléculas.

En la búsqueda de nuevos compuestos con actividad citotóxica se han aislado diversos metabolitos de esponjas del Golfo de California, tal es el caso de la esponja *Hyatella intestinalis* que presentó once nuevos sesterterpenos de tipo escalarano. De los cuales, seis mostraron una moderada actividad citotóxica frente a líneas de células tumorales. Siendo hyatolida E y 12-O-deacetylnorscalar B (figura 3) los más activos (Hernández-Guerrero *et al.*, 2006). A partir de esponjas del género *Dysidea* se aislaron cuatro nuevos merosesquiterpenos, los más activos frente a las líneas celulares fueron el 20-O-acetyl-21-hydroxy-ent-isozonarol y dysienona (figura 3) (Pérez-García *et al.*, 2005).

Resulta de interés que estos metabolitos dieron pauta para llevar a cabo un estudio que integró aspectos biológicos y químicos, en la caracterización de tres nuevas especies (Carballo *et al.*, 2006). El género *Axinyssa* del Golfo de California es una rica fuente de compuestos de tipo sesquiterpenoide, se aislaron 12 nuevos sesquiterpenos bicíclicos, cinco de los cuales mostraron actividad citotóxica moderada, siendo axinisothiocianate J (figura 3) el compuesto que presentó la mayor actividad (Zubia *et al.*, 2008).

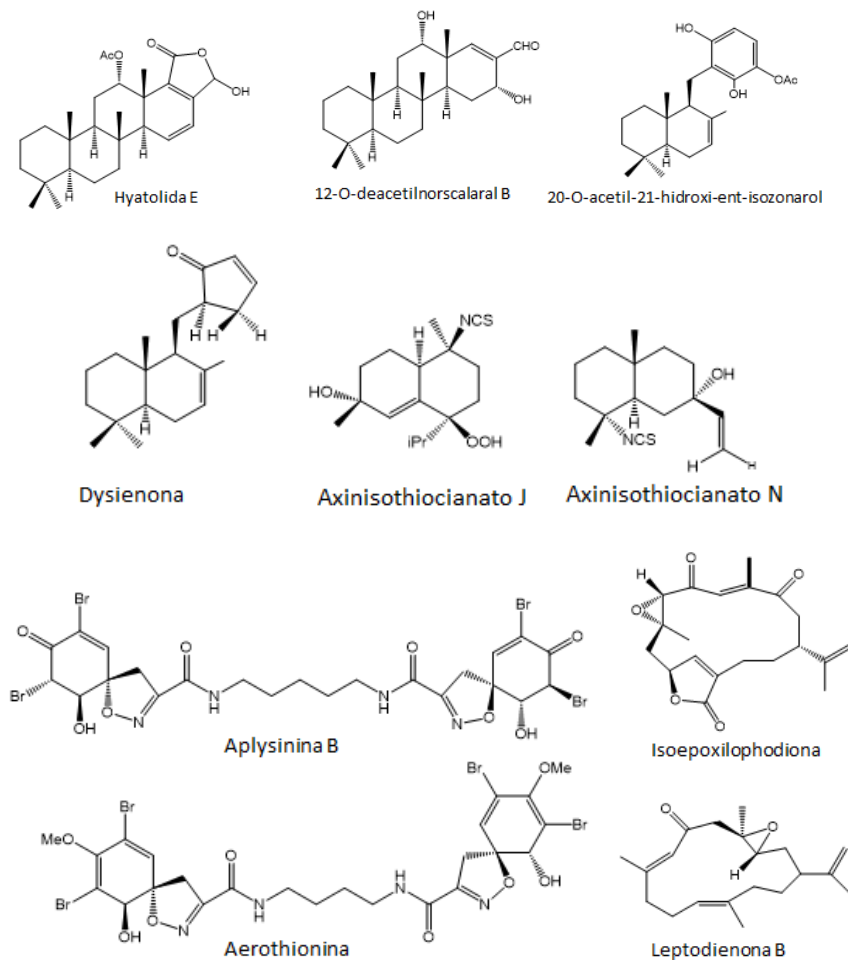
Por otra parte a partir de *Axinyssa isabela*, se aislaron 9 nuevos sesquiterpenos, de los cuales, tres mostraron moderada actividad citotóxica, siendo el compuesto axinisothiocyanato N (figura 3) el más activo (Zubia *et al.*, 2008). A partir de *Aplysina gerardogreeni*, se aislaron cuatro nuevos compuestos derivados de la dibromotirosina con actividad citotóxica. De los cuales, la aplysinona B (figura 3) mostró la mayor actividad como inhibidor del crecimiento de las líneas celulares ensayadas (Hernández-Guerrero *et al.*, 2007).

A partir de *A. gerardogreeni* de la Isla Espíritu Santo, Baja California Sur, se aislaron dos nuevos compuestos la calafianina y el cordobol, así como el compuesto conocido aerotionina. De los cuales sólo la aerotionina (figura 3) y cordobol fueron activos

frente a diferentes cepas de *Mycobacterium tuberculosis* (Encarnación-Dimayuga *et al.*, 2003, 2008). También extractos de ejemplares de Punta Arena de la Ventana, presentaron actividad antibacteriana frente a otras cepas patógenas de interés clínico (Gándara-Zamudio, 2011).

Figura 3

Ejemplos de nuevos compuestos bioactivos aislados de esponjas y octocorales del Pacífico Mexicano.



Un aspecto a considerar, cuando se recolectan organismos para evaluar su actividad biológica, es la época del año, por lo que se evaluó la variación estacional de la actividad antibacteriana de ejemplares de *A. gerardogreeni* recolectados en Punta Arena de la Ventana, B. C. S., frente a cepas patógenas. Los resultados mostraron una evidente variación en su bioactividad, dependiendo de la época del año. Los extractos de otoño mostraron la mayor actividad (Montes-Plascencia *et al.*, 2010). En este sentido, también se observó una variación en la concentración relativa de los metabolitos aerothionina, homoaerothionina, 11-oxohomoaerothionina, fistularina-1 y fistularina-3, a lo largo del año (Valencia-Agami, 2013). En la bahía de La Paz, se evaluó la bioactividad de las esponjas *Haliclona caerulea*, *H. turquoisia*, *Callyspongia californica*, *Mycale ramulosa* e *Ircinia* sp. en dos épocas del año, y los resultados mostraron que los extractos de la temporada fría presentaron en general la mayor actividad antibacteriana (Ortíz-Aguirre, 2012).

Otro aspecto que puede ser limitante en la búsqueda de nuevos compuestos, es la cantidad de ejemplares con los que se debe partir para lograr aislar compuestos, debido a que la concentración de estos puede ser muy baja, alrededor del orden de 10^{-3} . Por lo que se han buscado alternativas como el cultivo de los organismos de interés (Proksch *et al.*, 2003). La esponja *Mycale Cecilia* del Golfo de California (zona de Mazatlán) dio lugar al aislamiento de 14 nuevos compuestos citotóxicos, los micalazales y micalanitrilos (Ortega *et al.*, 2004). Con la finalidad de obtener mayor cantidad de ejemplares y por ende un mayor abasto del recurso sin poner en riesgo a las poblaciones naturales, se cultivaron explantes de *M. cecilia*. Los resultados fueron alentadores ya que se consiguió obtener biomasa sin perder la producción de los compuestos bioactivos originalmente descritos (Carballo *et al.*, 2010). Para el área de Oaxaca, son pocos los trabajos recientes con esponjas que aborden aspectos de bioactividad, existen registros de algunas tesis con *Suberites ficus* y *Aplysina gerardogreeni*, desafortunadamente, no se logró conseguir el documento completo para su registro.

Octocorales

Dentro de la familia Gorgoniidae, se han estudiado desde el punto de vista químico, dos especies del Golfo de California que dieron lugar al aislamiento de nueve nuevos compuestos. *Lophogorgia peruana*, de la cual se aislaron siete nuevos diterpenos, siendo isoeopoxilophodiona (figura 2) el que mostró la mejor actividad citotóxica frente a líneas celulares (Sánchez *et al.*, 2006). Mientras que de *Leptogorgia laxa*, se aislaron dos nuevos compuestos citotóxicos, las leptodienonas A y B (figura 2) este último con una potente actividad (Ortega *et al.*, 2008).

En un estudio exploratorio con invertebrados de Punta Arena de la Ventana, B.C.S., mostró que el extracto de *Leptogorgia rigida*, tiene potencial antiinflamatorio, con una inhibición del edema del 59% en comparación con el control de indometacina (80%) (Vargas-Betancourt, 2014).

Equinodermos

A partir del pepino de mar *Neothyone gibbosa*, del Golfo de California, se aisló el compuesto Neothiosida A, un glucósido de naturaleza triterpénica, que en estudios posteriores mostró actividad fungicida frente a *Candida albicans* (Encarnación *et al.*, 1989, 2006).

Extractos etanólicos de vísceras y la parte calcárea del erizo de mar *Diadema mexicanum* (Playa Calerita, B.C.S.) mostraron actividad antibacteriana y hemolítica, siendo el extracto de vísceras el más activo (Juárez-Espinoza, 2010).

En años más recientes se llevó a cabo una evaluación de la actividad de extractos de equinodermos de Punta Arena de la Ventana, B.C.S. Los ejemplares estudiados fueron el pepino de mar *Holoturia pluricuriosa*, estrellas de mar *Pentaceraster occidentalis*, *Acanthaster ellisii*, *Phataria unifascialis*, *Pharia pyramidatus* y *Mithrodia bradleyi*; así como los erizos *Toxopneustes roseus*, *Centrostephanus coronatus*, *Echinometra vanbrunti* y *Eucidaris thouarsii*. Con respecto a la actividad antibacteriana únicamente *E. thouarsii* presentó actividad frente a *Staphylococcus aureus*. En la prueba de hemólisis, los extractos butanólicos del cuerpo de *Mithrodia bradleyi*, *Acanthaster planci* y *Holoturia pluricuriosa* fueron los que presentaron el mayor halo de lisis a las 24 h. En cuanto a la actividad antiinfla-

matoria, *M. bradleyi* fue el más activo con un porcentaje de inhibición del edema del 55%. La evaluación de la citotoxicidad frente a líneas celulares tumorales, dio como resultado que los extractos de *M. bradleyi* y *E. thouarsii* fueran los más activos (Vargas-Betancourt, 2014).

Conclusiones

En el Pacífico mexicano se desarrolla un gran esfuerzo para la búsqueda de nuevos compuesto con actividad biológica, sin embargo, la mayoría de los trabajos carecen de los aspectos de química estructural de los productos naturales marinos responsables de la actividad. La mayoría de estos esfuerzos se han concentrado en las costas de la Península de Baja California y en el Mar de Cortés, mientras que los estudios en las costas del sur y sureste del Pacífico son incipientes. Lo cual puede deberse a la alta biodiversidad que existe en la zona noroeste, aunado a que en la misma área convergen un buen número de centros de investigación e instituciones educativas que enfocan gran parte de sus investigaciones al recurso marino. Entre ellas podemos mencionar al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) perteneciente al Instituto Politécnico Nacional, Centro Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), Centro de Investigación Científica y de Educación Superior en Ensenada (CICESE), Instituto de Investigaciones Biológicas (IIO), Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL) de la Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma de Baja California y Universidad Autónoma de Baja California Sur.

La búsqueda de compuestos con potencial bioactivo a partir de microorganismos marinos es reciente, y se ha enfocado a las actinobacterias marinas, así como a bacterias asociadas a esponjas. Las actividades más relevantes para este grupo fueron citotóxica, antibacteriana y antiepiibiótica. Con respecto a las macroalgas, los trabajos ponen de manifiesto que son un recurso de gran interés, en la evaluación de diversos potenciales bioactivos, desde antibacterianos, citotóxicos, antiincrustantes, antioxidantes, cosmecéuticos y repelentes contra insectos, entre otros. Mientras que en invertebrados, diversos estudios dirigidos a la búsqueda de moléculas

las con actividad citotóxica, dieron lugar al aislamiento de 50 nuevos compuestos, 40 de ellos para el grupo de las esponjas y el resto para corales pertenecientes a la familia Gorgoniidae; además de tener un gran interés en el potencial bioactivo de diferentes especies de esponjas, equinodermos y corales.

Resulta notorio que los estudios exploratorios de búsqueda de actividad biológica tanto en macroalgas como invertebrados, son en su mayoría trabajos de tesis de licenciatura, maestría y doctorado, que aún no han sido publicados en revistas especializadas, manteniéndose como literatura gris.

Las investigaciones realizadas hasta ahora para el Pacífico mexicano ponen en evidencia el potencial bioactivo existente, por lo que los trabajos futuros se deben enfocar a dar una continuidad a los resultados actuales y llegar a la elucidación estructural de las moléculas responsables de la actividad.

Agradecimientos

A COFAA y EDI del Instituto Politécnico Nacional.

Literatura citada

- Águila-Ramírez, R.N. (2012). Caracterización y bioactividad de bacterias asociadas a la esponja *Aplysina gerardogreeni* del Golfo de California. (Tesis Doctoral) Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Baja California Sur, México.
- Águila-Ramírez, R. N., Hernández-Guerrero, C. J., González-Acosta, B., Id-Daoud, G. Hewitt, S. Pope, J. & Hellio, C. (2014). Antifouling activity of symbiotic bacteria from sponge *Aplysina gerardogreeni*. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 90, 64-70.
- Águila-Ramírez, R. N., Arenas-González, A., Hernández-Guerrero, C. J., González-Acosta, B., Veron, B. & Hellio, C. (2012). Antimicrobial and antifouling activities achieved by extracts of seaweeds from Gulf of California, Mexico. *Hidrobiológica*, 22(1), 8-15.
- Amita J., Xia A., Gunning D., Burnell G. & Murphy D. J. (2016). Seaweed Biofuel Derived from Integrated Multi-trophic. *Aquaculture International Journal of Environmental Science and Development*, 7(11), 805-809.
- Becerril-Espinoza, A., Guerra-Rivas, G., Ayala-Sánchez, N. & Soria-Mercado, I. E. (2012). Antitumor activity of Actinobacteria isolated in marine sediment from Todos Santos Bay, Baja California, Mexico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 47(2), 317-325.
- Becerril-Espinoza, A., Freel, K. C., Jensen, P. R. & Soria-Mercado, I. E. (2013). Marine Actinobacteria from the Gulf of California: diversity, abundance and

- secondary metabolite biosynthetic potential. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 103(4), 809–819. doi:10.1007/s10482-012-9863-3.
- Blunt, J. W., Copp, B. R., Keyzers, R. A., Munro, M.H.G. & Prinsep, M. R. (2016). Marine Natural products. *Natural Products Report*, 33, 382-431.
- Carballo, J. L., Zubia, E. & Ortega, M. J. (2006). Biological and chemical characterizations of three new species of *Dysidea* (Porifera: Demospongiae) from the Pacific Mexican coast. *Biochemical Systematics and Ecology*, 34, 498-508.
- Carballo, J. L., Yañez, B., Zubia, E., Ortega, M. J. & Vega C. (2010). Culture of explants from the sponge *Mycale cecilia* to obtain bioactive mycalazal-type metabolites. *Marine Biotechnology*, 12, 516–525.
- Cardoso-Martínez, F., Becerril-Espinosa, A., Barrila-Ortiz, C., Torres-Beltrán, M., Ocampo-Álvarez, H., Iñiguez-Martínez, A. M. & Soria-Mercado, I. E. (2015). Antibacterial and cytotoxic bioactivity of marine Actinobacteria from Loreto Bay National Park, Mexico. *Hidrobiológica*, 25 (2), 223-229.
- Chojnacka, K., Michalak, I., Dmytryk, A., Gramza, M., Słowiński, A. & Górecki, H. (2015). Algal Extracts as plant growth biostimulants. In: Kim, S. K. & Chojnacka, K. eds. *Marine algae extracts: processes, products, and applications*. (1st ed.) pp 1-14. Germany. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. doi: 10.1002/9783527679577.ch11.
- Di Filippo-Herrera, D. A. (2014). Variación de la composición química y actividad biológica del alga café *Sargassum horridum* (Setchell & Gardner, 1924) de la Bahía de La Paz, B. C. S., México. (Tesis de Maestría) Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Baja California Sur, México.
- Donia, M. & Hamman M. (2003). Marine natural products and their potential applications as anti-infective agents. *Lancet Infectious Diseases*, 3, 338-348.
- Encarnación, R., Carrasco, D. G., Espinoza, M., Anthoni, U., Nielsen P. N. & Christophersen, C. (1989). Nephthyside A, Proposed structure of a triterpenoid tetraglycoside from the Pacific sea cucumber, *Neothylene gibbosa*. *Journal of Natural Products*, 52(2), 248-251.
- Encarnación, R., Murillo-Álvarez, J. I., Christophersen, C., Chan-Bacab, M., García-Reirz, M. L. & Zacchino. S. (2006). Leishmanicidal, antifungal and cytotoxic activity of triterpenoid glycosides isolated from the sea cucumber *Neothylene gibbosa*. *Natural Products Communications*, 1(7), 541-548.
- Encarnación-Dimayuga, R., Muñoz-Ochoa, M., Carsten, C., Esquivel, B., García, A., Delgado, G., Molina-Salinas, G. M. & Said-Fernández, S. (2008). Isolation of a new epidioxy sterol with antituberculosis activity and sepesteonol from the Marine Sponge *Aplysina Gerardogreeni* (Demospongiae). *Natural Products Communications*. 3, 1-4.
- Encarnación-Dimayuga, R., Ramírez, M. R. & Luna-Herrera, J. (2003). Aerothionin, a bromotyrosine derivative with antimycobacterial activity from the marine sponge *Aplysina Gerardogreeni* (Demospongia). *Pharmaceutical Biology*, 41, 384-387.
- Espinosa, H. (2004). El Pacífico mexicano. *Ciencias*, 76, octubre-diciembre, 14-21.
- Gandara-Zamudio, A. (2011). Actividad antibacteriana y citotóxica de diferentes morfologías de la esponja *Aplysina Gerardogreeni* de Punta Arena de la

- Ventana, B.C.S., México. (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma de Baja California Sur, Baja California Sur, México.
- García-López, E. B. (2016). Evaluación de la actividad antiinflamatoria de extractos y fracciones de macroalgas de Baja California Sur, México. (Tesis de Maestría), Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Baja California Sur, México.
- García-Zamora, G. M. (2017). *Stephanocyttis dioica* (Gardner 1913) como fuente de polisacáridos sulfatados con actividad anticoagulante. (Tesis Licenciatura) Universidad Autónoma de Baja California Sur, Baja California Sur, Mexico.
- González-Castro, A. L., Muñoz Ochoa, M. & Rodríguez Cuautle, A. (2014). Repellent activity of marine macroalgae extracts against *Diaphorina citri*. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences*, 4(5), 27-30.
- Hernández-Guerrero, C. J., Zubia, E., Ortega, M. J. & Carballo, J. L. (2006). Sesquiterpene metabolites from the sponge *Hyatella intestinalis*. *Tetrahedron*, 62(23), 5392-5400.
- Hernández-Guerrero, C. J., Zubia, E., Ortega, M. J. & Carballo, J. L. (2007). Cytotoxic dibromotyrosine-derived metabolites from the sponge *Aplysina Gerardogreeni*. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 15(15), 5275-5282.
- Íñiguez-Martínez, A. M., Cardoso-Martínez, F., de la Rosa, J., Cueto, M., Díaz-Marrero, A., Darias, J., Becerril-Espinosa, A., Plata-Rosas, L. J. & Soria-Mercado, I. E. (2016). Compounds isolated from *Salinispora arenicola* of the Gulf of California, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 51(1), 161-170.
- Juárez-Espinoza, P. A. (2010). Determinación de la actividad biológica de los extractos orgánicos del erizo de mar *Diadema mexicanum* (A. Agassiz, 1863). (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma de Baja California Sur, Baja California Sur, México.
- Kelecom, A. (2002). Secondary metabolites from marine microorganisms. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 74(1), 151-170.
- Kılınç B., Çirik S., Turan G., Tekogul H. & Koru E. (2013). Seaweeds for Food and Industrial Applications Agricultural and Biological Sciences. In: Muzzalupo, I. ed. Food Industry. pp. 758. Publisher: InTech. doi: 10.5772/55834.
- Lara-Lara, J. R., et al. (2008). Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales. En: Conabio. *Capital natural de México, Vol. I, Conocimiento actual de la biodiversidad*. pp. 109-134. México: Offset Rebosán, S.A. de C.V.
- Leal M. C., Puga J., Seródio J., Gomes, N. C. M. & Calado, R. (2012). Trends in the discovery of new marine natural products from invertebrates over the last two decades – Where and what are we bioprospecting? *PLoS ONE*, 7(1), e30580. doi:10.1371/journal.pone.0030580.
- Maldonado L. A., Fragosó-Yañez, D., Pérez-García, A., Rosellón-Druker, J. & Quintana E. T. (2009). Actinobacterial diversity from marine sediments collected in Mexico. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 95, 111-120.
- Mendoza-Alcalá, J. M., Villegas Silva, V. A., Chequer, N. A. y Muñoz Ochoa, M. (2016). Caracterización fitoquímica y evaluación de la actividad anticancerígena de *Sargassum lapazeanum* Setchell & N.L. Gardner (Ochrophyta: Fucales, Phaeophyceae). p. 48. *12a. Reunión Internacional de In-*

- vestigación de Productos Naturales*. 18-20 de Mayo de 2016, Xalapa, Veracruz, México.
- Montaser, R. & Luesch, H. (2011). Marine natural products: a new wave of drugs? *Future Medicinal Chemistry*, 3(12), 1475-1489.
- Montes-Plascencia, C. I., Hernández-Guerrero, C. J., González-Acosta B. & Águila Ramírez, R. N. (2010). Seasonal variation of antibacterial activity of *Aplysina gerardogreeni* from the Gulf of California. *CICIMAR-Oceánides*, 25(1), 79-81.
- Montes-Plascencia, C. I. (2013). Aislamiento, identificación molecular y bioactividad de bacterias Gram positivas asociadas a la esponja *Aplysina clathrata*. (Tesis de Maestría) Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Baja California Sur, México.
- Munro, M. H. G., Blunt, J. W., Dumdei, E. J., Hickford, S. J. H., Lill, R. E., Li, S., Battershill, C. N. & Duckworth, A. R. (1999). The discovery and development of marine compounds with pharmaceutical potential. *Journal Biotechnology*, 70, 15-25.
- Muñoz-Ochoa M. (2010). Potencial farmacológico de algas marinas de Baja California Sur, México. (Tesis Doctoral). Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Baja California Sur, México.
- Muñoz-Ochoa M., Murillo-Alvarez, J. I., Rodríguez-Montesinos, Y. E., Hernández-Carmona, G., Arvizu-Higuera, D. L., Peralta-Cruz, J. & Lizardi-Mendoza, J. (2009). Anticoagulant screening of marine algae from Mexico, and partial characterization of active sulfated polysaccharide from *Eisenia arborea*. *CICIMAR Oceánides*, 24(1), 15-29.
- Muñoz Ochoa, M., Murillo-Álvarez, J. I., Zermelo Cervantes, L. A., Martínez Díaz, S. F. & Riosmena Rodríguez, R. (2010). Screening of extracts of algae from Baja California Sur, Mexico as reversers of the antibiotic resistance of some pathogenic bacteria. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 14, 739-747.
- Newman, D. J. & Cragg, G. M. (2004). Advanced preclinical and clinical trials of natural products and related compounds from marine sources. *Current Medical Chemistry*, 11, 1693-1713.
- Ortega, M. J., Zubía, E., Sánchez, M. C. & Carballo, J. L. (2008). Cembrane Diterpenes from the Gorgonian *Leptogorgia laxa*. *Journal of Natural Products*, 71, 1637-1639.
- Ortega, M. J., Zubía, E., Sánchez, M. C., Salva, J. & Carballo, J. L. (2010). Structure and cytotoxicity of new metabolites from the sponge *Mycale cecilia*. *Tetrahedron*, 60, 2517-2524.
- Ortiz-Aguirre, I. (2012). Actividad biológica de esponjas y su relación con la complejidad de la comunidad bentónica en la Bahía de La Paz, B.C.S., México. (Tesis de Maestría) Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Baja California Sur, México.
- Osuna-Ruiz, I., López-Saiz, C. M., Burgos-Hernández, A., Velázquez, C., Nieves-Soto, M. & Hurtado-Oliva, M. A. (2016). Antioxidant, antimutagenic and antiproliferative activities in selected seaweed species from Sinaloa, Mexico. *Pharmaceutical Biology*, 54(10), 2196-2210.

- Parera-Valadez, Y. (2012). Búsqueda de actividad antimicrobiana en bacterias heterótrofas asociadas a la esponja *Mycale* sp. de la Bahía de La Paz, BCS, (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma de Baja California Sur, Baja California Sur, México.
- Pardo Fuentes P. E. (2017). Evaluación de lectinas de origen algal como agentes inhibidores de la infección del virus Dengue. (Tesis Doctoral) Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Baja California Sur, México.
- Pedroche, F. F. & Santiés, G. A. (2003). Ficología marina mexicana. Diversidad y problemática actual. *Hidrobiológica*, 13, 23-32.
- Pérez-García, E., Zubía, E., Ortega, M. J. & Carballo, J. L. (2005). Merosesquiterpenes from Two Sponges of the Genus *Dysidea*. *Journal Natural Products*, 68, 653-658.
- Penesyan, A., Jelleberg, S., & Egan, S. (2010). Development of Novel Drugs from Marine Surface Associated Microorganisms. *Marine Drugs*, 8(3), 438-459. doi:10.3390/md8030438.
- Proksch, P., Edrada-Ebel, R. & Ebel, R. (2003). Drugs from the Sea - Opportunities and Obstacles. *Marine Drugs*, 1, 5-17.
- Rinehart, L. K., D. P. Shaw, S. L. Shield, B. J. Gloer, C. G. Harbour, E. S. M. Koker, D. Samain, E. R. Schwartz, A. A. Tymiak, L. D. Weller, T. G. Carter & H. G. M. Munro. (1981). Marine natural products as sources of antiviral, antimicrobial, and antineoplastic agents. *Pure Applied Chemistry*, 53: 795-817.
- Rodríguez-Cuautle, A. (2016). Actividad biológica de extractos algales con potencial cosmecéutico. (Tesis de Maestría) Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Baja California Sur, México.
- Rodríguez-Cuautle, A. (2013). Polisacáridos obtenidos a partir de macroalgas del género *Codium* y su evaluación como anticoagulantes alternativos. (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma de Baja California Sur, Baja California Sur, México.
- Sánchez M. C., Ortega, M. J., Zubía, E. & Carballo, J. L. (2006). Cembrane Diterpenes from the Gorgonian *Lophogorgia peruana*. *Journal of Natural Products*, 69, 1749-1755.
- Sánchez Lozano, I. (2016). Actividad antiepiibiótica de extractos algales y de esponjas de las costas de la Bahía de la Paz, B.C.S. México. (Tesis de Maestría) Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, México.
- Sánchez Lozano, I. (2013). Extracción, caracterización y análisis de la actividad anticoagulante de los polisacáridos sulfatados del alga café *Hydroclathrus clathratus* (C. Agardh) M. A Howe. (Tesis de licenciatura) Universidad Autónoma de Baja California Sur. Baja California Sur México.
- Tenorio-Rodriguez P. A., Murillo-Álvarez J. I., Campa-Cordova A. & Angulo C. (2017). Antioxidant screening and phenolic content of ethanol extracts of selected Baja California Peninsula macroalgae. *Journal of Food Science and Technology*, doi 10.1007/s13197-016-2478-3.

- Thakur, A. N., Thakur, N. L., Indap, M. M., Pandit, R. A., Datar, V. V., Werner E.G. & Müller, W. E. G. (2005). Antiangiogenic, Antimicrobial, and Cytotoxic Potential of Sponge-Associated Bacteria. *Marine Biotechnology*, 7, 245–252. doi: 10.1007/s10126-004-4085-y.
- Torres-Beltrán, M., Cardoso-Martínez, F., Millán-Aguñaga, N., Becerril-Espinosa, A. & Soria-Mercado, I.E. (2012). Evaluation of the Gulf of California as a potential source of bioactive marine actinobacteria. *Ciencias Marinas*, 38(4), 609–624.
- Valencia-Agamí, S. S. (2013). Variación temporal de los productos naturales mayoritarios de la esponja *Aplysina gerardogreeni* del Golfo de California. (Tesis de Maestría) Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, México.
- Vargas-Betancourt, F. (2011). Evaluación de la actividad antioxidante y fenoles totales en macroalgas de la Bahía de La Paz, B.C.S., México. (Tesis de Licenciatura) Universidad Autónoma de Baja California Sur, Baja California Sur, México.
- Vargas-Betancourt, F. (2014). Actividad biológica de invertebrados marinos de Punta Arena de la Ventana, B.C.S., México. (Tesis de Maestría), Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Baja California Sur, México.
- Villegas-Silva, V. A. (2014). Evaluación del potencial de *Sargassum lapazeanum* Setchell & N. L. Garden (Ochrophyta: Fucales, Phaeophyceae) como fuente de compuestos antibacterianos, antioxidantes y anticoagulantes. (Tesis de Licenciatura) Universidad Autónoma de Baja California Sur, Baja California Sur, México.
- WHO (2017). Antibacterial agents in clinical development. pp. 44. World Health Organization. Geneva, Switzerland.
- Xiao X., Agusti S., Lin F., Li K., Pan Y., Yu Y., Zheng Y., Wu J. & Duarte C. M. (2017). Nutrient removal from Chinese coastal waters by large-scale seaweed aquaculture. *Scientific Reports*, 7(46613), 1-6.
- Zaleta-Pinet, D. A., Holland, I. P., Muñoz Ochoa, M., Murillo-Álvarez, J. I., Sakoff, J. A., van Altena, I. A. & McCluskey, A. (2014). Cytotoxic compounds from *Laurencia pacifica*. *Organic and Medicinal Chemistry Letters*, 4(8), 1-7.
- Zeng, Z., Zhao, J., Caihuan K. & Wang, D. (2013). Antimicrobial activities of novel cultivable bacteria isolated from marine sponge *Tedani anhelans*. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 31(3), 581- 590.
- Zubia, E., Ortega, M. J. & Carballo, J. L. (2008). Sesquiterpenes from the Sponge *Axinyssa isabela*. *Journal Natural Products*, 71, 2004–2010.
- Zubia, E., Ortega, M. J., Hernández-Guerrero, C. J. & Carballo, J. L. (2008). Isothiocynate sesquiterpenes from a sponge of the genus *Axinyssa*. *Journal of Natural Products*, 71, 608-614.

Recopilación de datos climáticos históricos para observar tendencias básicas de cambio climático en Puerto Vallarta, Jalisco

*Compilation of historical climate data
to observe basic trends of climate change
in Puerto Vallarta, Jalisco*

Abner Alain Torres-Mascot¹
Víctor Manuel Cornejo-López²
Julio César Morales-Hernández²

¹ Licenciatura en biología. Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara, Puerto Vallarta, Jalisco. Av. Universidad de Guadalajara No. 203, Del. Ixtapa. C.P. 48280, Puerto Vallarta, Jalisco, México. Correo-e: abner.alain27@gmail.com.

² Departamento de Ciencias Exactas. Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara, Puerto Vallarta, Jalisco.

Resumen

En México, las redes de medición y por consiguiente la disponibilidad de datos de variables hidroclimatológicas o climatológicas es en general escasa, en comparación con la cobertura y las bases de datos que existen en países desarrollados. En la ciudad de Puerto Vallarta, al carecer de un observatorio meteorológico, no se tiene una base de datos continua, ya que se han tomado datos de distintas estaciones climatológicas y en distintos años, por lo que la información que se tiene no es la suficiente. Por este motivo, en este trabajo se recopilaron fragmentos de bases de datos tomados en distintos puntos y con datos faltantes en el tiempo, para obtener una base continua de datos mensuales (1926-2016), para la ciudad de Puerto Vallarta, Jalisco, sobre algunas variables básicas climatológicas (temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación). Para obtener un registro ininterrumpido de datos, se emplearon dos métodos para completar datos faltantes: 1) Media aritmética; 2) Estimación Racional Deductivo. Con los resultados obtenidos mensualmente se tratan aspectos básicos de cambio climático. Para analizar las tendencias de cambio climático en Puerto Vallarta, se realizaron gráficas de anomalías mensuales para cada variable. Estos resultados se compararon con lo pronosticado por el PRECIS, y se observó que, para Puerto Vallarta, las temperaturas van en aumento y la precipitación en decremento, lo cual indica hay cierta similitud o parecido de los datos tomados *in situ* con lo pronosticado por los modelos.

Palabras clave

Cambio climático, base de datos, recopilación, variables climáticas, Puerto Vallarta.

Abstract

In Mexico the measuring networks and disponibility of the variable hydro-climatological data are generally limited, compared to other developed countries. In the city of Puerto Vallarta, lacking a meteorological observatory, there is no continuous database, since data have been taken from different climatological stations and in different years, so the information is not enough. For this reason, in this work data fragments were collected from different points and with missing data in the time, to obtain a continuous database of monthly data (1926-2016), for the city of Puerto Vallarta, Jalisco, on some basic climatic variables (maximum temperature, minimum temperature and precipitation). To get an uninterrupted registry of data, were used two methods to complete missing data: 1) arithmetic average; 2) Rational Deductive Estimate. With the re-

sults we got monthly we see basic aspects of climate change. To analyze the tendency of climate change in Puerto Vallarta, we performed graphics about the anomalies monthly for every variable. Those results were compared with the PRECIS's forecast and we observe that in Puerto Vallarta the temperature it's increasing, and the precipitation is decreasing, which means there is some similarity with the data take it *in situ* with the forecast for the models.

Keywords

Climate change, database, recompilation, climate variables, Puerto Vallarta.

Introducción

Frecuentemente escuchamos noticias y comentarios que hacen referencia al cambio climático global. ¿Entendemos a plenitud a que se refiere este concepto? Para entenderlo, lo primero es comprender que es “clima” y como diferenciarlo con respecto al “estado del tiempo”. El estado del tiempo se refiere a las condiciones atmosféricas reinantes en un momento dado, mientras que el clima representa las condiciones estadísticamente normales para el sitio y la fecha en la que nos encontramos (Rosengaus, 2012). El clima depende de un gran número de factores que interactúan de manera compleja, tales como temperaturas medias, precipitaciones medias, vientos dominantes, que en conjunto caracterizan el estado medio de la atmósfera durante un periodo de tiempo largo (por lo menos 30 años) en una región del planeta (Fernández *et al.*, 2004). Para poder evaluar el clima observado existen dos variables representativas principales, que son las que comúnmente se utilizan: la temperatura y la precipitación. Cuando un parámetro meteorológico como la precipitación o la temperatura sale de su valor medio de muchos años, se habla de una anomalía climática; de esta manera, el clima refleja las tendencias resultantes de condiciones habituales (Fernández *et al.*, 2004; Paz-González *et al.*, 2011).

El concepto de cambio climático es la variación del estado del clima, identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos periodos de tiempo, generalmente decenios o periodos más largos (IPCC, 2014). Por lo tanto, el cambio climático es utilizado para caracterizar cambios sistemá-

ticos sostenidos en los promedios de los elementos o variables climáticas (por ejemplo, temperatura, vientos y precipitación) a largo plazo (Amador y Alfaro, 2009).

Alrededor del planeta se han generado diferentes investigaciones (las principales investigaciones son las que realizan instituciones gubernamentales como la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) y World Meteorological Organization (WMO) sobre eventos climáticos extremos (elevaciones y disminuciones de temperatura, aumento y disminución de lluvias), ya que los impactos que puedan ocasionar conducen significativamente a la vulnerabilidad y exposición de algunos ecosistemas y sistemas humanos (López-Díaz, 2014).

El estado de Jalisco tiene alto riesgo de vulnerabilidad ante el cambio climático, en todos sus sectores (social, económico y ambiental) y regiones, sin embargo, destacan las regiones de Los Altos, centro, costa norte y sur con mayor probabilidad de sufrir daño ante el cambio climático (INECC, 2014).

La ciudad de Puerto Vallarta no cuenta con un observatorio meteorológico, por lo cual no se cuenta con una base de datos climatológicos continua, y para obtener estos datos, se han tomado datos de distintas estaciones y en distintos años, por lo que la información que se tiene no es suficiente. Por este motivo, en este trabajo se recopilaron distintas bases de datos, en distintos puntos de la ciudad de Puerto Vallarta, para obtener una base de datos mensual sobre variables climatológicas lo más extensa posible. Para obtener esta base de datos, se emplearon métodos de estimación (1. Media aritmética; 2. Estimación racional deductivo).

Metodología

Área de estudio

Puerto Vallarta es un municipio y ciudad turística del estado de Jalisco está situada al poniente del estado, en las coordenadas 20°27'00" a los 20°59'00" de latitud norte y los 104°55'00" a los 105°33'00" de longitud oeste, a una altura de 2 msnm (Morales-Hernández *et al.*, 2011). Cuenta con un clima semi-tropical y húmedo, temperatura máxima promedio de 31 °C en verano y mínima pro-

medio de 19°C en invierno; la media anual es de 25°C. La temporada de lluvias abarca de mediados de junio a mediados de octubre; la precipitación media anual es de 1,417 mm (Ortega-De Santiago y Vásquez-Bolaños, 2012; IIEG, 2013).

Obtención de datos

Se realizó una base de datos mensual sobre variables climáticas tomadas de estaciones climatológicas o hidroclimatológicas de Puerto Vallarta (Estación Puerto Vallarta, Estación El Cuale, Estación La Desembocada y Estación CUC). De la base de datos Climatológica Nacional (sistema CLICOM) se obtuvieron variables climáticas específicas: temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación (las tres variables se encuentran alojadas en esta misma base de datos/página; <http://clicom-mex.cicese.mx/>; la base de datos de la Estación CUC fue proporcionada por la misma universidad). Esta base de datos tiene un periodo de registro diario de las variables atmosféricas específicas desde el año de 1926 al 2016, lo que equivale a 90 años de registros diarios para Puerto Vallarta. Se empleó esta base de datos diarios, para la obtención mensual de las variables climáticas.

Para obtener un registro ininterrumpido de datos, se emplearon dos métodos para completar datos faltantes:

En los días donde se encontró una casilla sin dato, se empleó la media aritmética. Este método se basa en calcular el promedio del dato anterior y posterior al día sin dato. Los cálculos se realizaron en el programa Excel.

Una vez calculada la media aritmética, los resultados se visualizaron en una gráfica de Excel, para verificar que no haya alguna anomalía de “datos erróneos”. De haber un “dato erróneo”, se revisó en el listado y se verificó que no sea un error de captura por la página CLICOM.

La determinación mensual de cada variable atmosférica se realizó por el método “estimación racional deductivo”. Mediante este método se pueden estimar datos faltantes diarios, mensuales y anuales relacionando la misma serie de tiempo. Este método de Preciado *et al.* (2011), se basa en seleccionar las hileras con datos completos (para cada una de las hileras se calcula su total). Posteriormente, se calculó el porcentaje de cada uno de los datos de to-

das las hileras completas (tomando como 100% el total de la hilera correspondiente).

Una vez calculados los porcentajes de cada casilla de las hileras completas, se sumó el porcentaje de cada una de las columnas donde no existan datos, a este resultado se le calculo la media aritmética, tomando como “ n ” el número de hileras completas. Esta media se colocó como “porcentaje” en el dato faltante. Se sumaron las hileras de los porcentajes de los datos faltantes (suma %), a este resultado se le resto 100 (resta %t). Se sumaron los “datos existentes de la hilera que presenta los huecos” (DEHPH), a este resultado se le realizó una regla de tres:

Quedando:

$$\frac{=DEHPH \times \bar{x}}{\text{Resta \%t}}$$

En los meses donde las variables resultaron cero (tanto en los valores mensuales como en el DEHPH) los valores se calcularon mediante el software Clic-MD.

Estimados los datos mensuales sobre las variables climáticas se realizó un climograma de 1926-2016 con sus respectivos meses. También se realizó una gráfica, para cada variable climática específica, con los promedios mensuales de 1926-2016, para visualizar tendencias climáticas. Los resultados obtenidos, se analizaron con lo pronosticado por modelos globales en relación con la perspectiva del cambio climático. El modelo de análisis fueron los resultados obtenidos por el Providing Regional Climates for Impact Studies (PRECIS) gestionado por el Instituto de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Guadalajara.

Resultados

En los 91 años de registros de las variables climáticas, se realizaron dos tipos de gráficas, una gráfica sobre los datos anuales y otra de sus anomalías, esto se realizó para visualizar tendencias de las variables climáticas. De igual forma se realizó un climograma de Puerto Vallarta, dividiéndose en dos periodos, el primer periodo abarca de 1926-1970, y el segundo periodo abarca de 1971-2016.

Los resultados obtenidos en la precipitación anual nos indican que la precipitación aumentó ligeramente. En los datos de anomalía de precipitación anual, nos confirman este ligero aumento, siendo este aumento de 27.3 mm en los 91 años de registros anuales.

En la temperatura anual máxima, los resultados obtenidos nos indican que disminuyó, esto se confirma con la anomalía de temperatura máxima, donde esta disminución es de 0.2 °C. Por el contrario, en la temperatura anual mínima, los resultados nos indican que está aumentó, y en la anomalía de temperatura mínima, se nos muestra que el aumento fue de 0.3 °C.

En la temperatura media, los resultados obtenidos nos muestran una tendencia al aumento, y en los últimos 5 años (2012-2015) se mantuvo por encima del promedio. El climograma para Puerto Vallarta nos muestra el cambio de temperatura media mensual y la precipitación media mensual, en cada respectivo mes, siendo el periodo de 1926-1970 el periodo más cálido, sin embargo, en el periodo de 1971-2016 fue menos cálido que el periodo anterior, pero en este periodo hubo mayor cantidad de precipitación, haciendo a este el periodo más húmedo.

El modelo de predicción PRECIS, se emplean dos escenarios para la ciudad de Puerto Vallarta (esta ciudad representa a la región costa norte), en los cuales, uno de estos escenarios se representa con emisiones de 850 ppm de gases de efecto invernadero al año y se utilizan equilibradas fuentes fósiles y alternativas (A1B). Y en el segundo modelo se representa con emisiones de 1250 ppm de gases de efecto invernadero al año y para el 2010 con cambios tecnológicos fragmentados y más lentos (A2). Estas predicciones son a partir del año 2000-2090. El modelo proporciona una gran cantidad de parámetros, sin embargo, únicamente se analizó el siguiente: la temperatura media de los meses enero y julio.

A partir de la temperatura promedio de los meses de enero y julio, de la serie histórica (1926-2016), se observaron las tendencias en los escenarios A1B y A2 del PRECIS, para poder determinar el escenario con mayor similitud en los promedios de los respectivos meses, comparando los promedios de temperatura del año 2000-2016.

En el mes de julio en el escenario A1B, comparando los resultados obtenidos de la serie histórica del mismo mes, se observa que la temperatura del mes de julio en la serie histórica está por debajo de lo pronosticado para este escenario (figura 1). Mientras que para el mes de enero la temperatura se encuentra ligeramente por encima del escenario A1B (figura 2).

Figura 1
Temperatura del mes de julio de la serie histórica por debajo de lo pronosticado en el escenario A1B, en el periodo 2000-2016 (círculo rojo).

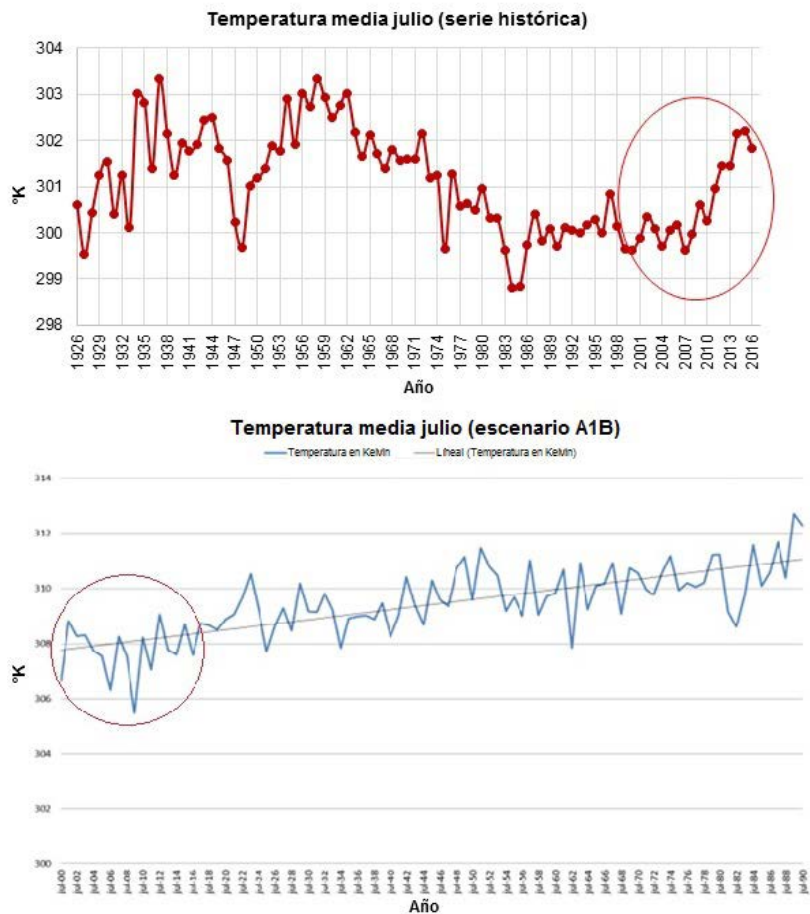
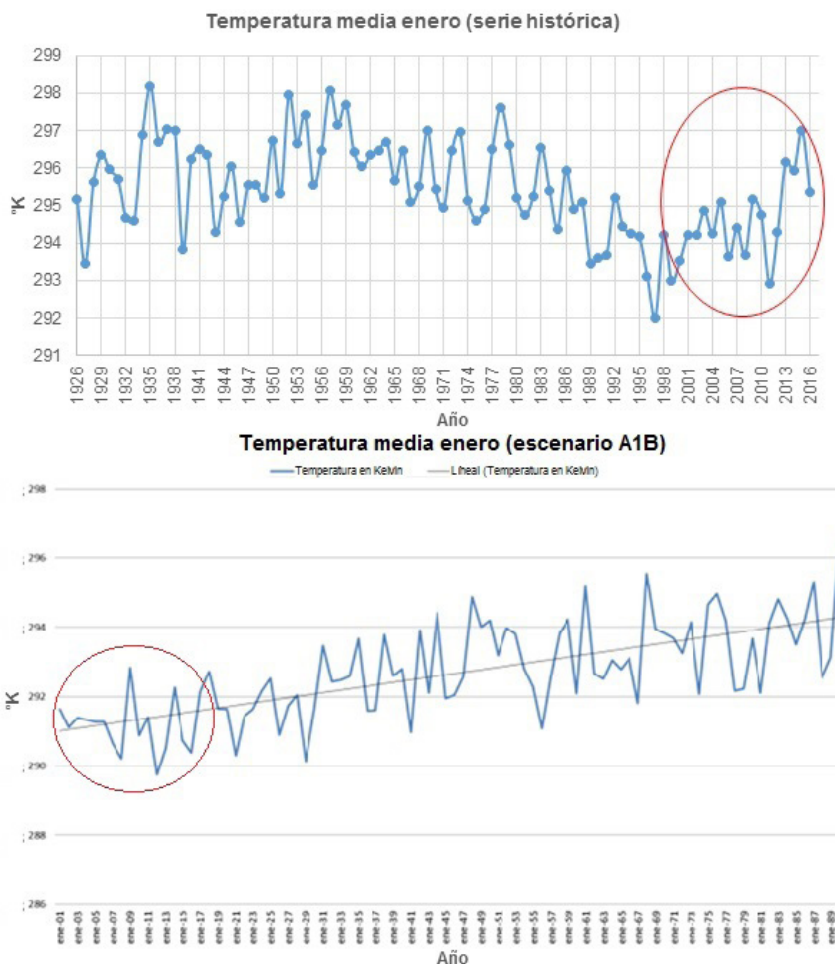


Figura 2

Temperatura del mes de enero de la serie histórica por encima de lo pronosticado en el escenario A1B, en el periodo 2000-2016 (círculo rojo).



En el escenario A2 del año 2000-2016 para el mes de julio, comparando los resultados obtenidos de la serie histórica para el mismo periodo, se observa una similitud en el comportamiento de la temperatura, al contrario del escenario A1B donde la diferencia

fue relativamente mayor (figura 3). Para el mes de enero se observa que la temperatura en la serie histórica, comparando la temperatura del escenario A2 del periodo 2000-2016, se encuentra ligeramente por encima del escenario A2 (figura 4).

Figura 3
Temperatura del mes de julio, el comportamiento en la temperatura del periodo 2000-2016 (círculo rojo), es relativamente muy similar al escenario A2.

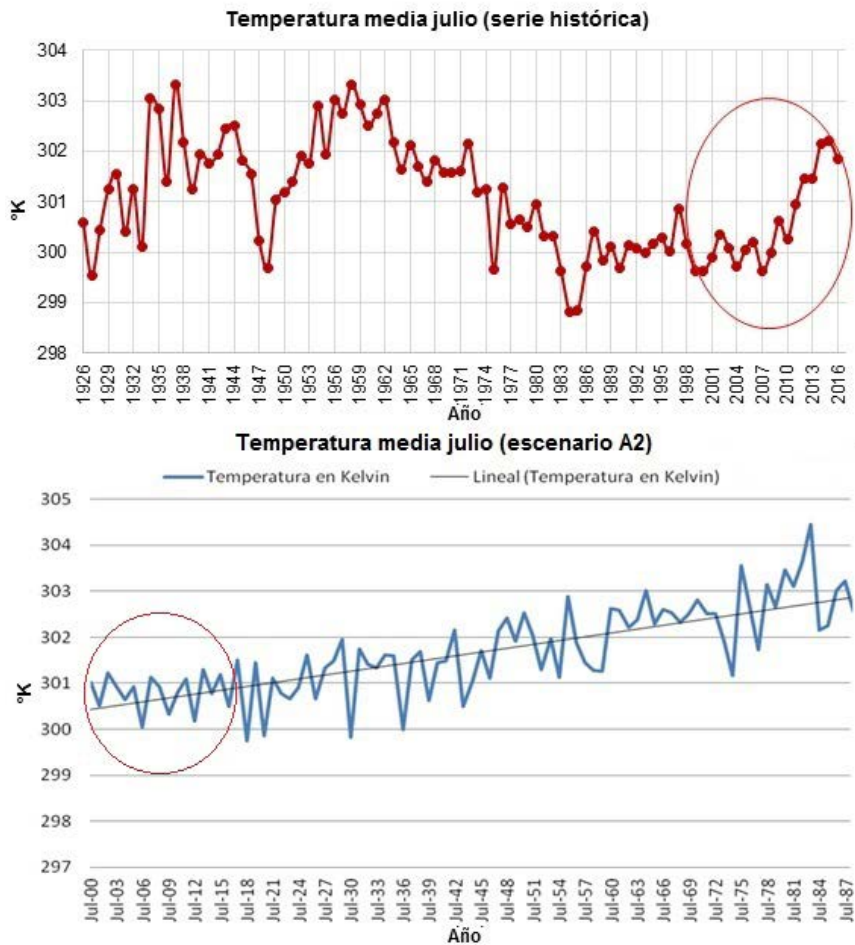
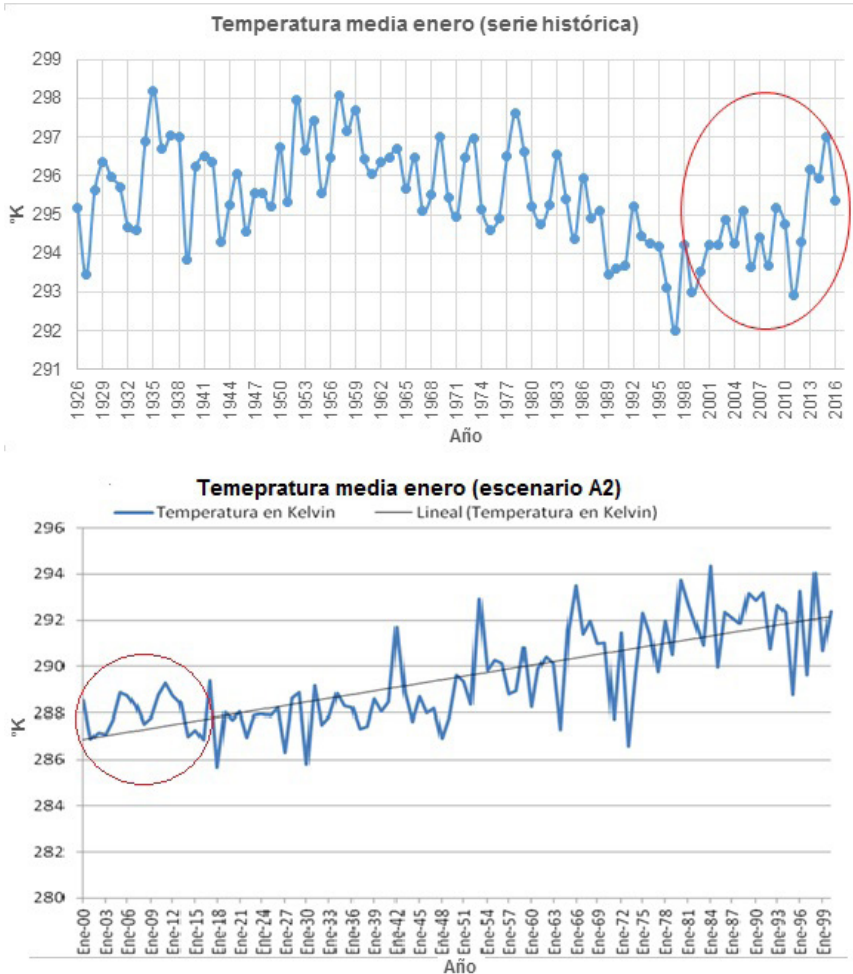


Figura 4

Temperatura del mes de enero, el comportamiento en la temperatura del periodo 2000-2016 (círculo rojo), es relativamente muy similar al escenario A2, a pesar de estar por encima del escenario A2.



Discusión

Los cambios observados en la temperatura máxima nos indican que, a pesar de esta disminución en los últimos seis años (2011-2016) la temperatura está aumentando, no precisamente por encima del promedio, pero se observa un incremento, por lo que se espera que su comportamiento en los siguientes años aumente gradualmente. En lo que respecta a la temperatura mínima, no se observa algún cambio de disminución, por lo que se espera continúe aumentando la temperatura mínima. La precipitación anual nos reflejó un ligero aumento, sin embargo, en los últimos cinco años (2012-2016) la precipitación disminuyó, y se espera que para este año (2017) se mantenga por debajo del promedio.

Nuestros resultados concuerdan con lo descrito por Martínez y Aguilar, (2008). Establecen que los últimos escenarios del IPCC en México, por su ubicación geográfica, las precipitaciones disminuirán y las temperaturas aumentarán (además, debido a sus condiciones socioeconómicas, México presentará una elevada vulnerabilidad al CC).

En el climograma se compararon dos distintos periodos (1926-1970 y 1971-2016), y se observó que tanto la temperatura como la precipitación fueron menores en el primer periodo (1926-1970) con respecto al segundo periodo de análisis (1971-2016). Lo más recomendable es realizar un análisis con datos anteriores y un año de comparación (ej. 1926-2015 en comparación con datos de 2016), para poder analizar con mayor detalle los cambios efectuados en temperatura y precipitación del área de estudio. Sin embargo, este climograma se realizó de esta manera para contrastar los cambios que se efectuaron en “años antiguos” (1926-1970) contra “años recientes” (1971-2016).

Richardson (1981), afirma que los datos de temperatura y radiación solar son más fáciles de modelar estadísticamente que la precipitación, pues hay una menor proporción de observaciones con valores de cero y la distribución de estas variables es mucho menos sesgada que los datos de precipitación.

Para llevar a cabo una tendencia de datos climatológicos los cuales se han convertido en herramientas importantes para la planeación, manejo y gestión de recursos naturales, se requieren de

diferentes datos de entrada (temperatura máxima y mínima, precipitación, radiación solar, velocidad de viento y escurrimiento, entre otros) a intervalos de tiempo variable, que a menudo no están disponibles en los sitios de interés (Safeq & Fares, 2011). En la mayoría de las estaciones meteorológicas, el periodo de registro de datos es a menudo insuficiente para permitir una buena modelación de procesos, por lo tanto, existe una seria restricción en la aplicación de modelos si no se dispone de manera directa de los datos meteorológicos (Hoogenboom, 2000). Esta situación resalta la importancia de extender los registros de datos mediante la generación de datos climáticos derivados de las observaciones a corto plazo, utilizando diferentes procedimientos estadísticos.

Conclusión

En la ciudad de Puerto Vallarta se confirma que está ocurriendo un cambio climático local, a través de la comparación, análisis y recopilación de variables climatológicas. Dado que en las temperaturas y precipitaciones se han presentado cambios en sus valores promedios.

Este cambio climático local es “mínimo”, pero al comparar los resultados descritos por el modelo PRECIS y los resultados de la serie histórica, se observa que en los años 2000-2016 de los meses enero y julio, el escenario que tiene una mayor similitud en temperaturas para sus respectivos meses, es el escenario A2. En el cual se prevé que la temperatura en el mes de julio para el año 2090 se encuentre 2.5°C por encima del promedio, y en el mes de enero para finales del siglo aumente 5°C por encima del promedio. Estos cambios de temperatura a futuro, están relacionados con las predicciones de precipitación para ambos meses, donde se prevé que la intensidad de las precipitaciones tenga aumentos ligeros para el temporal (julio) y descensos altos para el estiaje (enero) en el escenario A2. Esto nos indica que un aumento o disminución en la temperatura, está estrechamente relacionado con las precipitaciones que ocurran. Por lo tanto, se esperan aumentos en la temperatura para el año 2017, ya que en las precipitaciones serán escasas, y la humedad relativa será otro factor para el aumento en la temperatura.

Por lo tanto, la importancia de obtener una base de datos, sobre variables climáticas es de gran importancia para identificar, y en muchos casos, predecir las condiciones a corto y largo plazo de las condiciones atmosféricas tanto a nivel local, regional y mundial.

Literatura citada

- Amador, J. A. y E. J. Alfaro (2009). Métodos de reducción de escala: aplicaciones al tiempo, clima, variabilidad climática y cambio climático. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 11, 39-52.
- CLICOM. 2017. CICESE: Variables para Puerto Vallarta. <http://clicom-mex.cicese.mx/> (consultado el 25 de enero de 2017).
- Fernández, B. A., J. Martínez y P. Osnaya (2004). El cambio climático global: comprender el problema. En: Magaña-Rueda, V. O. (Eds). *Cambio climático: una visión desde México* (1er ed.). pp. 17-27. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Hoogenboom, G. (2000). Contribution of Agro-Meteorology to the Simulation of Crop Production and its Applications. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103, 137-157.
- IIEG (Instituto de Información Estadística y Geográfica). 2013. Puerto Vallarta, Jalisco: Carta Municipal. 6-9.
- INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático) (2014). Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) del Estado de Jalisco. Cambio climático Global y Regional futuro. Guadalajara, Jalisco. 89-199.
- Instituto de Astronomía y Meteorología (2014). Escenarios Climáticos mediante PRECIS (Providing Regional Climates for Impacts Studies): Escenarios Regionales y Locales del Estado de Jalisco a 2030, 2050 y 2080. Universidad de Guadalajara, Jalisco. 1-21.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) (2014). Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. [Field, C. B., V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea y L. L. White (eds.)]. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza. 3-30.
- López-Díaz, F. (2014). Análisis regional de eventos extremos de temperatura en México y sus posibles variaciones en el contexto de cambio climático. (Tesis Doctoral). Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal.
- Martínez-Austria P.F. y Aguilar-Chávez A. *Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México. Volumen II*. México: SEMARNAT-IMTA, 2008.
- Morales-Hernández, J. C., F. M. Carrillo-González, V. M. Cornejo-López y J. Téllez-López (2010). Análisis del campo de viento en Puerto Vallarta, Jalisco.

- co, México. Avances sobre Investigaciones Marinas y Acuícolas del Pacífico Tropical Mexicano, 2, 11-18.
- Ortega-De Santiago, J. L. y M. Vásquez-Bolaños (2012). Especie nueva de *Dolichoderus* (Hymenoptera: Formicidae) de Puerto Vallarta, Jalisco y nuevos registros para México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 83, 1004-1008.
- Paz-González, M., L. Di Prieto, M. Florencia-González, M. Argerich y N. Castillo-Marín (2011). Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático para la gestión y planificación local. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Buenos Aires, Argentina. 12-15
- Preciado, J. M., Z. R. Mejía, J. M. Arganis y G. A. Ocón (2011). Análisis y Aplicación de Métodos Temporales para Completar Registros Faltantes de Lluvia en la Cuenca del Rio Bolaños. V Congreso Internacional de Meteorología de la OMMAC. 1-9.
- Richardson, C. W. (1981). Stochastic Simulation of Daily Precipitation, Temperature, and Solar Radiation. *Water Resources Research*, 17(1), 182-190.
- Rosengaus, M. M. (2012). Sobre el cambio climático global. Comité de ayuda a desastres y emergencias nacionales. 12, 1-5.
- Safeeq, M., & Fares, A. (2011). Accuracy Evaluation of *ClimGen* Weather Generator and Daily to Hourly Disaggregation Methods in Tropical Conditions. *Theoretical and Applied Climatology*, 106, 321-341.

Riqueza de paralarvas de cefalópodos en el Pacífico mexicano

*Species richness of cephalopod paralarvae
in the Mexican Pacific Ocean*

Roxana De Silva-Dávila^{1*}

Jasmín Granados-Amores²

Rubén Melvyn García-Guillén¹

Raymundo Avendaño-Ibarra¹

Martín Enrique Hernández-Rivas¹

Gerardo Aceves-Medina¹

Jaime Gómez-Gutiérrez¹

Gloria del Carmen Pelayo-Martínez³

María del Carmen Franco-Gordo³

Aramis Olivos-Ortiz⁴

Deivis Samuel Palacios-Salgado^{2†}

¹ Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Depto. de Plancton y Ecología Marina. Av. IPN s/n Col. Playa Palo de Sta. Rita. CP 23096, La Paz, BCS, México. Correo-e: rdesilva@ipn.mx

² Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera (ENIP-UAN), Ap. Post. 10, CP 63740. San Blas, Nayarit, México.

³ Universidad de Guadalajara, Centro de Ecología Costera. Av. Gómez Farías 82, San Patricio Melaque, Jalisco, C.P. 48980, México.

⁴ Universidad de Colima. Centro Universitario de Investigaciones Oceanológicas. Av. Universidad No. 333, Las Víboras. CP 28040, Colima, Colima, México.

Resumen

Se presenta por primera vez el listado sistemático y la distribución de la riqueza de paralarvas de cefalópodos del Pacífico mexicano. El listado incluye dos superórdenes, dos órdenes, tres subórdenes, 15 familias, 31 géneros, 38 especies y 29 morfotipos a nivel específico, incrementando en más de tres veces la riqueza de especies registrada en estudios pioneros en el Pacífico mexicano. La información se obtuvo de 21 cruceros oceanográficos realizados en cinco regiones del Pacífico mexicano, entre 1997 y 2010 por diferentes instituciones, totalizando 919 arrastres de zooplankton con cuatro tipos de redes. Las familias representativas fueron: Ommastrephidae, Pyroteuthidae, Argonautidae, Enoploteuthidae y Loliginidae, cuya abundancia relativa mostró diferencias significativas entre regiones. La región con mayor riqueza fue el Golfo de California, donde los cambios ambientales estacionales e interanuales y el flujo de cinco masas de agua superficiales permiten la concurrencia de una biota de afinidad boreal, templada, cosmopolita, subtropical-tropical, y de hábitat costero y oceánico. Se identificaron tres grupos de especies recurrentes: uno distribuido ampliamente en el Pacífico mexicano, otro restringido al Golfo de California y el tercero al Golfo de Tehuantepec. Se espera que un incremento del esfuerzo de muestreo en otras áreas y profundidades incrementa aún más la riqueza de especies de cefalópodos del Pacífico mexicano.

Palabras clave

Cefalópodos, paralarvas, riqueza, Pacífico mexicano.

Abstract

We report the first systematic list and the distribution of species richness of cephalopod paralarvae of the Mexican Pacific. The list includes two superorders, two orders, three suborders, 15 families, 31 genera, 38 species, and 29 morphotypes, increasing in more than three times the species richness previously registered in pioneer studies in the Mexican Pacific. The data set integrate information from 21 oceanographic cruises made in five regions of the Mexican Pacific, between 1997 and 2010 by different research institutions, obtaining 919 zooplankton tows with four different nets. The most representative families were Ommastrephidae, Pyroteuthidae, Argonautidae, Enoploteuthidae, and Loliginidae, showing significant changes among regions. The region with highest species richness was the Gulf of California, where the seasonal and inter-annual changes, coupled with the flux of five water masses influenced the co-occurrence of a biota of boreal, temperate, cosmopolite, subtropical-tropical, and of

coastal and oceanic habitats. We identified three recurrent groups: one distributed widely along the Mexican Pacific, other restricted to the Gulf of California, and the third one restricted to the Gulf of Tehuantepec. An increase in cephalopod paralarvae species richness is expected as sampling effort increase to other areas and depths.

Keywords

Cephalopod, paralarvae, species richness, mexican Pacific.

Introducción

Aunque se reconocen menos de 1000 especies de cefalópodos alrededor del mundo (Jereb y Roper, 2010), los estudios en este grupo se han dirigido principalmente a especies de interés pesquero de las familias Sepiidae, Octopodidae, Loliginidae y Ommastrephidae (FAO, 2014). En México el calamar jumbo del Pacífico *Dosidicus gigas* d'Orbigny, 1835 (familia Ommastrephidae) es la especie con mayor interés pesquero y la mejor estudiada desde inicios de la década de los 1980's (Zepeda-Benitez *et al.*, 2017). Lo anterior ha limitado las investigaciones sobre la fauna de cefalópodos que carece de valor comercial, particularmente en regiones tropicales y subtropicales alrededor del mundo, incluyendo el Pacífico mexicano.

Las primeras colecciones de pulpos y calamares adultos de México se obtuvieron durante las expediciones Albatros realizadas de 1891 a 1900 en el Pacífico ecuatorial, que recorrieron aguas mexicanas frente al Golfo de Tehuantepec, Guerrero y hasta el Golfo de California (Hoyle, 1904). Por otra parte, la primera información sistemática sobre paralarvas epipelágicas y cefalópodos micronectónicos del Pacífico tropical oriental frente a México fue obtenida durante los cruceros del programa California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations (CalCOFI) realizados de 1954-1957 (McGowan, 1967; Okutani y McGowan, 1969; Young, 1972; Okutani, 1974) y en el programa Eastern Tropical Pacific (EAS-TROPAC, 1967-1968) (Blackburn, 1968).

Los estudios recientes sobre la estructura de las comunidades de paralarvas en el Pacífico mexicano se han dirigido a tres regiones principales: la costa occidental de la Península de Baja California (Granados-Amores *et al.*, 2010), el Golfo de California (De

Silva-Dávila *et al.*, 2013; De Silva-Dávila *et al.*, 2015) y el Golfo de Tehuantepec (Alejo-Plata *et al.*, 2013, Aceves-Medina *et al.*, 2017). La estructura de las comunidades en estas regiones ha respondido a la influencia de las masas de agua por efecto de El Niño Oscilación del Sur (ENOS) 1997-2001, al flujo estacional de las masas de agua y al efecto de procesos de mesoescala como remolinos y frentes. Las paralarvas del Complejo SD formado por *Sthenoteuthis oualaniensis* y *Dosidicus gigas* son morfológicamente indistinguibles entre ellas a tallas < 2 mm de longitud de manto. Sin embargo, representan uno de los componentes más abundantes en la estructura de las comunidades de las tres regiones particularmente en los arrastres superficiales (De Silva-Dávila, 2013; Staaf *et al.*, 2013; Aceves-Medina *et al.*, 2017).

Estos estudios, así como el listado de especies de calamares y pulpos de la costa sur de Jalisco y Colima (De Silva-Dávila *et al.*, 2013a) han incrementado el número de especies identificadas en estadio paralarva y juvenil colectadas en muestras de zooplankton en comparación con las investigaciones pioneras (Hoyle, 1904; McGowan, 1967; Blackburn, 1968; Okutani y McGowan, 1969).

La mayoría de las paralarvas se distribuyen en los primeros 200 m de profundidad por lo que su colecta en la zona epipelágica con diferentes artes de muestreo, permite reconocer la presencia de especies raramente registradas como adultos debido a su distribución meso o batipelágica. Debido a que los cefalópodos adultos tienen estrategias de evasión de redes y de escape (Passarella, 1990), las paralarvas resultan buenos indicadores de la riqueza de especies de una región.

El objetivo de este estudio fue determinar las diferencias en la riqueza de cefalópodos a lo largo del Pacífico mexicano, a partir de la identificación de paralarvas y juveniles presentes en colectas de zooplankton. La información obtenida a partir de 21 cruceros oceanográficos realizados entre 1997 y 2010, permitirá establecer el listado de especies más completo que se ha reunido hasta ahora para el Pacífico mexicano.

El área de estudio comprende de los 12°-32°N y de los 92°-120°O. Esta región se encuentra entre los giros subtropicales del Pacífico norte y sur y comprende el sistema de corrientes ecuato-

riales del Pacífico norte, así como la corriente de California (corriente de borde) que fluye desde el norte hacia el ecuador influenciando la región del Pacífico oriental tropical (Fiedler y Lavín, 2006). Su ambiente epipelágico abarca un amplio complejo de comunidades zooplanctónicas que cambian en diferentes escalas de tiempo y espacio (Fernández-Álamo y Färber-Lorda, 2006).

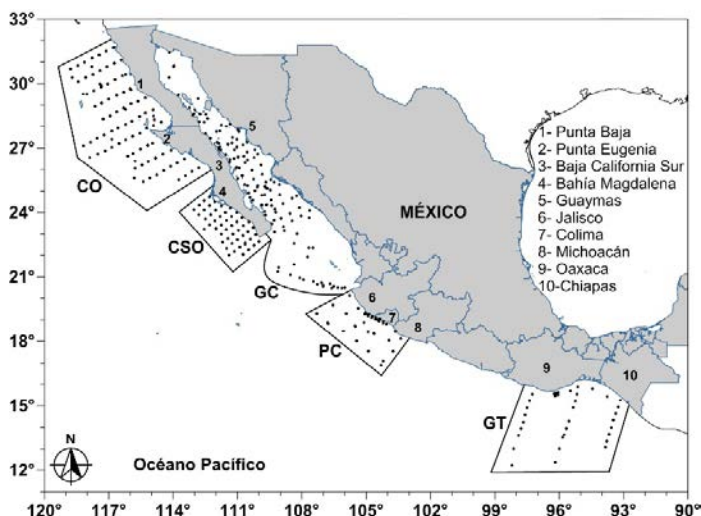
Metodología

Se colectaron 919 muestras de zooplancton en 21 cruceros oceanográficos oceánicos y 25 muestreos costeros, en colaboración con varias instituciones de investigación (tabla 1, anexo). Los muestreos se realizaron en cinco regiones del Pacífico mexicano: 1) costa occidental de la Península de Baja California (CO), 2) costa suroccidental de Baja California Sur (CSO), 3) Golfo de California (GC), 4) Pacífico central mexicano (PC) y 5) Golfo de Tehuantepec (GT) (figura 1).

Figura 1

Área de estudio: Pacífico mexicano. Regiones: CO = costa occidental de la Península de Baja California; CSO = costa suroccidental de Baja California Sur; GC = Golfo de California; PC = Pacífico central; GT = Golfo de Tehuantepec.

● Estaciones de muestreo.



Las muestras se colectaron con arrastres oblicuos y superficiales utilizando cuatro tipos de redes y fueron fijadas con métodos estándar. Las paralarvas fueron separadas de las muestras de zooplankton, identificadas y medidas. Su abundancia se estandarizó a organismos por unidad de volumen (Franco-Gordo *et al.*, 2004; Granados-Amores *et al.*, 2010; De Silva-Dávila *et al.*, 2015; Pelayo-Martínez *et al.*, 2015; García-Guillén, 2016; Aceves-Medina *et al.*, 2017).

Se determinó la riqueza de especies por estación de muestreo sumando las especies y los morfotipos identificados en la muestra de zooplankton y se mapeó su distribución espacial. Cuando una misma estación de muestreo fue ocupada en diferentes muestreos, la riqueza se contabilizó como el número total de especies y morfotipos diferentes colectados en esa estación.

Se construyeron curvas de acumulación de especies y sus intervalos de confianza (95%) para cada región, con el programa EstimateS (V 9.1.0) (Colwell, 2013). Se seleccionó el modelo de Clench para describir la curva de acumulación de especies (Soberón y Llorente, 1993). El ajuste de la curva se realizó mediante una estimación no lineal, con el método Simplex y Quasi-Newton (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003) y se generaron los gráficos correspondientes para cada región. También, se realizó un análisis de grupos de paralarvas recurrentes para todo el periodo analizado utilizando el índice de afinidad de Fager (1963) y Fager y McGowan (1963).

Los listados de especies de paralarvas registrados previamente se compilaron por región (Granados-Amores *et al.*, 2010; De Silva-Dávila, 2013; De Silva-Dávila *et al.*, 2015; Aceves-Medina *et al.*, 2017). Adicionalmente, se incluyeron las especies registradas en la costa suroccidental de la Península de Baja California (García-Guillén, 2016) y las del Pacífico central mexicano (Pelayo-Martínez, datos sin publicar), para integrar el primer listado de paralarvas y juveniles de especies de cefalópodos del Pacífico mexicano. Todas las especies registradas entre 1997 y 2010 se compararon con los registros pioneros de paralarvas y juveniles epipelágicos (Blackburn, 1968; Okutani y McGowan, 1969). La clasificación por afinidad biogeográfica se basó en los criterios de Nesis (2003). El listado

integral generado representa la nueva línea base de riqueza de paralarvas de especies de cefalópodos del Pacífico mexicano.

Las paralarvas no identificadas a especie fueron asignadas al género correspondiente más la abreviatura latina "sp." seguida de un número que denota el morfotipo identificado en cada género. Las paralarvas severamente dañadas, no fueron identificadas, pero si consideradas para los cálculos de la abundancia total. El listado de especies actual sigue el formato del Sistema de Información Taxonómica Integrada (ITIS, 2017). Con excepción de los especímenes de la región PC, las paralarvas colectadas en los cruces analizados están depositados en la "Colección de Cefalópodos de México" (COCEM) situada en el Departamento de Plancton y Ecología Marina del CICIMAR-IPN, en La Paz, Baja California Sur, México.

Resultados

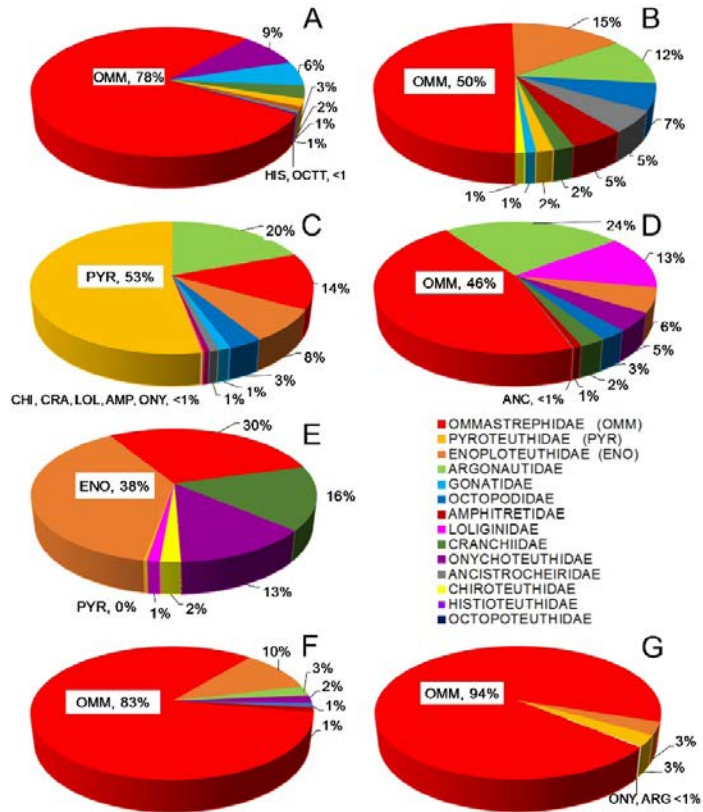
El listado sistemático de paralarvas de cefalópodos incluye 2 superórdenes, 2 órdenes, 3 subórdenes, 15 familias, 31 géneros, 38 especies y 29 morfotipos a nivel específico (tabla 2, anexo). En comparación con la riqueza registrada en los estudios pioneros (15 especies), se adicionan 24 especies, que representan un incremento del 160% a la riqueza de paralarvas de cefalópodos en el Pacífico mexicano. De los 29 morfotipos a nivel especie, 22 representan muy probablemente a especies que se distribuyen como adultos en el Pacífico mexicano. De esta forma, los 22 morfotipos en conjunto con las 24 especies, incrementan en más de tres veces la riqueza de paralarvas de cefalópodos previamente registrada en el Pacífico mexicano.

El área de estudio comprende una región de alta complejidad biogeográfica y oceanográfica que se refleja en la presencia de diferencias importantes entre las comunidades de paralarvas colectadas en las regiones analizadas.

En la CO, tres familias (Ommastrephidae 78%, Onychoteuthidae 9% y Gonatidae 6%) acumularon el 92% de la abundancia relativa de paralarvas de cefalópodos (figura 2A). En esta región, la familia Gonatidae registró la proporción más alta comparada con el resto de las regiones, pero representó < 1% en la CSO

y GC y no se registró en el PC y GT. En la CSO, el 89% de la abundancia relativa estuvo integrada por cinco familias, destacando un incremento notable en la abundancia relativa de la familia Enoplo-teuthidae y la presencia de la Argonautidae y Onychoteuthidae no registradas en la CO (figura 2B). Las otras dos familias Octopodidae y Ancistrocheiridae acumularon el 12%.

Figura 2
Abundancia relativa de paralarvas de cefalópodos por familia y región. Arrastres oblicuos realizados en: A) costa occidental de la Península de Baja California; B) costa suroccidental de Baja California Sur; C) Golfo de California; D) Pacífico central; E) Golfo de Tehuantepec. Arrastres superficiales realizados en: F) costa suroccidental de Baja California Sur; G) Golfo de California.



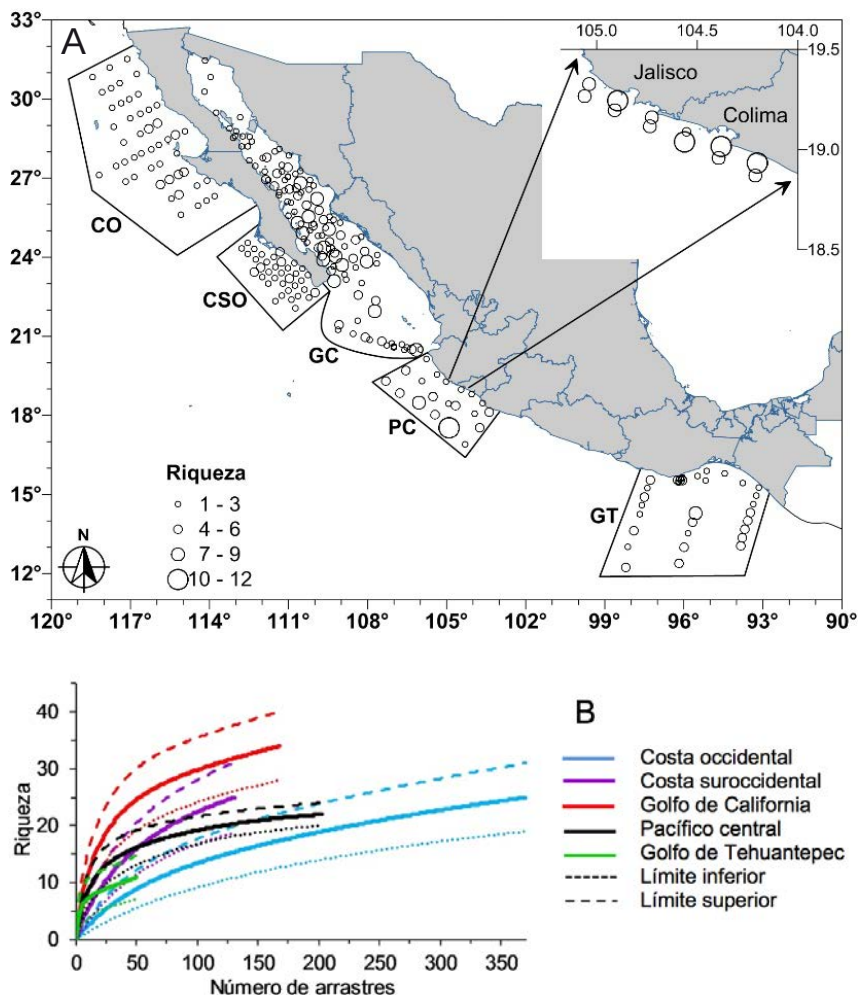
En el GC, la familia Pyroteuthidae fue la más abundante (53%) y junto con las familias Argonautidae (20%) y Ommastrephidae (14%) constituyeron el 87% de la abundancia relativa. La familia Enoploteuthidae en esta región disminuyó en casi un 50% respecto de lo registrado en la CSO (figura 2C). En el PC la familia Ommastrephidae (46%) vuelve a ser la familia más abundante seguida de la familia Argonautidae (24%) que alcanzó su mayor abundancia relativa en todo el Pacífico mexicano, seguida de la familia Loliginidae (13%) que destaca en esta región (figura 2D). En el GT, la composición de familias se modifica nuevamente registrándose la mayor abundancia de paralarvas de la familia Enoploteuthidae (38%) y Cranchiidae (16%) que también se registró en las cuatro regiones con <3% de la abundancia relativa. La familia Ommastrephidae acumuló el 30% de la abundancia relativa en esta misma región (figura 2E). La composición por familias identificada en los arrastres superficiales fue semejante en la CSO y el GC registrando una dominancia de la familia Ommastrephidae (>80%) en ambas regiones (figuras 2F, 2G).

En la región GC se registró el mayor número de taxones a nivel especie (33), seguida de la CO y CSO (ambas con 24). En el PC se registraron 21 especies y solo 11 en el GT. La riqueza más alta por estación de muestreo se registró en el PC donde se colectaron entre 10-12 y 7-9 especies en el 15.6% y 25% de las estaciones respectivamente. Sin embargo, estaciones cercanas entre si registraron entre 1-3 especies, particularmente en la zona oceánica (figura 3). En el GC los valores de riqueza fueron altos (7-9) y medios (4-6) en el 11.1% y 22.2% de las estaciones de muestreo respectivamente. Los valores de riqueza registrados en el PC y GC contrastan con los de las regiones CO y GT, donde la riqueza fue baja (1-3) en la mayoría de las estaciones con solo algunas estaciones que registraron de 4-6 especies (figura 3).

La comparación de las curvas de acumulación de especies de las cinco regiones indica que mayor riqueza de especies se presenta en el GC, que el mayor esfuerzo de muestreo se realizó en la CO y que las regiones CSO y GT son las menos muestreadas (tabla 3, anexo; figura 3B, anexo).

Figura 3

A) Distribución de la riqueza por estación de muestreo en el Océano Pacífico mexicano. B) Curvas calculadas de acumulación de especies e intervalos al 95% confianza por región.



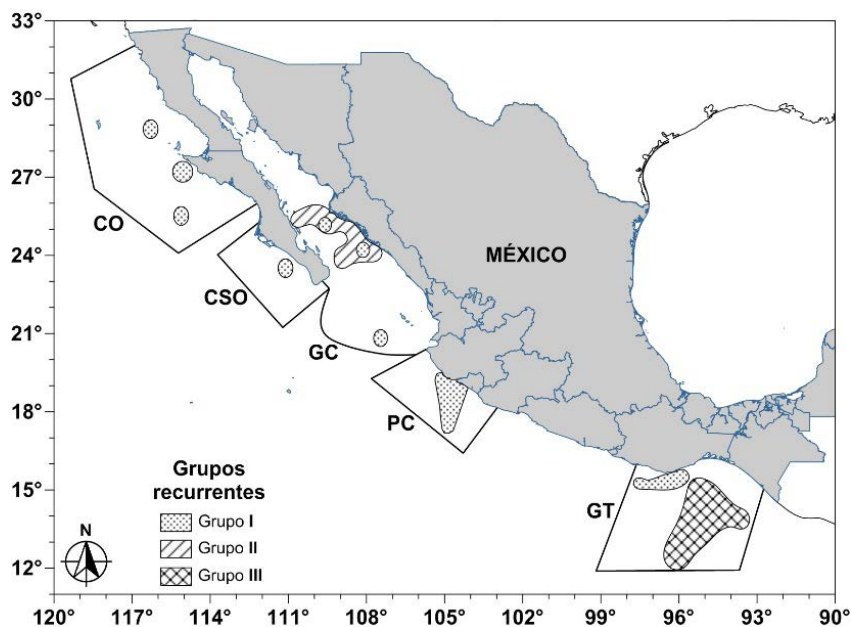
Las regiones CO y el GC presentan taxa significativamente diferentes, evidenciado por intervalos de confianza (95%) que no se traslapan desde el origen. El porcentaje de la fauna de paralarvas registrado en la CSO (67%) es el más bajo, mientras que, el

modelo utilizado predice la existencia de 30 especies más, que teóricamente pueden ser encontradas en el Pacífico mexicano (tabla 3, anexo).

El análisis de grupos de paralarvas recurrentes mostró la formación de tres grupos de especies, dos de ellos con una especie asociada. El grupo I estuvo formado por el Complejo SD y *Sthenoteuthis oualaniensis* con una afinidad (I) de 0.3-0.39. Este grupo se distribuyó a todo lo largo del Pacífico mexicano en estaciones de muestreo frente a Punta Banda, Punta Eugenia y Bahía Magdalena en la CO; en la zona sur del GC; en las estaciones costeras y algunas oceánicas del PC y en las estaciones más occidentales del GT (figura 4).

Figura 4

Distribución de grupos recurrentes. CO = costa occidental de la Península de Baja California; CSO = costa suroccidental de Baja California Sur; GC = Golfo de California; PC = Pacífico central; GT = Golfo de Tehuantepec.



El grupo II estuvo compuesto por *Pterygioteuthis hoylei* y *Enoploteuthis* sp. 1 con la especie asociada *Euaxoetopus panamen-*

sis ($I=0.2-0.29$). Este grupo recurrente se distribuyó exclusivamente en la parte sur del GC, mientras que el grupo III estuvo compuesto de *Onychoteuthis horstkottei* y *Abraliopsis* sp. 2 ($I=0.3-0.39$) con la especie asociada *Drechselia danae* ($I=0.2-0.29$), distribuido exclusivamente en el GT (figura 4). La unión entre los tres grupos se dio a través de *Abraliopsis* sp. 1 que tuvo afinidad ($I=0.2-0.29$) con *Abraliopsis* sp. 2 (grupo I), Complejo SD (grupo II) y *Pterygioteuthis hoylei* (grupo III).

Discusión

La alta variabilidad climatológica del Pacífico mexicano está relacionada con su posición como zona limítrofe entre masas de agua de diferente origen que presentan complejos faunísticos asociados a cada una de ellas. Estos complejos, son afectados tanto por la variabilidad interanual promovida por El Niño Oscilación del Sur como por la Oscilación Decadal del Pacífico, posibilitando con su estudio, la detección de traslapes entre comunidades de diferente afinidad biogeográfica.

De las especies identificadas, solo *Dosidicus gigas* de la familia Ommastrephidae se distribuye en la zona boreal, subtropical y ecuatorial de ambos hemisferios (Nesis, 2003; Staaf *et al.*, 2010), traslapándose con todos los taxones identificados. Esta especie tropical-subtropical nerito-oceánica es blanco de una de las pesquerías de invertebrados más grande a nivel mundial. Su centro de distribución es el Pacífico oriental tropical con incursiones hasta los 40° N y 47° S y una reciente extensión hasta el Golfo de Alaska a los 60° N durante El Niño 1997-1998 (Friedemann *et al.*, 2008). Las paralarvas de esta especie, incluidas en el Complejo SD (*Sthenoteuthis oualaniensis*-*Dosidicus gigas*), registraron una abundancia relativa muy alta en las cinco regiones, independientemente de las condiciones ambientales o del esfuerzo de muestreo, apoyando estudios previos que establecen que el Pacífico oriental tropical presenta condiciones ambientales favorables para el desarrollo embrionario de estas dos especies (Staaf *et al.*, 2011). El grupo recurrente I mostró la coocurrencia de las paralarvas de afinidad tropical-subtropical de las especies *Sthenoteuthis oualaniensis*, *Dosidicus gigas* y *Abraliopsis* sp. 1 en un mismo tiempo y espacio distribuyén-

dose en todo el Pacífico mexicano, en una parte de la amplitud de ambientes donde habitan los adultos (Staaf *et al.*, 2010).

El Niño 1997-1998 se hizo presente en la CO desde julio de 1997 evidenciado por el transporte de agua inusualmente cálida y salina que alcanzó su máxima expansión nortea llegando hasta Ensenada, Baja California, en octubre de 1997 en profundidades < 100 m. La Niña 1999-2001 inició en esta región con anomalías negativas de temperatura en octubre de 1998 (Durazo y Baumgartner, 2002). Ambas condiciones, modularon la estructura de la comunidad de paralarvas promoviendo la presencia de paralarvas de afinidad tropical-subtropical predominante durante el periodo cálido, que cambió por otra de afinidad boreal y templada durante el periodo frío (Granados-Amores *et al.*, 2010). La comunidad de paralarvas registradas en la CO durante el ENOS 1997-2001, fue diferente a las comunidades del resto de las regiones analizadas. Además de la familia Ommastrephidae, se registró la abundancia relativa más alta de paralarvas de las familias Onychoteuthidae representada por *Onychoteuthis borealijaponica* y 3 morfotipos del mismo género, y Gonatidae representada por *Gonatopsis borealis*, *Gonatus* sp. 1 y *Gonatus* sp. 2. Estas especies, de afinidad templada-panboreal (Nesis, 2003), indicaron el avance al sur de la masa de Agua Subártica a la CO (Granados-Amores *et al.*, 2010), y junto con *Abraliopsis felis* de distribución transpacífica templada y *Ommastrephes bartramii* circumglobal bisubtropical, diferenciaron la región CO del resto de las regiones analizadas.

A pesar de la cobertura temporal y espacial de muestreo de los programas CalCOFI, CICIMAR e IMECOCAL, la región CSO ha sido poco estudiada. La influencia de la Corriente de California en la CSO es menor, la columna de agua registra temperaturas y salinidades más elevadas y la variación intra e inter-anual, resultado de la variabilidad oceanográfica, es alta comparada con la registrada al norte, en la región central de la península (Lynn y Simpson, 1987; De Silva-Dávila *et al.*, 2002). En la CSO el cambio estacional de la comunidad de paralarvas sin el efecto ENOS fue significativamente diferente. Aunque las muestras provinieron de temporadas ambientalmente contrastantes (primavera y otoño), la afinidad biogeográfica de las paralarvas fue predominantemente tropical-

subtropical (con sólo tres especies de afinidad templada) en ambas temporadas (García-Guillén, 2016). El incremento en la riqueza y diversidad de la comunidad durante otoño se relacionó con una menor influencia de Agua Subártica y un aumento del ambiente cálido por la llegada de Agua Superficial Tropical, Agua Superficial Subtropical y Agua Subsuperficial Ecuatorial (100-225 m) (Avenida-Ibarra *et al.*, 2010). Las familias Enoploteuthidae con especies de afinidad templada (*Abraliopsis felis*) y pan-tropical (*Abraliopsis* sp. 1 y *Abraliopsis* sp. 2, probablemente *Abraliopsis affinis* y *Abraliopsis falco*) y Argonautidae (*Argonauta* cf. *argo*, *Argonauta* cf. *hians*, *Argonauta* cf. *boettgeri*) de distribución pan-tropical oceánica, reemplazaron a las familias Onychoteuthidae y Gonatidae de la CO, cuyos representantes en la CSO disminuyeron su abundancia relativa a $\leq 1.0\%$.

El número de especies en el GC (33), la distribución de la riqueza por estación de muestreo, así como el esfuerzo de muestreo (167 arrastres) y el número de grupos recurrentes (2), indican que el GC es la región con mayor riqueza específica del Pacífico mexicano. En el GC, además de las masas de agua presentes en la CO que transportan paralarvas de afinidad boreal, templada, tropical y cosmopolita, también ocurre la masa de Agua del Golfo de California caracterizada por una dominancia de *Pterygioteuthis hoylei* de la familia Pyroteuthidae, de afinidad pan-tropical del Pacífico oriental (Nesis, 2003; De Silva Dávila *et al.*, 2013b). Esta familia aportó la mayor abundancia relativa (53%) en esta región, pero fue escasa en el resto. La batimetría del GC, así como la producción biológica de la zona aseguran un hábitat para los adultos y abasto de alimento para sus paralarvas en la zona epipelágica a lo largo del año (De Silva-Dávila *et al.*, 2013b). La riqueza en el GC se incrementó por la presencia de *Chroteuthis* sp. 1, *Abraliopsis affinis*, *Enoploteuthis* sp. 1, *Gonatus pyros* y *Gonatus* sp. 3 (calamares) y *Argonauta* sp. 2, *Euaxoctopus panamensis*, *Octopus* sp. 3 y *Octopus* sp. 4 (pulpos), de diferentes afinidades y de hábitat oceánico y costero, ausentes en el resto de las regiones. Esto, explica la formación y distribución del grupo II. Este grupo incluyó a *Pterygioteuthis hoylei* (tropical-subtropical del Pacífico oriental), *Enoploteuthis* sp. 1 y *Euaxoctopus panamensis* (tropical costero), distribuido únicamen-

te en el GC, indicando que cada una de estas especies recurrentemente forman parte del ambiente de las otras dos. Por otra parte, el esfuerzo de muestreo en la CO ha sido el mayor (268 arrastres) registrado hasta el momento en el Pacífico mexicano. Sin embargo, a pesar de este esfuerzo considerable, no ha resultado en una mayor riqueza ya que con sólo el 62% (167 arrastres) y al mínimo esfuerzo de muestreo (50 arrastres) la riqueza del GC es mayor que en las cuatro regiones restantes.

La región PC resalta por incluir muestreos oceánicos y costeros que, en términos de riqueza, pudieran ser más representativos al combinar la fauna de ambos ambientes. En esta región se registraron estaciones de muestreo con la mayor riqueza acumulada y aunque el muestreo costero es quizá la serie mensual de tiempo más larga de zooplancton que se tiene publicada en México con 157 arrastres en tres años (Franco-Gordo *et al.*, 2004; Ambriz-Arreola *et al.*, 2012) sumado a los muestreos oceánicos, ocupa el segundo lugar más alto en esfuerzo de muestreo (184 arrastres). Sin embargo, la riqueza en esta región (21 especies), que es la segunda más baja después del GT, está asociada con un ambiente más estable dominado por masas de agua cálida, donde los cambios estacionales son poco detectables y donde la variabilidad del zooplancton está usualmente influenciada por procesos de mesoescala o de escala interanual (López-Sandoval *et al.*, 2009; Ambriz-Arreola *et al.*, 2012). Las anomalías de temperatura registradas durante el ENOS 1997-2001 en el PC determinó la presencia de un ambiente normal (1996) o cálido (1997-1998) en los muestreos costeros (Franco-Gordo *et al.*, 2004; NOAA, 2017). Los muestreos oceánicos de 2010 también coincidieron con anomalías cálidas y frías registrándose diferencias significativas en las condiciones ambientales de la columna de agua entre cruceros sobresaliendo un pulso de agua fría durante mayo asociado a la influencia de la Corriente de California (Pelayo-Martínez *et al.*, 2017). A pesar de la variabilidad térmica y oceanográfica entre cruceros, la comunidad de paralarvas del PC tuvo una afinidad tropical-subtropical relativamente homogénea, con baja riqueza, abundancia y distribución semejantes (Pelayo-Martínez *et al.*, 2015) relacionadas con las masas de agua cálidas predominantes (Kessler, 2006). La composición por familia re-

gistrada en el PC destacó por la mayor abundancia relativa de la familia Lolliginidae (*Lolliguncula* sp. 2) de hábitat costero (Jereb y Roper, 2010), reflejando el esfuerzo de muestreo en los cruceros costeros en esta región.

El GT se caracterizó por la alta abundancia relativa de las familias Enoplateuthidae (38%), Cranchiidae (16%) y Onychoteuthidae (13%) representadas por *Abraliopsis* sp. 2, *Drechselia danae* y *Onychoteuthis horstkottei* respectivamente, cuya abundancia en el resto de las regiones no sobrepasó el 15%. La alta ocurrencia de estas especies juntas en el GT permitió la formación del grupo III con el mayor índice de afinidad ($I = 0.5$) entre las dos primeras especies. La variabilidad interanual en las condiciones oceanográficas registradas en los dos cruceros analizados no favoreció un cambio en la estructura de las comunidades, que mantuvieron una afinidad tropical-subtropical. Sin embargo, las paralarvas se distribuyeron en los márgenes de los remolinos de mesoescala y en zonas con la temperatura más alta en uno de los cruceros, mientras que, en el segundo, paralarvas de especies oceánicas se separaron de las especies costeras por un frente de surgencia (Aceves-Medina *et al.*, 2017). En el GT la riqueza más baja estuvo influenciada posiblemente, por el menor esfuerzo de muestreo (50 arrastres) en comparación con el resto de las regiones analizadas y por la presencia solo de masas de agua tropicales.

En términos taxonómicos, cada especie y morfotipo identificado mostró consistencia en los patrones de cromatóforos y estructuras a todas las tallas encontradas, por lo que, se asume que estas paralarvas corresponden a especies cuyos adultos se distribuyen y reproducen en aguas mexicanas en las temporadas y regiones de colecta, indicando la presencia de una biota de cefalópodos rica. En el Pacífico mexicano se han registrado 95 especies de calamares y 41 especies de pulpos (Jereb y Roper, 2010; Jereb *et al.*, 2013), por lo que nuestro listado sistemático que registra 68, aún se encuentra incompleto. De lo anterior, resalta la relevancia de una adecuada planeación de la investigación dirigida a ampliar el esfuerzo de muestreo a temporadas no muestreadas, a la zona oceánica a más de 370 km fuera de la costa y también por debajo de los 200 m de profundidad, así como a la zona costera del litoral Pacífi-

co de México, que con excepción del PC y GT carece de esfuerzo de muestreo. En estos ambientes, existen aún un número desconocido de especies oceánicas, meso y batipelágicas, así como familias de hábitat costero que aún no se han registrado en México ni como adultos ni como paralarvas. En particular, el orden Octopoda, tiene al menos 20 especies de pulpos que se distribuyen en la columna de agua, con paralarvas planctónicas (Jereb y Roper, 2010; Jereb *et al.*, 2013), lo que sustenta el modelo de acumulación de especies que predice la adición de 30 especies más en el Pacífico mexicano.

Conclusión

Los 46 taxa identificados morfológicamente a nivel especie en el Pacífico mexicano, aportan en conjunto más de tres veces la riqueza de paralarvas de cefalópodos previamente registradas en los trabajos pioneros de la década de 1960. Las familias que caracterizan la fauna del Pacífico mexicano son la Ommastrephidae, Pyroteuthidae, Argonautidae, Enoploteuthidae y Loliginidae cuya abundancia relativa mostró diferencias significativas entre las regiones. Los taxa incluidos en estas familias se distribuyeron de forma diferencial en las cinco regiones analizadas, excepto las paralarvas del Complejo *Sthenoteuthis oualaniensis-Dosidicus gigas* que se trasladaron en distribución con todos los taxa registrados en el Pacífico mexicano y formaron parte del grupo recurrente más ampliamente distribuido. La región con mayor riqueza de especies fue el GC oceanográficamente influenciado por cinco masas de agua registradas en el Pacífico mexicano, por cambios interanuales (ENOS) y estacionales que se reflejan en una biota formada por especies templadas, tropicales, subtropicales, cosmopolitas y de diferente hábitat (costero y oceánico). Los grupos recurrentes II y III mostraron una distribución restringida a las regiones GC y GT respectivamente. Un esfuerzo de muestreo mayor en temporadas, áreas y profundidades no exploradas todavía puede promover el descubrimiento de nuevas especies, extensiones de ámbito, o aportar especímenes para la descripción de paralarvas de especies que sólo se conocen como adultos, y en general, incrementar el conocimiento de la riqueza de paralarvas de cefalópodos del Pacífico mexicano.

Literatura citada

- Aceves-Medina, G., De Silva-Dávila, R., Cruz-Estudillo, I., Durazo, R. & Avendaño-Ibarra, R. (2017). Influence of the oceanographic dynamic in size distribution of cephalopod paralarvae in the southern Mexican Pacific Ocean (rainy seasons 2007 and 2008). *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45(2), 356-369. doi.10.3856/vol45-issue2-fulltext-11.
- Alejo-Plata, M. C., García-Guillén, R. y Herrera-Galindo, J. (2013). Paralarvas y juveniles de cefalópodos en el Pacífico sur de México. *Hidrobiológica*, 23(2), 250-264.
- Ambriz-Arreola, I., Gómez-Gutiérrez, J., Franco-Gordo, M. C., Lavaniegos, B. E. & Godínez-Domínguez, E. (2012). Influence of coastal upwelling – downwelling variability on tropical euphausiid abundance and community structure in the inshore Mexican central Pacific. *Marine Ecology Progress Series*, 451, 119-136. doi.10.3354/meps09607.
- Avendaño-Ibarra, R., De Silva-Dávila, R., Ordóñez-Guillén, F. E. y Vázquez-López, G. (2010). Composición estacional de larvas de peces frente a Baja California Sur (primavera y otoño de 2003). En: Gaxiola-Castro, G. y Durazo, R. eds. *Dinámica del ecosistema pelágico frente a Baja California 1997-2007. Diez años de investigaciones mexicanas de la Corriente de California* (1er ed.). pp. 413-431. México: SEMARNAT-INE-CICESE-UABC.
- Blackburn, M. (1968). Micronekton of the eastern tropical Pacific Ocean: family composition, distribution, abundance, and relations to tuna. *Fishery Bulletin*, 67(1), 71-115.
- Colwell, R. K. (2013). EstimateS. Statistical estimation of species richness and shared species for samples. Retrieved from <http://purl.oclc.org/estimates>.
- De Silva-Dávila, R. (2013). Paralarvas de cefalópodos en el Golfo de California, México. (Tesis Doctoral). Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, México.
- De Silva-Dávila, R., Avendaño-Ibarra, R. y Franco-Gordo, C. (2013a). Calamares y pulpos de la costa sur de Jalisco y Colima. En: Franco-Gordo, C. ed. *Inventario de Biodiversidad de la Costa Sur de Jalisco y Colima. Volumen 1*. pp. 39-49. México: Editorial Universidad de Guadalajara. Recuperado de doi.10.13140/2.1.2662.7527.
- De Silva-Dávila, R., Franco-Gordo, C., Hochberg, F. G., Godínez-Domínguez, E., Avendaño-Ibarra, R., Gómez-Gutiérrez, J. & Robinson, C. J. (2015). Cephalopod paralarval assemblages in the Gulf of California during 2004-2007. *Marine Ecology Progress Series*, 520, 123-141. doi.10.3354/meps11074
- De Silva-Dávila, R., Hochberg, F. G., Lindgren, A. R. & Franco-Gordo, C. (2013b). Paralarval development, abundance, and distribution of *Pterygioteuthis hoylei* (Cephalopoda: Oegopsida: Pyroteuthidae) in the Gulf of California, México. *Molluscan Research*, 33(1), 50-64. doi.10.1080/13235818.2012.754148.
- De Silva-Dávila, R., Palomares-García, R., Martínez-López, A. & Carballido-Carranza, M. A. (2002). Standing stock of *Nyctiphanes simplex* in the south-

- ern region of the California Current System. *Journal of Plankton Research*, 24(10), 1054-1066. doi.10.1093/plankt/24.10.1057
- Durazo, R. & Baumgartner, T. (2002). Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999. *Progress in Oceanography*, 54, 7-31. doi.10.1016/S0079-6611(02)00041-1.
- Fager, E. W. (1963). Communities of organisms. In: Hill, M. N. ed. *The sea*, Vol. 2 (1st ed.). pp. 415-437. New York: Wiley-Interscience.
- Fager, E. W. & McGowan, J. A. (1963). Zooplankton species groups in the north Pacific. *Science*, 140, 453-460. doi.10.1126/science.140.3566.453.
- FAO (2014). Anuario FAO. Estadísticas de pesquerías y acuicultura. Recuperado de http://www.fao.org/fishery/static/Yearbook/YB2014_CD_Master/navigation/index_content_capture_e.htm#B.
- Fernández-Álamo, M. A. & Färber-Lorda, J. (2006). Zooplankton and the oceanography of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69, 318-359. doi.10.1016/j.pocean.2006.03.003.
- Fiedler, P. C. & Lavín, M. (2006). Introduction: a review of eastern tropical Pacific oceanography. *Progress in Oceanography*, 69(2-4), 94-100. doi.10.1016/j.pocean.2006.03.006.
- Franco-Gordo, C., Godínez-Domínguez, E., Filonov, A. E., Tereshchenko, I. E. & Freire, J. (2004). Plankton biomass and larval fish abundance prior to and during the El Niño period of 1997-1998 along the central Pacific coast of Mexico. *Progress in Oceanography*, 63(3), 99-123. doi.10.1016/j.pocean.2004.10.001.
- Friedemann, K., Argüelles, J., Mariátegui, L., Tafur, R., Wolff, M. & Yamashiro, C. (2008). A hypothesis on range expansion and spatio-temporal shifts in size at maturity of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the Eastern Tropical Pacific Ocean. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report*, 49, 119-128.
- García-Guillén, R. M. (2016). Estructura de la comunidad de paralarvas de cefalópodos de la costa suroccidental de Baja California Sur y su relación con las variables ambientales. (Tesis de Maestría). Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas- Instituto Politécnico Nacional, México.
- Granados-Amores, J., De Silva-Dávila, R., Camarillo-Coop, S., Hochberg, F. G., Durazo, R. y Avendaño-Ibarra, R. (2010). Composición de especies y patrones de distribución de paralarvas de calamar, 1996-1999. En: Gaxiola-Castro, G. y Durazo, R. eds. *Dinámica del ecosistema pelágico frente a Baja California 1997-2007. Diez años de investigaciones mexicanas de la Corriente de California* (1er ed.). pp. 453-467. México: SEMARNAT-INE-CICESE-UABC.
- Hoyle, W. E. (1904). Reports on the Cephalopoda. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*, 43(1), 1-487.
- ITIS (2017). Integrated Taxonomic System. Retrieved from <http://www.itis.gov>.
- Jereb, P. & Roper, C. F. E. (2010). Cephalopods of the world. An annotated and illustrated catalogue of species known to date. Volume 2. Myopsid and oegopsid squids. Rome: FAO.
- Jereb, P., Roper, C. F. E., Norman, M. D. & Finn, J. K. (2013). Cephalopods of the world. An annotated and illustrated catalogue of cephalopod species known to date. Volume 3. Octopods and Vampire Squids. Rome: FAO.

- Jiménez-Valverde, A. & J. Hortal. (2003). Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología*, 8, 151-161.
- Kessler, W. S. (2006). The circulation of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2), 181-217. doi.10.1016/j.pocean.2006.03.009.
- López-Sandoval, D., Lara-Lara, J., Lavín, M., Álvarez-Borrego, S. y Gaxiola-Castro, G. (2009). Productividad primaria en el Pacífico oriental tropical adyacente a Cabo Corrientes, México. *Ciencias Marinas*, 35(2), 169-182.
- Lynn, R. J. & Simpson, J. J. (1987). The California Current System: The seasonal variability of its physical characteristics. *Journal of Geophysical Research*, 92(12), 947-966. doi.10.1029/JC092iC12p12947.
- McGowan, J. A. (1967). *Atlas No. 6. Distributional atlas of pelagic molluscs in the California Current region*. United States of America: State of California Marine Research Committee.
- Nesis, K. N. (2003). Distribution of Recent Cephalopoda and implications for plio-pleistocene events. In: Warnke, K., Keupp, H. & Boletzky, S. V. eds. *Coleoid Cephalopods Through Time. Proceedings of an international symposium* (1st ed.). pp. 199-224. Berlin: Berliner Paläobiologische Abhandlungen.
- NOAA (2017). National Weather Service. Climate Prediction Center. Retrieved from http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.
- Okutani, T. (1974). Epipelagic decapod cephalopods collected by micronekton tows during the EASTROPAC expeditions, 1967-1968 (Systematic Part). *Bulletin of Tokai Regional Fisheries Research Laboratory*, 80, 29-118.
- Okutani, T. & McGowan, J. (1969). Systematics, distribution, and abundance of the epipelagic squid (Cephalopoda, Decapoda) larvae of the California Current, April, 1954- March, 1957. *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography*, 14, 1-90.
- Passarella, K. C. (1990). Oceanic cephalopod assemblage in the eastern Gulf of Mexico. (Master's Thesis). Department of Marine Science, University of South Florida, St Petersburg.
- Pelayo-Martínez, G. C., De Silva-Dávila, R., Franco-Gordo, M. C. y Olivos-Ortiz, A. (2015). Distribución espacio-temporal de paralarvas de cefalópodos en el Pacífico central mexicano. p. 242. *XIX Reunión Nacional y XII Internacional de la Sociedad Mexicana de Planctología*, A. C., 25-29 de mayo de 2015, La Paz, Baja California Sur, México.
- Pelayo-Martínez, G. C., Olivos-Ortiz, A., Franco-Gordo, M. C., Quijano-Scheggia, S., Gaviño-Rodríguez, J., Kono-Martínez, T. & Castro-Ochoa, F. (2017). Physical, chemical and zooplankton biomass variability (inshore-offshore) of Mexican Central Pacific during El Niño-La Niña 2010. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45(1), 67-78. doi.10.3856/vol45-is-suel-fulltext-7.
- Soberón, J. & Llorente, J. (1993). The use of species accumulation functions for the prediction of species richness. *Conservation Biology*, 7(3), 480-488. doi.10.1046/j.1523-1739.1993.07030480.x

- Staaf, D. J., Redfern, J. V., Gilly, W. F., Watson, W. & Balance, L. T. (2013). Distribution of Ommastrephidae paralarvae in the eastern tropical Pacific. *Fishery Bulletin*, 111, 78-89. doi.10.7755/FB.111.1.7.
- Staaf, D. J., Ruiz-Cooley, R. I., Elliger, C., Lebaric, Z., Campos, B., Markaida, U. & Gilly, W. F. (2010). Ommastrephid squids *Sthenoteuthis oualaniensis* and *Dosidicus gigas* in the eastern Pacific show convergent biogeographic breaks but contrasting population structures. *Marine Ecology Progress Series*, 418, 165-178. doi.10.3354/meps08829.
- Staaf, D., Zeidberg, L. D. & Gilly, W. F. (2011). Effects of temperature on embryonic development of the Humboldt squid *Dosidicus gigas*. *Marine Ecology Progress Series*, 441, 165-175. doi.10.3354/meps09389.
- Young, R. E. (1972). *The systematics and areal distribution of pelagic cephalopods from the seas off southern California* (1st ed.). Washington: Smithsonian Contributions to Zoology, 97.
- Zepeda-Benítez, V. Y., Morales-Bojórquez, E., Díaz-Urbe, J. G., Nevárez-Martínez, M. O., Hernández-Herrera, A. & López-Martínez, J. (2017). Implementation of catch-at-age model for the jumbo squid *Dosidicus gigas*. *Ecological Modelling* 344, 6-16. doi.10.1016/j.ecolmodel.2016.10.019.

Anexo

Tabla 1

Cruceros oceanográficos realizados en el Pacífico mexicano.

Regiones: CO = costa occidental de la Península de Baja California; CSO = costa suroccidental de Baja California Sur; GC = Golfo de California; PC = Pacífico central; GT = Golfo de Tehuantepec. Est = número de estaciones. Ab = abundancia estandarizada (PL/1000 m³); Est + = estaciones positivas (con al menos una paralarva); Abprom = abundancia promedio por estación positiva; O = oblicuo; S = superficial.

Región	Crucero	Est	Fecha	Arrastre	Ab/región	Est +	Abprom
CO ¹	IMECOCAL-9709	39	Sep-Oct 1997	O	2137	97	22
	IMECOCAL-9801	69	Ene-Feb 1998	O			
	IMECOCAL-9807	65	Jul 1998	O			
	IMECOCAL-9810	63	Sep-Oct 1998	O			
	IMECOCAL-9901	55	Ene 1999	O			
	IMECOCAL-9908	79	Ago 1999	O			
CSO ^{2,3}	TOPO-0403	52	Abr 2003	O, S	2462	57	43
	TOPO-0903	33	Sep 2003	O, S			
GC ^{3, 4, 5}	CGC-0503	39	Mar 2005	O	8744	167	52
	CGC-0505	43	May 2005	O			
	CGC0509	43	Sep 2005	S			
	S-195	21	Nov 2004	O, S			
	S-207	17	Nov 2006	O, S			
	CAPE-GOLCA0701		Ene-2007	O			
	CAPE-GOLCA 0707		Jul-2007	O			
PC ^{6,7,8}	PCM-1001	20	Ene 2010	O	6884	198	41
	PCM-1002	21	May-Jun 2010	O			
	PCM-1003	20	Oct 2010	O			
	JALCO 96-98*	1-10	Ene 1996-Dec 1998	O			
GT ^{2,3}	TEHUANO-0707	32	Jul 2007	O	1079	49	22
	TEHUANO-0508	36	May 2008	O			
				Total	21306	568	37

*Instituciones involucradas: 1 = Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada; 2 = Secretaría de Marina, Armada de México; 3 = Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional; 4 = Sea Education Association, Woods Hole, USA; 5 = Universidad Nacional Autónoma de México; 6 = Universidad de Colima; 7 = Comisión Federal de Electricidad; 8 = Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara. *25 muestreos costeros.

Tabla 2

Listado de especies de paralarvas de cefalópodos distribuidas en el Océano Pacífico mexicano. Estudios pioneros (sombreado): 1 = Blackburn (1968) y 2 = Okutani y McGowan (1969). Regiones estudiadas: CO = costa occidental, CSO = costa suroccidental, GC = Golfo de California, PC = Pacífico central, GT = Golfo de Tehuantepec. *Morfotipos probablemente correspondientes a paralarvas con adultos distribuidos en el área de estudio.

Taxones	1	2	CO	CSO	GC	PC	GT
Clase Cephalopoda Cuvier, 1797							
Subclase Coleoidea Bather, 1888							
Superorden Decabrachia Boettger, 1952							
Orden Teuthida Naef, 1916							
Suborden Myopsida Orbigny, 1841							
Familia Loliginidae Lesueur, 1821							
<i>Doryteuthis (Amerigo) opalescens</i> (Berry, 1911)		●					
<i>Lolliguncula</i> sp. 1*					●		●
<i>Lolliguncula</i> sp. 2*						●	
Suborden Oegopsina Orbigny, 1845							
Familia Ancistrocheiridae Pfeffer, 1912							
<i>Ancistrocheirus</i> cf. <i>lesueurii</i> (D'Orbigny, 1842)			●	●	●	●	
Familia Chiroteuthidae Gray, 1849							
<i>Chiroteuthis calyx</i> Young, 1972							●
<i>Chiroteuthis veranyi</i> (Férussac, 1834)		●					
<i>Chiroteuthis</i> sp. 1*					●		
<i>Chiroteuthis</i> sp. 2				●			
Familia Chetenopterygidae Allan, 1945							
<i>Chtenopteryx sicula</i> (Verany, 1851)		●					
Familia Cranchiidae Prosch, 1847							
<i>Cranchia scabra</i> Leach, 1817			●				
<i>Drechselia danae</i> Joubin, 1931			●		●	●	●
<i>Leachia pacifica</i> (Issel, 1908)		●	●				
<i>Liocranchia reinhardti</i> (Steenstrup, 1856)	●						
<i>Helicocranchia pfefferi</i> Massy, 1907		●	●				
<i>Liguriella podophthalma</i> Issel, 1908		●		●			
<i>Sandalops</i> sp. 1*						●	
<i>Teuthowenia megalops</i> (Prosch, 1847)		●					
Familia Enoploteuthidae Pfeffer, 1900							
<i>Abrialopsis (Pfefferiteuthis) affinis</i> (Pfeffer, 1912)					●		
<i>Abrialopsis (Pfefferiteuthis) falco</i> Young, 1972							●
<i>Abrialopsis (Boreabrialopsis) felis</i> McGowan y Okutani, 1968		●	●	●	●		
<i>Abrialopsis (Abrialopsis) morisii</i> (Verany, 1839)	●						
<i>Abrialopsis</i> sp. 1			●	●	●	●	●

Taxones		1	2	CO	CSO	GC	PC	GT
	<i>Abraliopsis</i> sp. 2			●	●	●	●	●
	<i>Enoploteuthis</i> sp. 1*					●		
	Familia Gonatidae Hoyle, 1886							
	<i>Gonatopsis borealis</i> Sasaki, 1923			●				
	<i>Gonatus fabricii</i> (Lichtenstein, 1818)		●					
	<i>Gonatus</i> cf. <i>pyros</i> Young, 1972					●		
	<i>Gonatus</i> sp. 1*			●		●		
	<i>Gonatus</i> sp. 2*			●				
	<i>Gonatus</i> sp. 3*					●		
	<i>Gonatus</i> sp. 4				●			
	Familia Histioteuthidae Verrill, 1881							
	<i>Histioteuthis heteropsis</i> (Berry, 1913)		●	●				
	Familia Octopoteuthidae Berry, 1912							
	<i>Octopoteuthis deletron</i> Young, 1972		●	●				
	Familia Ommastrephidae Steenstrup, 1857							
	<i>Dosidicus gigas</i> (D'Orbigny, 1835)			●	●	●	●	
	<i>Eucleoteuthis luminosa</i> (Sasaki, 1915)			●		●		
	<i>Hyaloteuthis pelagica</i> (Bosc, 1802)			●		●	●	●
	Familia Ommastrephidae Steenstrup, 1857							
	<i>Ommastrephes bartramii</i> (Lesueur, 1821)			●				
	<i>Sthenoteuthis oualaniensis</i> (Lesson, 1830)			●	●	●	●	●
	Complejo SD			●	●	●	●	●
	Familia Onychoteuthidae Gray, 1847							
	<i>Onychoteuthis</i> sp. 1*	●	●	●				
	<i>Onychoteuthis</i> sp. 2*			●				
	<i>Onychoteuthis</i> sp. 3*			●				
	<i>Onychoteuthis borealijaponica</i> Okada, 1927			●				
	<i>Onychoteuthis horstkottei</i> Bolstad, 2010				●	●		●
	<i>Onychoteuthis</i> sp. 4*						●	●
	Familia Pyroteuthidae Pfeffer, 1912							
	<i>Pterygioteuthis giardi</i> Fischer, 1896	●	●					
	<i>Pterygioteuthis hoylei</i> Pfeffer, 1912			●	●	●		
	<i>Pterygioteuthis</i> sp. 2			●		●		
	<i>Pyroteuthis</i> sp. 1				●			
	Superorden Octobranchia Fioroni, 1981							
	Orden Octopoda Leach, 1818							
	Suborden Incirrina Grimpe, 1916							
	Familia Argonautidae Tryon, 1879							
	<i>Argonauta</i> cf. <i>argo</i> Linnaeus, 1758				●	●	●	
	<i>Argonauta</i> cf. <i>boettgeri</i> Maltzan, 1881				●	●	●	
	<i>Argonauta</i> cf. <i>hians</i> Lightfoot, 1786					●	●	
	<i>Argonauta</i> sp. 1				●		●	
	<i>Argonauta</i> sp. 2					●		
	<i>Argonauta</i> sp. 3				●	●		

RIQUEZA DE PARALARVAS DE CEFALÓPODOS EN EL PACÍFICO MEXICANO

Taxones		1	2	CO	CSO	GC	PC	GT
	<i>Argonauta</i> sp. 4				●	●		
	<i>Argonauta</i> sp. 5						●	
	Familia Amphitretidae Hoyle, 1886							
	<i>Japetella diaphana</i> Hoyle, 1885				●	●	●	
	Familia Octopodidae D'Orbigny, 1840							
	<i>Euaxoctopus panamensis</i> Voss, 1971					●		
	<i>Octopus hubbsorum</i> Berry, 1953				●		●	
	<i>Octopus rubescens</i> Berry, 1953				●	●	●	
	<i>Octopus veligero</i> Berry, 1953				●			
	<i>Octopus</i> sp. 1				●	●		
	<i>Octopus</i> sp. 2				●	●	●	
	<i>Octopus</i> sp. 3				●	●		
	<i>Octopus</i> sp. 4					●		
	<i>Octopus</i> sp. 5					●	●	
	<i>Octopus</i> sp. 6						●	

Tabla 3

Análisis de las curvas de acumulación de especies para cinco regiones del Pacífico mexicano. CO = costa occidental de la Península de Baja California; CSO = costa suroccidental de Baja California Sur; GC = Golfo de California; PC = Pacífico central; GT = Golfo de Tehuantepec. R^2 = coeficiente de determinación.

	CO	GC	CSO	PC	TE
Número de arrastres	370	167	130	202	50
Riqueza observada	24	33	24	21	11
Riqueza estimada	23	32	24	20	10
Porcentaje de la fauna registrada	71	92	67	96	97
Total de especies (Clench)	35	37	37	23	11
R^2	0.997	0.994	0.999	0.990	0.951

Rompeolas alternativos y su efecto en la redistribución de la energía del oleaje

*Alternative breakwaters and their effect
on the redistribution of wave energy*

David Cueva-Rodríguez¹
Manuel Gerardo Verduzco-Zapata^{1*}
Marco Antonio Galicia-Pérez¹
Aramis Olivos-Ortiz¹
Ernesto Torres-Orozco¹

¹ Facultad de Ciencias Marinas. Universidad de Colima. Carretera Manzanillo-Barra de Navidad Km 20. Col. El Naranjo. CP 28860. Manzanillo, Colima, México. Correo-e: manuel_verduzco@uacol.mx.

Resumen

Se realizaron pruebas en un canal de oleaje en las cuales se estudió la eficiencia alrededor de dos placas sumergidas con vegetación artificial en la parte superior, las cuales fueron sometidas a la acción de un oleaje irregular en aguas profundas. Las características de las pruebas se obtuvieron de combinaciones de parámetros adimensionales, siendo éstos las relaciones que se obtienen entre la profundidad del canal, pendiente del oleaje, sumersión, espesor, longitud y espaciamento de las placas. Se evaluó la contribución de cada parámetro adimensional y la influencia de la vegetación en la transmisión y reflexión de la energía del oleaje mediante el cálculo de sus coeficientes hidrodinámicos. Los resultados sugieren que el agregar vegetación a las placas mejora su desempeño como protección costera obteniendo coeficientes de reflexión y transmisión menores. Se recomienda realizar estudios con diferentes tamaños y tipos de vegetación real, además de un mayor número de placas, con distintas longitudes y posiciones, buscando maximizar la capacidad de las placas como obstáculos de protección costera.

Palabras clave

Placas horizontales, reflexión Bragg, rompeolas alternativos.

Abstract

Tests were carried out on a wave flume where the efficiency around two submerged plates with artificial vegetation at the top was studied, which were subjected to the action of irregular waves in deep waters. The characteristics of the tests were obtained from combinations of dimensionless parameters, these being the relationships that are obtained between the depth of the channel, wave steepness, submersion, thickness, length and spacing between the plates. The contribution of each dimensionless parameter and the influence of the vegetation in the transmission and reflection of wave energy was evaluated by calculating the hydrodynamic coefficients. The results suggest that adding vegetation to the plates improves their performance as coastal defenses obtaining smaller reflection and transmission coefficients. It is recommended to carry out studies with different sizes and types of real vegetation, in addition to a greater number of plates, with different lengths and positions, seeking to maximize the capacity of the plates as barriers of coastal protection.

Keywords

Alternative breakwater, Bragg reflection, horizontal plates.

Introducción

Desde la antigüedad, cuando nuestros antepasados crearon asentamientos en la costa construyeron puertos y embarcaderos trayendo consigo la necesidad de proteger estas construcciones de la energía del oleaje. Tradicionalmente los rompeolas a talud han sido el principal tipo de estructura para la protección costera, debido a que su eficacia ha sido comprobada a través del tiempo y están respaldadas por una serie amplia de estudios (D'Angremond *et al.*, 1996; Mai *et al.*, 1999; Goda, 2000; Van der Meer *et al.*, 2005). Estos proporcionan una zona de calma adecuada para las actividades portuarias y de navegación, pero llegan a generar problemas colaterales que pueden impactar el equilibrio natural costero, e inclusive afectar el ecosistema completo, pues al bloquear el flujo de agua y sedimentos pueden provocar erosión o azolvamiento en regiones contiguas a la zona protegida, además de inducir un estancamiento del agua que puede generar condiciones insalubres y de anoxia.

Es por esto que alrededor del mundo hay investigadores que han propuesto estructuras alternativas para la protección costera como rompeolas flotantes, de los cuales existen varias categorías. Sus ventajas son que su costo y proceso constructivo son independientes de la profundidad, además de que permiten el intercambio de agua entre el mar abierto y la zona protegida y, en general, sus usos y configuraciones son más flexibles. En el trabajo realizado por Teh (2013) se llevó a cabo un comparativo entre el desempeño de varios tipos de rompeolas flotantes, en cuanto a la reflexión y transmisión del oleaje, la pérdida de energía y el costo de instalación. Los tipos de rompeolas que se compararon fueron: placa, sólido, Caisson y compuesto; siendo el primero de estos el que mejor desempeño obtiene.

El trabajo realizado por Yu (2002), sugiere que el uso de placas sumergidas para el control del oleaje en la zona fuera de la costa puede crear una corriente debajo de la placa en sentido opuesto al oleaje, lo que puede potenciar su capacidad de protección costera; para esto, se debe emplear la longitud de la placa apropiada de acuerdo a las características del oleaje.

De estudios previos (Stoker, 1957; Sendil y Graf, 1974, 1975; Sundar y Dakshinamoorthy, 1980; Patarapanich y Cheong, 1989; Zheng *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2012; Verduzco-Zapata *et al.*, 2012, 2017) se sabe que los parámetros más importantes que intervienen en la interacción ola-estructura son la pendiente de la ola (H_s/L_p), la profundidad relativa (h/L_p), la sumersión relativa (d_s/h), el espesor relativo (Z/h) y la longitud relativa (B/L_p); donde H_s es la altura de ola; L_p es la longitud de onda; h es la profundidad del agua; d_s es la distancia vertical de la corona de la placa a la superficie libre; Z es el espesor de la placa; y B es su longitud.

Verduzco-Zapata *et al.* (2017) utilizó el modelo numérico CADMAS-SURF para estudiar la interacción ola-placa en aguas profundas ($h/L_p > 0.50$), en el cual recomendaron el uso de placas con una longitud relativa (B/L_p) de 0.20 con un espesor relativo (Z/h) de 0.08, con las placas colocadas cerca de la superficie ($d_s/h \leq 0.03$), debido a que esta configuración produjo la mayor disipación de la energía con coeficientes bajos de transmisión ($0.30 < k_t < 0.55$) y reflexión ($0.30 < k_r < 0.70$), generando una zona protegida y minimizando la reflexión en el lado del mar abierto (k_t y k_r son los coeficientes de transmisión y reflexión, respectivamente). Sin embargo, cabe mencionar que una placa con una longitud de 20% de la longitud de onda incidente, puede resultar en un elemento muy largo, donde actuarían fuerzas verticales grandes inducidas por el oleaje.

Actualmente existe otra línea de investigación acerca de la vegetación costera en su rol de protección natural, y se ha incrementado el interés por aplicar estos conocimientos para la disipación del oleaje en zonas con actividades humanas en la costa por lo que se han hecho diversas investigaciones para potenciar el uso de la vegetación como protección costera mediante pruebas numéricas y de laboratorio (Méndez y Lozada, 2004; Augustin *et al.*, 2009; Fatimah *et al.*, 2008; Koftis *et al.*, 2012; Blackmar *et al.*, 2014; Ozeren *et al.*, 2014; Beena *et al.*, 1990; Ling *et al.*, 2015).

Beena *et al.* (2015) realizaron pruebas en un canal de oleaje en las que analizaron la influencia de vegetación artificial sumergida como reductor del oleaje, reportando una reducción de casi un 50% del oleaje transmitido, estando en función del tipo de vegeta-

ción, densidad, altura y configuración espacial. Chen *et al.* (2016) implementaron un modelo numérico aplicando las ecuaciones de Navier-Stokes, para estudiar la propagación del oleaje sobre plataformas con vegetación. Sus resultados sugieren que en general la vegetación ayuda a reducir la transmisión del oleaje, y que la vegetación es más eficiente cuando el ancho relativo de la plataforma W/L , siendo W el ancho y L la longitud, tiene un valor entre 0.125-0.25, puesto que, al incrementar estos valores, la influencia de la vegetación disminuye.

En este trabajo se utilizó un canal de oleaje físico de 40 m con el objetivo de estudiar experimentalmente la interacción del oleaje con placas sumergidas con y sin vegetación artificial, para cuantificar los procesos de reflexión y transmisión de energía, además de determinar la mejora en el desempeño de las placas al ser coronadas con vegetación y analizar la eficiencia al utilizar dos placas cortas versus una sola placa con el doble de longitud, evaluando así su eficiencia como elementos de protección costera.

A continuación, se presenta la metodología utilizada en las pruebas experimentales y su posterior análisis, y en las siguientes secciones se muestran los resultados de la investigación y sus discusiones, finalmente se presentan las conclusiones del trabajo.

Metodología

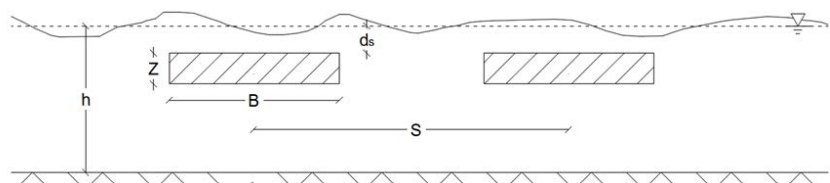
Diseño de experimentos.

De acuerdo a lo reportado en los antecedentes, diversos investigadores utilizaron parámetros adimensionales: profundidad relativa (h/L_p), pendiente del oleaje (H_s/L_p), sumersión relativa (d_s/h), espesor relativo (Z/h), longitud relativa (B/L_p), espaciamiento relativo ($2S/L_p$), siendo éstos las relaciones que se obtienen entre la profundidad del canal (h), longitud de la onda (L_p), altura de la ola (H_s), sumersión de la placa (d_s), espesor de la placa (Z), ancho de la placa (B), y espaciamiento entre las placas (S), para de esta manera analizar la contribución de cada una de estas características en el desempeño de las placas. Se utilizó un régimen de aguas profundas ($h/L_p = 0.50$); los valores de H_s/L_p fueron 0.03 y 0.04 se escogieron para representar pendientes suaves que impidan el rompimiento de las olas antes de alcanzar la placa; el espesor relativo

Z/h se mantuvo en 0.08 y la sumersión relativa d_s/h tuvo valores de 0.05 y 0.10 donde se ha demostrado que las placas tienen una buena eficiencia para bloquear o disipar la energía del oleaje, la longitud relativa $B/L_p = 0.10$ y con un espaciamento relativo ($2S/L_p$) entre 0.20 y 2.5, como se puede apreciar en la tabla 1.

Tabla 1
Matriz experimental con los parámetros adimensionales utilizados en las pruebas (Cueva-Rodríguez *et al.*, 2017).

Parámetros adimensionales	Descripción	Valores
h / L_p	Profundidad relativa	0.50
H_s / L_p	Pendiente del oleaje	0.04 - 0.03
d_s / h	Sumersión relativa	0.10 - 0.05
Z / h	Espesor relativo	0.08
B / L_p	Longitud relativa	0.10
$2S/L_p$	Espaciamento relativo	2.50, 2.00, 1.50, 1.00, 0.50, 0.20



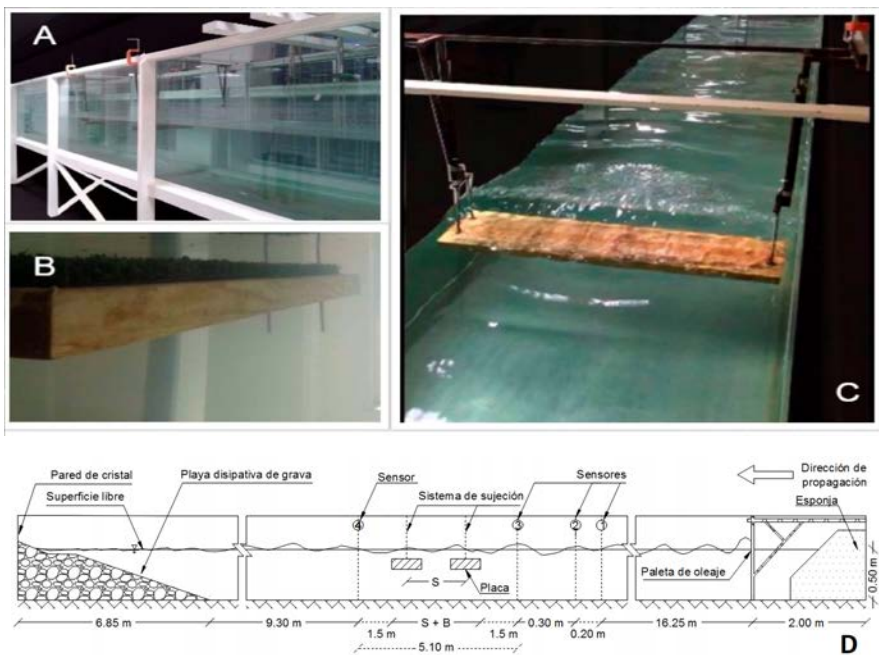
Pruebas de laboratorio

Las pruebas se realizaron en un canal de oleaje con 40 m de largo, 0.85 m de ancho y 1 m de altura (figura 1-A), en el Laboratorio de Hidráulica Marina (Oceanología Regional) localizado en la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad de Colima el cual está equipado con un generador de oleaje tipo pistón, que por medio del software HR Merlin genera el oleaje con las características requeridas. Para la representación de los obstáculos tipo placa (OTP) se utilizaron piezas de madera. Se fabricaron estructuras metálicas con el objetivo de mantener fijas las placas en la posición requerida en el canal de oleaje durante las pruebas (figura 1-C). Para realizar las pruebas de los obstáculos tipo placa con vegetación (OTPV), se les colocó en la parte superior pasto sintético hecho de una mezcla de polipropileno y polietileno de forma laminar de 1 pulgada de altura, 1 mm de ancho, 0.05 mm de espesor y una densidad de 120 hojas por cm^2 como se puede observar en la figura 1-C, buscando simular las características de las especies de pasto marino: *Enhalus acoroides*, *Posidonia oceanica*, *Spartina alterniflora* y *Zostera marina*.

Para realizar las pruebas en el canal de oleaje, se colocaron sensores en la zona media del canal evitando posibles ruidos debido a las reflexiones provenientes de la playa de grava o en su caso de la paleta. Las distancias que se dejó entre los sensores y la placa se escogieron con base en lo recomendado por Mansard y Funke (1980). Las distancias entre el sensor 1 y 2 y el sensor 1 y 3 fueron de 20 y 50 cm, respectivamente (figura 1-D). Un sensor extra se colocó a 1.5 m después de la placa para medir la energía que no se disipó ni reflejó, y se transmitió libremente después del obstáculo. Durante las pruebas el nivel de agua del canal se mantuvo constante a 50 centímetros, y se calibraron los sensores antes de las pruebas.

Figura 1

A) Canal de oleaje en la Facultad de Ciencias Marinas;
 B) obstáculo tipo placa con vegetación (OTPV); C) obstáculo tipo placa (OTP); D) configuración del canal de oleaje (dibujo sin escala), el tirante de agua se mantuvo en 50 cm en todos los experimentos. El forzamiento de oleaje correspondió a un espectro JONSWAP generado con una paleta controlada remotamente usando el Software HR MERLIN (Figura de Cueva-Rodríguez *et al.* (2017).



Análisis de resultados

Los resultados se obtuvieron a partir de las mediciones que arrojaron los sensores siendo estos 100 datos por segundo de la altura del nivel de agua por medio del software HR DAQ Data acquisition and analysis. Estos datos fueron procesados en el software MATLAB para generar los espectros del oleaje. Para separar el espectro incidente del reflejado se utilizó el método de tres sensores propuesto por Mansard y Funke (1980). La técnica utiliza el método de cua-

drados mínimos para descomponer el espectro medido, y requiere mediciones simultáneas de la amplitud y la fase de las olas en cada posición del sensor. Para ello se utilizaron tres sensores con posiciones fijas conocidas, a cierta distancia entre ellos y se grabó la elevación de la superficie libre. Una vez que se estimaron los espectros incidentes (S_I), transmitidos (S_T) y reflejados (S_R) fue posible calcular los coeficientes hidrodinámicos totales (reflexión k_r y transmisión k_t).

Resultados

Forzamiento de oleaje

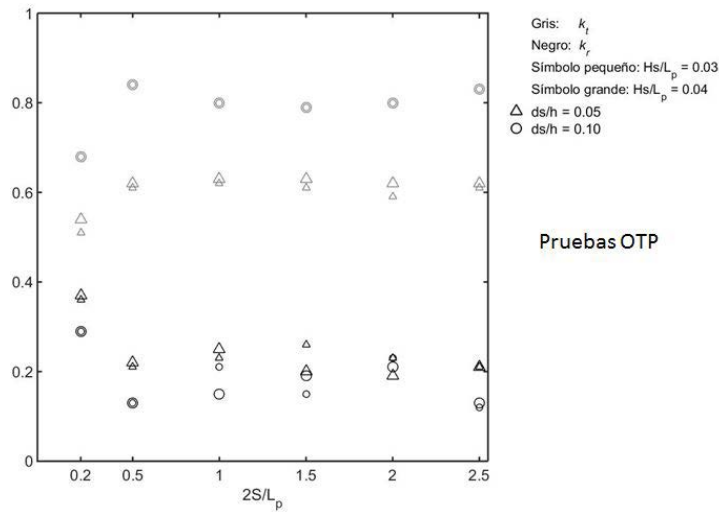
El oleaje generado se analizó mediante la estimación de su espectro, para posteriormente obtener sus parámetros integrales. Mediante el método de tres sensores descrito anteriormente, se calculó para las pruebas piloto (sin obstáculos), un coeficiente de reflexión no mayor al 12%, mientras que la altura significativa obtenida a partir del espectro (H_{mo}) y el correspondiente periodo asociado al pico espectral (T_p) tuvieron un error no mayor al 4% y 2%, respectivamente. Tanto el valor de la reflexión como la precisión de H_{mo} y T_p son adecuados para pruebas en laboratorio (Hughes, 1993).

Coeficientes de reflexión y transmisión

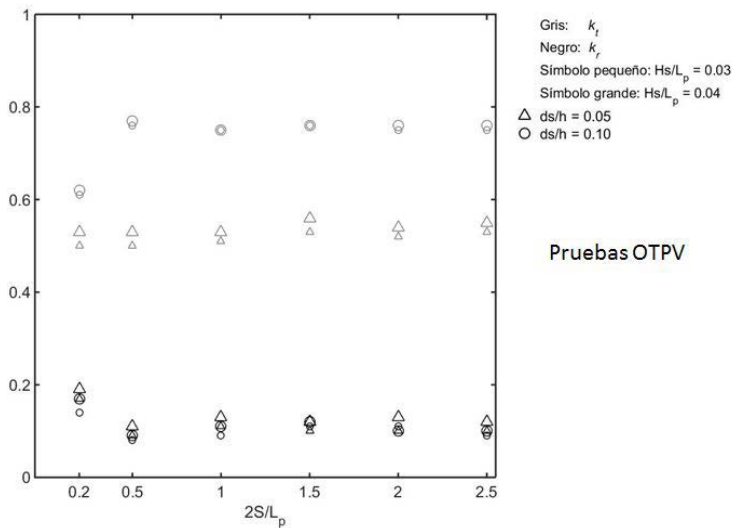
La figura 2 muestra los distintos valores de los coeficientes de transmisión (k_t) y de reflexión (k_r) calculados para cada prueba en laboratorio para las placas con y sin vegetación, respectivamente. Los ejes de las abscisas corresponden al parámetro de la separación entre placas. El valor $2S/L_p = 0.2$ corresponde a las pruebas con un solo obstáculo, mientras que los valores restantes son de las pruebas con dos placas. El eje de las ordenadas corresponde al valor de los coeficientes k_t y k_r . Se puede observar que la placa individual permitió una menor transmisión de energía y en general una mayor reflexión en ambas gráficas, además de que en la gráfica de las placas con vegetación se tienen menores coeficientes de transmisión (k_t) y de reflexión (k_r) en comparación cuando no tiene vegetación.

Figura 2

Coeficientes de transmisión (gris) y reflexión (negro) de todas las pruebas experimentales. A) coeficientes de las pruebas de los obstáculos tipo placa (OTP); B) coeficientes de las pruebas de los obstáculos tipo placa con vegetación (OTPV).



A



B

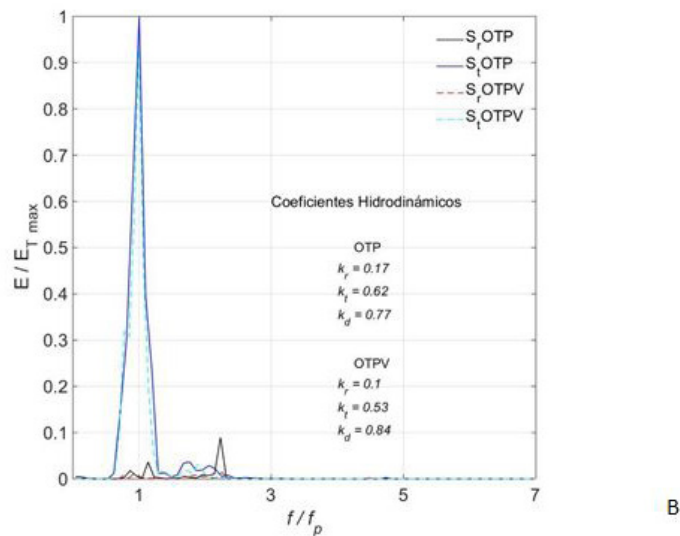
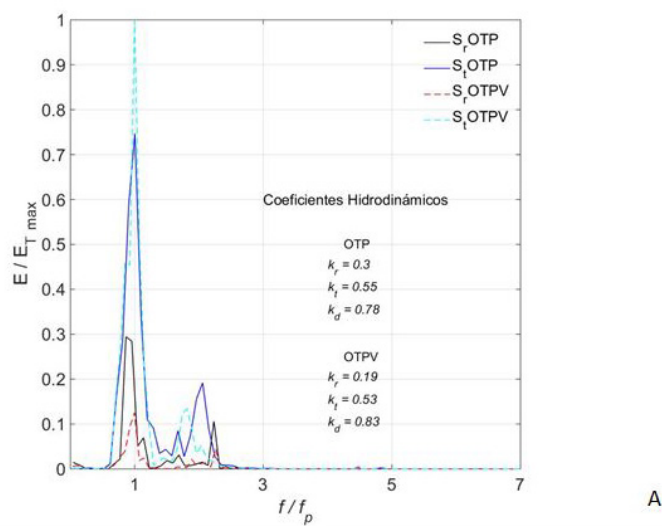
Espectros de oleaje

Se obtuvieron gráficas comparativas de los espectros reflejado y transmitido de dos pruebas con las mismas características en cuanto al oleaje generado, posición y tamaño de la placa, siendo la única diferencia que a una de las pruebas se incluyó vegetación en la parte superior de la placa. Dichas gráficas comparativas se pueden dividir en dos grupos, el primero de ellos que representa el 66% de los pares de pruebas que se están comparando, es cuando el pico del espectro transmitido fue mayor en las placas con vegetación (figura 3-A), por lo que sus ejes de las abscisas están normalizados al valor máximo de este espectro. Esta separación de grupos sugiere que las placas sin vegetación por lo general redistribuyen la energía hacia frecuencias más altas, dicho de otra forma, las olas largas se transforman en varias más cortas. Esto ocurrió especialmente cuando la placa estaba en la mayor sumersión ($d_s/h = 0.10$). Por otro lado, todas las pruebas con placas con vegetación obtuvieron menores coeficientes de transmisión, pero sin mucha redistribución de energía a frecuencias más altas.

Respecto al segundo grupo (figura 3-B), el pico del espectro transmitido es mayor en las placas sin vegetación por lo que sus ejes de las abscisas están normalizados con el valor máximo del espectro obtenido en este caso. Esto se presentó en la separación $2S/L_p = 0.2$ cuando la placa estaba en la mayor sumersión ($d_s/h = 0.10$).

Figura 3

A) ejemplo del primer grupo de espectros reflejado y transmitido;
B) ejemplo del segundo grupo de espectros reflejado y transmitido. Los espectros en el eje de las ordenadas están normalizados con la máxima energía ($E_{\max}$) del espectro.



Discusiones

Comparación entre una y dos placas

La figura 2 A-B muestra la variación de los coeficientes hidrodinámicos al variar $2S/L_p$. Cuando dicho parámetro tiene valor cero, representa los experimentos con una sola placa, la cual tiene el doble de longitud que las utilizadas en pareja. Se puede observar que en general, las placas solitarias tuvieron un mejor desempeño para bloquear la energía del oleaje, esto debido probablemente a que tienen la suficiente longitud para permitir el rompimiento parcial de las olas. Dicho resultado concuerda con lo reportado previamente por Verduzco-Zapata *et al.* (2015). Sin embargo, se esperaba que al utilizar un par de placas se obtuviera un nivel de disipación similar, debido a la posible turbulencia que se formaría alrededor y entre las placas, además de la presencia de una posible condición de resonancia al separar los obstáculos a $2S/L_p$ igual a 1.0 y 2, la cual desencadenaría la reflexión Bragg, que a su vez potenciaría el bloqueo de energía. Esta condición no se observó en los experimentos por lo que no implicó una mejora en su capacidad como elemento de protección costera. Además, fue notoria la falta de rompimiento de las olas que provoquen una mayor disipación y por ende se reduzca el k_r . La ausencia de la reflexión Bragg podría ser consecuencia del número y de las dimensiones pequeñas de las placas, además de que los trenes de olas analizados corresponden a un oleaje irregular, lo que probablemente no desencadena las condiciones necesarias para notar un incremento en la reflexión. Por otra parte, Ouyang *et al.* (2015) sí reportaron la ocurrencia de resonancia al utilizar un par de obstáculos rectangulares (tipo caja) colocados en la superficie parcialmente sumergidos. Concluyeron que la reflexión Bragg depende en gran medida de la longitud y el espaciamiento de la placa, así como de la posición de la línea de flotación. Lo anterior da pie para continuar con los experimentos y con ello identificar las condiciones óptimas para reproducir resultados similares.

Los resultados sugieren que un par placas tienen un comportamiento similar en todas las pruebas, con un k_r bajo y un k_t cuasi constante de 0.61 y 0.80 en promedio con un $\bar{d}_s/h$ de 0.10 y

0.05 respectivamente. Con base en la variación observada en las pruebas, se recomienda utilizar la configuración de una sola placa, colocada a una profundidad relativa de 0.05. En caso de no ser posible esta configuración, se optaría por el uso de un par de placas con menor espaciamiento, entre 0.25 y $0.5 L_p$ ($2S/L_p = 0.5$ y 1 , respectivamente) y $d_s/h = 0.05$, ya que con dicha configuración se logra prácticamente el mismo valor de k_t que se obtiene con una sola placa, inclusive con un k_r menor, con la ventaja de que se espera que un obstáculo más pequeño conlleve a fuerzas dinámicas menores, lo que se traduciría en un sistema estructural y de anclaje de la placa más económico.

Comparación entre placas con y sin vegetación

La figura 2 muestra como las placas mejoraron su desempeño al ser coronadas con vegetación, esto se ve reflejado en que todas las pruebas obtuvieron coeficientes de transmisión y reflexión menores. Estos resultados concuerdan con lo reportado previamente por Beena *et al.* (2015), quienes reportaron casi un 50% menos transmisión del oleaje al usar vegetación.

Los resultados indican que la placa juega el papel más importante mientras que la vegetación tiene un papel complementario al atenuar la energía del oleaje, tal como lo sugiere el trabajo de Chen *et al.* (2016). El desempeño mejoró especialmente cuando la separación entre las placas era ($2S/L_p = 0.2$) o dicho de otra forma cuando era una placa larga, ya que de manera general en esta separación disminuyó mucho más el coeficiente de reflexión y transmisión a comparación del uso de un par de placas pequeñas y sus respectivas separaciones. Los resultados sugieren que el uso de vegetación en las placas hace que sea menos influyente la altura de la ola, la sumersión del obstáculo y la separación de las placas en los coeficientes de reflexión, al obtener valores bastante cercanos en comparación a los obtenidos con las placas sin vegetación, esto se puede observar en la figura 2-A, en términos generales cuando se utilizan dos placas pequeñas con vegetación la separación $2S/L_p$ de 0.5 se obtuvieron mejores resultados en comparación con las otras cuatro separaciones propuestas.

Análisis espectral

Se puede observar en la figura 3 los espectros de un par de pruebas con las mismas características de sus placas y del oleaje generado, con la única diferencia que a una se le colocó vegetación y a la otra no. En este caso el valor máximo corresponde al espectro transmitido OTP que corresponde a las placas sin vegetación, por lo que el eje de las ordenadas está normalizado con el máximo de dicho valor. El 66% de los 24 pares evaluados presentan esta condición, que por lo general se presentaron cuando las placas se encontraban en su mayor sumersión ($d_s/h = 0.10$), y en todas las pruebas cuando se utilizó un par de placas cortas con su mayor separación ($2S/L_p = 2.5$). En el otro 33% de los pares evaluados, sus ejes de las ordenadas se normalizaron con el máximo del espectro transmitido OTPV que corresponde a las placas con vegetación, que por lo general ocurrió en la menor sumersión del obstáculo ($d_s/h = 0.05$), esto se puede observar en la figura 3-A.

Verduzco-Zapata *et al.* (2012) sugiere que la interacción del oleaje con el rompeolas tipo placa provoca alta probabilidad de transferencia de energía a frecuencias más altas a causa de interacciones no lineales, al cumplirse la condición de que el número de Urcell (Ur) sea menor a 1, y el coeficiente de transmisión (k_t) menor a 0.77. Los resultados muestran que las pruebas donde $2S/L_p = 0.2$ o dicho de otra forma, cuando se utilizó la placa larga, fueron las únicas en las que se cumplieron las condiciones antes mencionadas y se presentó una transferencia de energía a frecuencias más altas, debido a que el ancho de la placa en comparación de la longitud de la onda, es suficiente como para modificar la distribución de la energía de las olas, de tal forma que la placa larga provoca que una onda larga se transforme en olas más chicas. Esto se puede observar en la figura 3-A, concordando con lo encontrado por Verduzco-Zapata *et al.* (2012). Sin embargo, las pruebas con un par de placas sin vegetación en la sumersión $d_s/h = 0.1$, sí cumplieron con las condiciones del número de Urcell y el coeficiente de transmisión, pero en sus espectros no se observa una transferencia de energía importante a frecuencias más altas, esto en parte a que las placas son demasiado cortas.

Conclusiones

El uso de vegetación en la parte superior de las placas mejora su desempeño, ya que en todas las pruebas se obtuvo una menor transmisión y reflexión, por ende mayor disipación. Se observó que una placa larga es mejor para bloquear la energía del oleaje, produciendo una menor transmisión de energía, pero una mayor reflexión. Si existen inconvenientes estructurales para el uso de una sola placa, se sugiere el uso de un par de placas cortas separadas a una distancia correspondiente al 25 o 50% de la longitud de la onda incidente, colocadas a una profundidad relativa $d_s/h = 0.05$, ya que con esta configuración se alcanzan niveles de transmisión similares a los obtenidos con una sola placa. El usar placas cortas puede reducir las fuerzas dinámicas inducidas por el oleaje, lo que impactaría en el costo de los materiales que conforman el sistema estructural de las placas, así como en su sistema de anclaje.

Agradecimientos

Este trabajo se desarrolló como parte del programa de investigación del Grupo de Estudio del Oleaje (geo.ucol.mx) de la Facultad de Ciencias Marinas y financiado por CONACyT (Proyecto CB-256802). Se agradece a FACIMAR por las facilidades proporcionadas para el acceso al laboratorio de Hidráulica Marina (Oceanología Regional) para los experimentos en el canal de oleaje. Los autores aprecian la ayuda proporcionada por los estudiantes durante la etapa experimental.

Literatura citada

- Augustin, L. N., Irish, J. L., & Lynett, P. (2009). Laboratory and numerical studies of wave damping by emergent and near-emergent wetland vegetation. *Coast. Eng.*, 56(3), 332–340.
- Beena M. J., Kiran G., Rao, S. (2015). Effect of Artificial Sea Grass on Wave Attenuation- An Experimental Investigation. *Aquatic Procedia*, 4, 221–226.
- Blackmar, P., Cox, D., Wu, W. (2014). Laboratory observations and numerical simulations of wave height attenuation in heterogeneous vegetation. *J. Waterw. Port Coast. Ocean Eng.*, 140 (1), 56–65.
- Chen, X., Chen, Q., Zhan, J., Liu, D. (2016). Numerical simulations of wave propagation over a vegetated platform. *Coastal Engineering*, 110, 64–75.
- D'Angremond, K., VanderMeer, J., DeJong, R. (1996). Wave transmissional low-crested structures In *Proceedings. 25th. International Conference on Coastal Engineering*, 119, 3305–3318.

- Fatimah, E., Khairi, A., Wahab, A., Ismail, H. (2008). Numerical modeling approach of an artificial mangrove root system (ArMS) submerged breakwater as wetland habitat protector. COPEDEC VII, 1-20.
- Goda, Y. (2000). Random seas and design of maritime structures. World Scientific. Singapore.
- Koftis, T., Prinos, P., Stratigaki, V. (2012). Wave damping over artificial Posidonia oceanica meadow: a large-scale experimental study. Coastal Engineering, 73.
- Ling, Z., Chen, Q. (2015). Numerical Modeling of Surface Waves over Submerged Flexible Vegetation. Journal of Engineering Mechanics, 141(8).
- Liu, C., Huang, Z., Keat Tan, S. (2009). Nonlinear scattering of non-breaking waves by a submerged horizontal plate: Experiments and simulations. Ocean Engineering, 36(17-18), 1332-1345.
- Liu, Y., Li, H., Li, Y. (2012). A new analytical solution for wave scattering by a submerged horizontal porous plate with finite thickness. Ocean Engineering, 42, 83-92.
- Mai, S., Ohle, N., Zimmermann, C. (1999). Applicability of waves models in shallow coastal waters. 5th International COPEDEC 1999, 170-179.
- Mansard, E., Funke, E. (1980). The measurement of incident and reflected wave spectra using a least squares method. Proceedings of the 17th International Conference on Coastal Engineering (pp. 154-172).
- Mei, C., Hara, T., Naciri, M. (1988). Note on Bragg scattering of water waves by parallel bar son the seabed. Journal of Fluids Mechanics, 186, 147-162.
- Méndez, F., Losada, I., Losada, M., 2004. Hydrodynamics induced by wind waves in a vegetation field. J. Geophys. Res., 104 (C8), 18383-18396.
- Ozeren, Y., Wren, D., Wu, W. (2014). Experimental Investigation of Wave Attenuation through Model and Live Vegetation. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 140(5).
- Patarapanich, M., Cheong, H. (1989). Reflection and transmission characteristics of regular and random waves from a submerged horizontal plate. Coastal Engineering, 13(2), 161-182.
- Sendil, U., Graf, W. (1974). Transmission of regular waves past floating plates. In Proceedings XIV Conference Coastal Engineering (pp. 1924-1936).
- Sendil, U., Graf, W. (1975). Transmission of regular waves past fixed plates. Proceedings XVI Congress of Int. Association of Hydraulic Research (pp. 254-261).
- Stoker, J. (1957). Water Waves - The Mathematical Theory with Applications. USA: Publishers, Interscience.
- Sundar, V., Dakshinamoorthy, S. (1980). Wave Transmission Characteristics of Fixed and Floating Breakwaters. In 7th Australasian Hydraulics and Fluid Mechanics Conference (pp. 56-59).
- Teh, H. (2013). Hydraulic performance of free surface breakwaters: A review. Sains Malaysiana, 42(9), 1301-1310.
- Van der Meer, J., Briganti, R., Zanuttigh, B., Wang, B. (2005). Wave transmission and reflection at low-crested structures: Design formulae, oblique wave attack and spectral change. Coastal Engineering, 52, 915-929.

- Verduzco-Zapata, M., Ocampo-Torres, F., Osuna, P., Parés-Sierra, A., Kawasaki, K. (2012). Practical estimation of wave and reflection from submerged structures. *Ocean Engineering*, 45, 63–74.
- Verduzco-Zapata, M., Ocampo-Torres, F., Osuna, P., Parés, A. (2015). Descripción y análisis de la transmisión de la energía del oleaje irregular debido a su interacción con obstáculos rectangulares sumergidos. R. Sosa Ávalos & M. G. Verduzco-Zapata (Eds.), *Estudios acuícolas y marinos en el Pacífico mexicano* (pp. 275–292). Colima: Universidad de Colima.
- Verduzco-Zapata, M., Ocampo-Torres, F., Mendoza, E., Silva, R., Cabello, L., Torres, E. (2017). Optimal submergence of horizontal plates for maximum wave energy dissipation. *Ocean Engineering* 142, 78-86.
- Zheng, Y., Liu, P., Shen, Y., Wu, B., Sheng, S. (2007). On the radiation and diffraction of linear water waves by an infinitely long rectangular structure submerged in oblique seas. *Ocean Engineering*, 34(3–4), 436–450.

Simulación numérica tridimensional
de un sistema de bombeo
para desalinización de agua marina
impulsado por oleaje
*Three-dimensional numerical simulation
of a pumping system for desalination
of seawater driven by waves*

Manuel Gerardo Verduzco-Zapata^{1*}
Juan Carlos Alcérreca-Huerta²
Julieta Hernández-López¹

¹ Facultad de Ciencias Marinas, Universidad de Colima, Carretera Manzanillo-Barra de Navidad km 19.5 Colonia El Naranjo. C.P. 28860, Manzanillo, Colima, México. Correo e: manuel_verduzco@ucol.mx.

² Departamento de Sistemática y Ecología Acuática, CONACYTECOSUR. Av. Centenario km 5.5, CP 77014, Chetumal, Quintana Roo.

Resumen

La escasez de agua potable y la falta de un aprovechamiento responsable del recurso hídrico son elementos que merman el desarrollo y calidad de vida de la población, tanto en México como a nivel global. Zonas costeras han implementado el desarrollo de plantas desalinizadoras a nivel industrial, aunque la energía requerida para su funcionamiento se basa en combustibles fósiles con la consecuente emisión de gases de efecto invernadero. El uso de la energía marina como alternativa para el funcionamiento ha sido explorado en estudios previos. A pesar de lo anterior, es requerido mejorar el entendimiento de estos sistemas para promover la competitividad y factibilidad económica de los desarrollos. Por ello, el presente estudio se enfoca en el uso de herramientas computacionales para la simulación numérica de un sistema de bombeo impulsado por la acción del oleaje, considerando para ello la tridimensionalidad de los elementos y de los procesos mecánicos e hidrodinámicos. El sistema buscará desalinizar agua de mar mediante ósmosis inversa y a través de un sistema de bombeo activado por el movimiento orbital del oleaje. La optimización de los diseños y el funcionamiento del desarrollo consideran condiciones de oleaje poco energético, como los encontrados en el Pacífico Central Mexicano. La cuantificación de las fuerzas máximas en las líneas de anclaje y del PTO (sistema de transmisión de potencia), ha permitido establecer la capacidad del sistema para presurizar el agua marina y dar pie al proceso de desalinización y obtención de agua potable.

Palabras clave

CEO; sistema de bombeo por olas; desalinización; Flow-3D; modelación numérica.

Abstract

The scarcity of water and the lack of water management strategies have negatively impacted the development and quality of life of the population, both in Mexico and globally. Coastal areas have implemented the development of industrial desalination plants, although the energy required for their operation is based on fossil fuels with the consequence of greenhouse gas emissions. Marine energy as an alternative for their operation has been explored in previous studies. However, a better understanding of these systems is needed to promote the competitiveness and economic feasibility of the developments. Therefore, the present study focuses on the use of computational tools for the numerical simulation of a pumping system driven by wave action, for which a 3-dimensional analysis of the elements as well as the mechanical and hydrodynamic pro-

cesses can be accurately analyzed. The system could desalinate sea water considering reverse osmosis and a pumping system activated by the wave's orbital motion. The optimization of the designs and their operation is based on low wave energy conditions such as those found in the Central Pacific of Mexico. The quantification of the maximum forces in the anchoring lines and the PTO (power take-off system) allowed establishing the capability of the system to pressurize the seawater and to start the desalination process.

Keywords

WEC; wave driven pump; desalination; Flow-3D; numerical simulation.

Introducción

En México y en el mundo existe un importante déficit en el suministro de agua potable asociado a circunstancias geográficas, políticas, económicas y culturales. La escasez de agua, ya sea por sobreexplotación, falta del recurso natural o de infraestructura, conlleva a problemas de salud y a una reducción de la calidad de vida de la población. La adopción e implementación de estrategias para el uso adecuado del recurso hídrico (p.ej. generación de una cultura del agua) resulta entonces esencial, aunado a la búsqueda de nuevas fuentes de suministro de agua potable basadas en un aprovechamiento sostenible. Al respecto, en algunas zonas costeras se ha optado por la puesta en marcha de plantas desalinizadoras a nivel industrial. Sin embargo, el proceso de desalinización genera un alto consumo energético contribuyendo a la emisión de gases de efecto invernadero, pues la fuente de energía normalmente es originada a partir de combustibles fósiles. Es por ello que resulta indispensable generar, desarrollar y madurar la tecnología asociada al aprovechamiento de energías renovables, así como analizar la factibilidad de su implementación en sistemas de desalinización.

El aprovechamiento de energía marina para la activación de un sistema de bombeo que presurice el agua de mar lo suficiente para permitir su paso a través de membranas de ósmosis inversa ha sido aprovechado en estudios previos; no obstante, el desarrollo e investigación aún son necesarios a fin de generar tecnología que permita obtener agua potable a precios competitivos. Uno

de los primeros sistemas impulsado por la energía de las olas para desarrollar el proceso de desalinización es el DELBUOY (Hicks *et al.*, 1989), que consiste en una boya ligada a un pistón para presurizar el agua marina. Otros dispositivos desarrollados en las últimas décadas son el Mc-Cabe Wave Pump (Brooke, 2003), dispositivo compuesto por tres plataformas flotantes de acero, cuyo movimiento relativo aprovecha la energía del oleaje mediante pistones hidráulicos; el Wave-Jet (Davies, 2005), que aprovecha el gradiente hidráulico generado por la diferencia de altura entre el nivel del mar y un depósito elevado a donde se descarga fluido a través de un amplificador de oleaje; y de forma reciente, el CETO (Karimirad, 2014), que por medio de una boya sumergida activa una bomba hidráulica capaz de presurizar el agua de mar y enviarla a una estación en tierra. Estos dispositivos convertidores de energía del oleaje (CEO) pertenecen a la categoría de *absorbedores puntuales* y son caracterizados por pequeñas dimensiones en comparación con la longitud de las olas con las que interactúan (Falnes, 2007).

En esta investigación se aborda el desarrollo de un CEO de esta categoría, y se emplea un modelo numérico tridimensional (FLOW-3D) para estimar la eficiencia de este tipo de prototipos (Pilechi *et al.*, 2017). El crecimiento acelerado en el área de la computación ha permitido el uso más común de estas herramientas para representar de forma correcta y adecuada el mecanismo de funcionamiento del modelo que se pretende estudiar. De particular interés es la representación a detalle del movimiento acoplado del sistema de transmisión de potencia o PTO (por sus siglas en inglés) con el movimiento del oleaje. En investigaciones anteriores se ha optado por simplificar los sistemas de anclaje y el PTO mediante el uso de resortes y/o cuerdas. Al respecto, Verduzco-Zapata y Ocampo-Torres (2015) exploraron la posibilidad de utilizar el concepto de la Plataforma Stewart Gough (Fitcher, 1986) con la finalidad de extraer energía del oleaje multi-direccional. Dicho desarrollo permite el aprovechamiento del movimiento de los seis grados de libertad del sistema de boyas, las cuales se unen al fondo marino mediante seis actuadores. Para representar dichos elementos se utilizaron cuerdas, permitiendo simplificar y cuantificar la hidrodinámica del dispositivo, sin considerar el amortiguamiento de los

actuadores. Por otro lado, Verduzco-Zapata *et al.* (2017) estudiaron la eficiencia de tres boyas independientes de distintas dimensiones para estimar la fuerza requerida por un PTO para conducir la presurización del agua marina y su emisión hacia las membranas de ósmosis inversa. Para ello se consideró: a) un resorte de extensión y compresión representando un carrete de anclaje que permite a la boya adaptarse a los movimientos verticales debido al oleaje o a las distintas fases de la marea; y b) una cuerda que restringe el movimiento únicamente cuando es estirada, a fin de representar el efecto del PTO. Es importante mencionar que tanto la cuerda como el resorte se supusieron con masa nula y actuantes en línea recta desde el punto de anclaje hasta la boya. A pesar de los estudios antes mencionados, es requerido mejorar el entendimiento de la hidrodinámica de los prototipos y del funcionamiento de los PTOs, con el fin de proporcionar diseños eficientes aún en condiciones de oleaje poco energético, como las que se pueden encontrar en el Pacífico central mexicano. Así, el objetivo del presente trabajo es evaluar la eficiencia del CEO para presurizar el agua marina para su uso en un sistema de desalinización de ósmosis inversa por medio de la cuantificación de las fuerzas máximas obtenidas en la línea de anclaje y el PTO. Para ello, se implementó un software hidrodinámico tridimensional de última generación con la finalidad de analizar la respuesta del dispositivo, optimizar su diseño y en una segunda etapa, validar su funcionamiento con pruebas en laboratorio.

Metodología

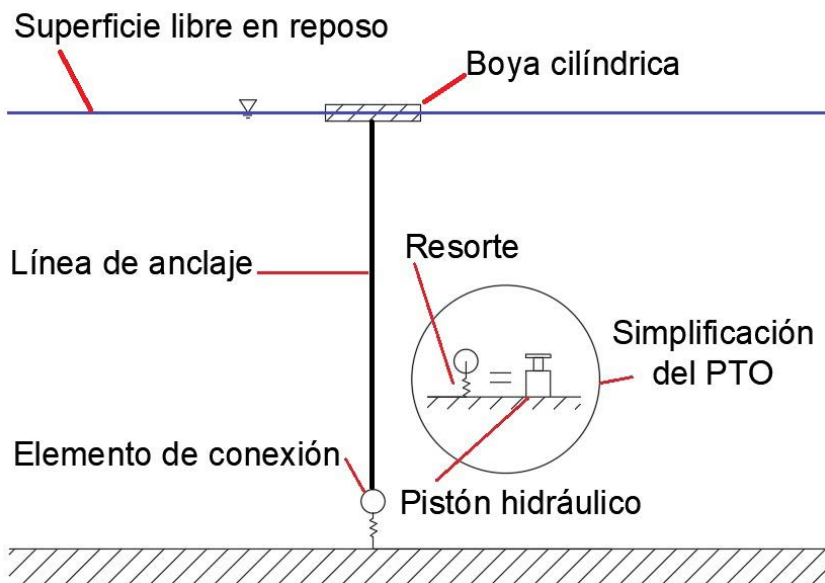
Para la cuantificación de las fuerzas aplicadas en la línea de anclaje y PTO se llevaron a cabo simulaciones numéricas tridimensionales con el software CFD FLOW-3D. Para las mismas, fue requerido establecer la configuración de: 1) el sistema de bombeo y sistema CEO y 2) el canal de oleaje en el que son colocados los sistemas.

Configuración del sistema CEO y de bombeo

El CEO consta de una boya cilíndrica de 1.0 m de radio y 0.35 m de alto, que en su estado de reposo tiene su eje longitudinal paralelo al eje vertical. Su densidad relativa es de 0.5, mientras que la del

fluido circundante es de 1.0. La boya está unida al PTO mediante una cuerda de 9.0 m de largo y 0.025 m de diámetro, con una densidad $\rho = 0.39 \text{ kg/m}^3$ y un coeficiente de restitución $C_{R, \text{cuerda}} = 2.16 \times 10^6 \text{ N/m}$. El movimiento de dicho elemento es semi-acoplado, es decir, el flujo únicamente afecta el movimiento de la cuerda y ésta no tiene efecto en el flujo. Por su parte, el PTO está representado por un resorte de extensión y compresión (sin masa) con un coeficiente de restitución $C_{R, \text{PTO}} = 4,400 \text{ N/m}$. La consideración de la línea de anclaje independiente del resorte representa un avance con respecto a investigaciones previas, y donde dichos elementos se encuentran conectados mediante un elemento móvil (con densidad relativa de 1.0 y diámetro de 0.5 m) que responde directamente a las fuerzas aplicadas tanto por el PTO como por el movimiento de la boya y del flujo circundante (figura 1).

Figura 1
Sistema de anclaje y del PTO del prototipo.



Configuración del canal de oleaje y tren de olas

Para estudiar la interacción de estos elementos con un tren de olas se utilizó un canal de oleaje implementado con el modelo numérico comercial FLOW-3D, el cual resuelve las ecuaciones de continuidad y de Navier-Stokes en sus tres dimensiones mediante esquemas de diferencias finitas, utilizando mallas estructuradas con celdas rectangulares de dimensión variable. Asimismo emplea los métodos VOF (Hirt y Nichols, 1981), FAVOR (Hirt y Sicilian, 1985) y GMO (Wei, 2005) para el cálculo de la evolución de la superficie libre, representar la geometría de sólidos y estimar su movimiento debido a su interacción con el oleaje, respectivamente. Las formulaciones matemáticas se describen en detalle en el User Guide del software FLOW-3D (Flow-Science, 2014).

Las posiciones iniciales de la boya y la conexión estuvieron en las coordenadas (0,0,0) y (0,0,-9), respectivamente. Por otro lado, el canal para la propagación del tren de olas consideró una longitud de 300 m, un ancho de 16 m y una altura de 13 m, dividido en tres bloques con resoluciones diferentes. El bloque I abarca de la coordenada -130 a +25 m en el eje de las X (eje longitudinal del canal), en Y (eje transversal del canal) de -8 a +8 m y en Z (eje vertical del canal) de -10 a +3 m, con una resolución de medio metro. De manera anidada se encuentra el bloque II, que abarca en X de -8 a +8 m, en Y de -4 a +4 m y en Z de -10 a +2 m, con una resolución de 0.06 m. Por último, se definió el Bloque III, que se extiende en X de +25 a +170, en Y de -8 a +8 m y en Z de -10 a +3 m, con una resolución de 1 m. La resolución del bloque I permite una adecuada propagación del oleaje, mientras que la del bloque II es necesaria para resolver el movimiento de la boya y del elemento de conexión entre la línea de anclaje y el PTO. Por último, la malla más gruesa ubicada en el bloque III, permitió ahorrar recursos computacionales y ayudar a la difusión numérica del oleaje, por lo que se empleó como una región de amortiguamiento.

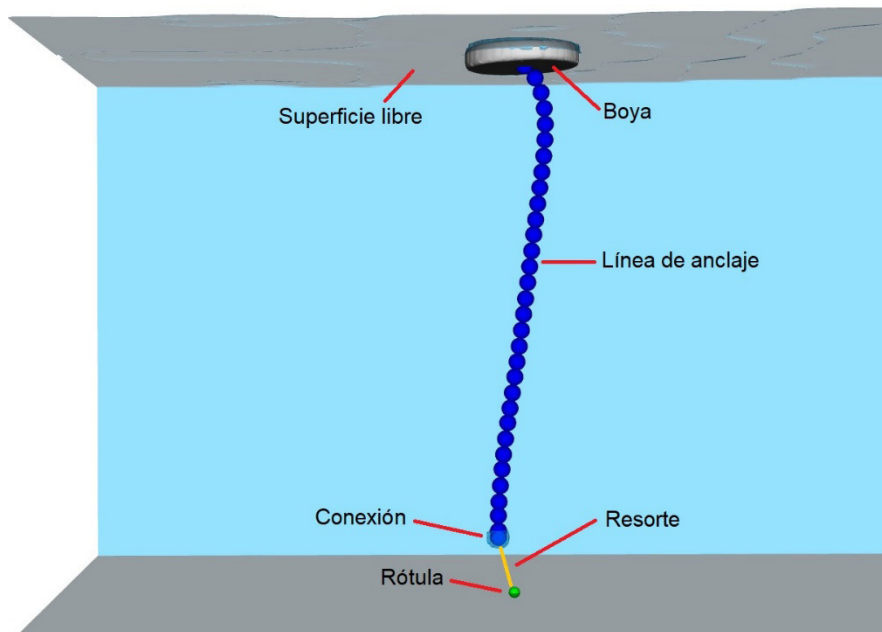
Como condiciones de frontera se utilizó de impenetrabilidad y no deslizamiento tanto en el fondo del canal como en la superficie de la boya. En las paredes del canal se permitió la condición de libre deslizamiento. En la frontera de entrada ($X = -130$ m) se forzó el modelo con un oleaje regular con alturas $H = 0.70$,

1.06 y 1.41 m, con un periodo $T=10$ s (caso 1, 2 y 3, respectivamente). En la frontera de salida ($X = +170$ m) se optó por utilizar una condición de radiación tipo *Sommerfeld* además de una esponja numérica la cual se extendió aproximadamente 1.5 veces la longitud de onda incidente desde el extremo del canal hacia el interior del dominio, esto con la finalidad de minimizar las reflexiones numéricas. En cada experimento el paso de tiempo fue dinámico (no constante) con la finalidad de garantizar el cumplimiento de la condición de *Courant*. Como condición inicial se definió una columna de agua de 10 m, siendo los niveles 0 y -10 los correspondientes a la superficie libre y el fondo del canal, respectivamente.

Resultados

Los resultados de las simulaciones dan información a detalle acerca del comportamiento del CEO y sus componentes al interactuar con el oleaje. En la figura 2 se puede observar, en el tiempo (t) igual a 48s, la posición de la boya y su sistema de anclaje incluyendo el PTO. En este caso se muestra la deflexión de la línea debida a las fuerzas que actúan en ella, provenientes del PTO, la boya y el flujo a su alrededor. En la figura 3 se detallan las fuerzas medidas en la línea de anclaje en cada caso, las cuales reportan valores máximos por arriba de los 35 kN. Esta información es de gran utilidad para poder seleccionar adecuadamente las propiedades de la cuerda que se utilice en las pruebas físicas.

Figura 2
Posición de la boya y el PTO en $t = 48$ s, donde se observa la deflexión de la línea de anclaje debido al movimiento de la boya y el flujo.



En la figura 4 se pueden observar las fuerzas calculadas en el PTO, que en su mayoría fueron de tensión, siendo mínimas las de compresión. Como era esperado, las fuerzas más grandes con valores máximos por encima de $F = 4$ kN se obtuvieron en condiciones con alturas de ola $H = 1.41$ m (caso 3), mientras que para $H = 0.70$ m (caso 1, asociado a oleaje menos energético) los valores máximos reportados estuvieron cerca de los 2 kN.

Figura 3
Fuerzas obtenidas en la línea de anclaje.

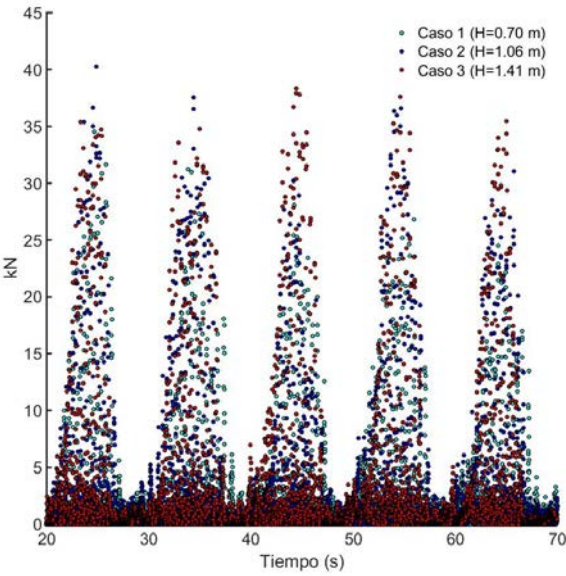
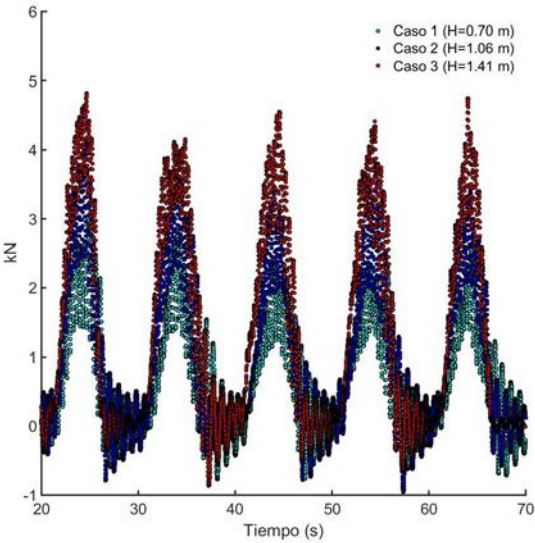


Figura 4
Fuerzas obtenidas en el PTO.



Discusiones

La implementación numérica de los sistemas de anclaje y del PTO claramente muestra ventajas sobre las simplificaciones hechas previamente en otras investigaciones. La configuración propuesta permite estudiar por separado las fuerzas que se obtienen en la cuerda de anclaje y en el PTO. Es importante mencionar que la exactitud del método depende en gran medida en la resolución de la malla que se utilice. En este trabajo se empleó un refinamiento de la malla para obtener celdas de 0.06 m el cual es adecuado para reproducir el movimiento de la boya, pero probablemente no sea adecuado para la estimación de la dinámica del elemento de conexión entre la línea de anclaje y el PTO. Esta posibilidad se plantea debido a las señales de alta frecuencia (vibraciones) que se observan en las fuerzas calculadas en el PTO (figura 4) particularmente aquellas con una magnitud inferior a $F = 1.0$ kN, que puede estar asociado a ruido numérico. A pesar de lo anterior, el cálculo de las fuerzas máximas no es afectado tanto en la línea de anclaje como en el PTO, aunque la validación de información de dichos valores y del funcionamiento hidrodinámico sería posible con datos de laboratorio.

Dentro de los casos analizados se tiene que para el caso 1, las fuerzas máximas obtenidas en el PTO estuvieron por arriba de los 2.0 kN, mientras que para los casos 2 y 3 sobrepasan los 3.0 y 4.0 kN, respectivamente. Estos valores exceden el valor requerido estimado de 1.65 kN para presurizar el agua de mar lo suficiente para llevar a cabo el proceso de ósmosis inversa (Verduzco-Zapata *et al.*, 2017). Con base en los resultados, se sugiere que el sistema PTO sea de simple efecto, es decir, que presurice al fluido cuando el pistón sea tirado por la boya. Por otro lado, en caso de requerirse un sistema de doble efecto con la finalidad de presurizar con el movimiento de contracción del pistón, es necesario modificar el diseño para obtener fuerzas de compresión similares a las de tensión. Esto probablemente pudiera llevarse a cabo al cambiar el coeficiente de resorte del PTO y al alargar la línea de anclaje, lo que permitiría que el sistema se estabilizara después del paso de cada ola.

Por otra parte, y considerando los resultados, se puede inferir que el diseño de la boya es adecuado para estados de mar asociados a oleaje poco energético, preferentemente con alturas de ola $H > 1.0$ m, ya que las fuerzas máximas obtenidas para el caso 1 ($H = 0.70$ m), fueron cercanas a la fuerza mínima requerida para llevar a cabo el proceso de desalinización.

Conclusiones

En esta primera etapa de simulación numérica, se observó que el tamaño de boya, el tipo de sistema de anclaje y el PTO, proporcionan la fuerza requerida para presurizar el agua de mar y que el flujo pase a través de las membranas de ósmosis inversa. A pesar de lo anterior, se recomienda el uso de este sistema en oleaje con alturas mayores a $H > 1.0$ m. Debido a que las fuerzas máximas ocurrieron únicamente a tensión, se recomienda utilizar un PTO de efecto simple, aunque es posible modificar algunas características del prototipo con la finalidad de incrementar su eficiencia para obtener un balance entre fuerzas de compresión y tensión en el PTO e implementar un diseño de doble efecto.

La necesidad de conducir estudios de laboratorio, así como un mayor número de simulaciones numéricas permitirá conducir un mejor proceso de optimización del sistema. La extensión para cubrir una mayor gama de condiciones de oleaje es requerida antes de definir un diseño final para utilizarse en un escenario a escala real. Asimismo, esto permitirá, además, validar la información con la que se cuenta, avanzar en el conocimiento de las respuestas hidrodinámicas del sistema y con ello modificar el prototipo del PTO y la línea de anclaje para que el CEO funcione inclusive con oleaje menor a un metro de altura.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado con financiamiento de CONACYT (proyecto PN-2015-01-674) y de CONACYT-SENER (CEMIE-O). Los autores agradecen al grupo de oleaje (geo.ucol.mx) por el acceso brindado a sus servidores para la realización de los experimentos numéricos.

Literatura citada

- Brooke, J. (2003). Wave energy conversion, 1st ed. Elsevier Science, Hungary.
- Davies, P. (2005). Wave-powered desalination: resource assessment and review of technology. *Desalination* 186, 97–109.
- Falnes, J. (2007). A review of wave-energy extraction. *Marine structures* 20, 185–201.
- Fitcher, E. (1986). A Stewart Platform-Based Manipulator: General Theory and Practical Construction. *The International Journal of Robotics Research* 5, 157–182.
- Flow-Science (2014). FLOW-3D user manual.
- Hicks, D., Mitcheson, G., Pleass, C., Salevan, J. (1989). Delbouy: ocean wave-powered seawater reverse osmosis desalination systems. *Desalination* 73, 81–94.
- Hirt, C., Nichols, B. (1981). Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. *Journal of Computational Physics* 39, 201–225.
- Hirt, C., Sicilian, J. (1985). A porosity technique for the definition of obstacles in rectangular cell meshes.
- Karimirad, M. (2014). Offshore energy structures: for wind power, wave energy and hybrid marine platforms. Springer, Switzerland.
- Pilechi, A., Baker, S., Cornett, A. (2017). Validation of a CFD Tool for Studying the Behaviour of Wave Energy Converters. *Proceedings of the 12th European Wave and Tidal Energy Conference*. 1–10.
- Verduzco-Zapata, M.; Ocampo-Torres, F. (2015). Study of a 6 DOF wave energy converter interacting with regular waves using 3D CFD, in: *Proceedings of the 11th European Wave and Tidal Energy Conference*. pp. 1–6.
- Verduzco-Zapata, M., Ocampo-Torres, F.J., Matthews, C., Olivos-ortiz, A., Diego, E. (2017). Development of a Wave-Powered Desalination Device : Numerical Modelling, in: *Proceedings of the 12th European Wave and Tidal Energy Conference*. Cork, Ireland, pp. 1–9.
- Wei, G. (2005). A fixed-mesh method for General Moving Objects (Technical note FSI-05-TN73).

Conclusiones

Los océanos son una fuente interminable de conocimientos, México cuenta con más de 11,000 km de línea de costa, por lo que es necesario incentivar a realizar investigaciones marinas y a divulgarlas. Actualmente se abordan diversas líneas de investigación para el estudio de los océanos de México. Sin embargo, aún queda mucho trabajo por hacer, muchas de estas líneas se tienen que fortalecer y en algunos casos iniciar.

Las investigaciones científicas realizadas en el océano Pacífico mexicano, son el resultado del esfuerzo de gente especializada dedicada al estudio de las distintas disciplinas enfocadas al estudio de los océanos. En este libro se presentan investigaciones recientes diversas, entre los principales aportes al conocimiento se destacan los trabajos que detallan: la ecología del plancton marino, como la depredación de copépodos sobre paralarvas de calamares como una parte importante de las redes tróficas marinas, o el análisis de especies fitoplanctónicas formadoras de florecimientos contemplando sus riesgos locales y regionales que pueden afectar áreas productivas y a la salud pública; el desarrollo sustentable de la maricultura en aguas del Pacífico mexicano a través del manejo larvario y alimentación de peces marinos, así como la implementación de sistemas de calidad en su cultivo, mejorando las sobrevivencias y su producción; y la ingeniería oceánica, proponiendo rompeolas alternativos para redistribuir la energía del oleaje y la modelación de un sistema de bombeo para la desalinización de agua marina.

Dr. Alfredo Pérez Morales
Comité Editorial

Autores/as

Abner Alain Torres Mascot

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Licenciatura
Líneas de investigación	Ciencias atmosféricas

Aída Martínez López

Nacionalidad	Mexicana
Último grado académico	Doctorado
Líneas de investigación	Ecología del fitoplancton Variabilidad y cambio climático

Publicaciones más relevantes

Aída Martínez-López, Cristian Hakspiel-Segura, Diana Cecilia Escobedo-Urías, Bárbara González-Acosta. 2017. Influence of agriculture and aquaculture activities on the response of autotrophic picoplankton in Laguna Macapule, Gulf of California (Mexico). *Ecological Processes* 6:6 DOI 10.1186/s13717-017-0074-8 (ISSN:2192-1709)

Aída Martínez-López, Irela G. Álvarez-Gómez, Pérez-Cruz Ligia, Gerardo Verdugo-Díaz, Villagas-Aguilera Ma. Magdalena. 2016. Production, exportation and preservation of silicoflagellates in Alfonso Basin, Gulf of California *Journal of Sea Research* (ISSN: 1385-1101) 109: 52-62.

Martínez-López A., D. C., Escobedo-Urías A. E., Ulloa-Pérez, R. Aguirre. 2008. Dynamics of a *Prorocentrum minimum* bloom along the northern coast of Sinaloa, Mexico. *Continental Shelf Research* (ISSN: 0278-4343) 28(16):1693-1701

Alfredo Pérez Morales

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Doctor en ciencias marinas
Líneas de investigación	Fitoplancton tóxico, toxinología, ecotoxicología y acuacultura

Publicaciones más relevantes

- Pérez-Morales, A., Band-Schmidt C. J. & Martínez-Díaz S. F. 2017. Mortality on zoea stage of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* caused by *Cochlodinium polykrikoides* (Dinophyceae) and *Chattonella* spp. (Raphidophyceae). *Marine Biology*. 164: 57. http://dx.doi.org/10.1007_s00227-017-3083-3
- Pérez-Morales, A., Band-Schmidt C. J., Ortiz-Galindo J. L. & Sobrino-Figueroa A. S. 2014. Mortality in the initial ontogeny of *Paralabrax maculatofasciatus* (Actinopterygii, Perciformes, Serranidae) caused by *Chattonella* spp. (Raphidophyceae). *Hydrobiologia* 722:247-261. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-013-1707-2>
- Pérez-Morales, A., Olivos-Ortiz, A., Quijano-Scheggia, S. I., Espinosa-Rodríguez, C. A. y Jiménez-Santos, M. A. 2016. Estado actual del estudio de cianobacterias dulceacuícolas formadoras de florecimientos en el centro de México. p. 408-421. En: García-Mendoza, E., Quijano-Scheggia, S. I., Olivos-Ortiz, A. y Núñez-Vázquez, E. J. (eds.). Florecimientos Algales Nocivos en México. Ensenada, México. CI-CESE. 438 pp.

Andrés Bany Jiménez Solar

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Bachillerato

Andrés Pacheco Ruiz

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Bachillerato

Aramis Olivos Ortiz

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Doctorado
Líneas de investigación	Distribución/disponibilidad de nutrientes inorgánicos disueltos, sus relaciones estequiométricas y su influencia en la generación florecimientos algales. Estudio de procesos biogeoquímicos entre la columna de agua/sedimentos en aspectos de productividad y reciclado de material orgánico en cuerpos costeros. Hidrología y parámetros fisicoquímicos/biológicos, su influencia en procesos oceanográficos con aplicación en la ecología y manejo de recursos marinos.

Publicaciones más relevantes

- Aramis Olivos-Ortiz; Ramón Sosa-Avalos; Lidia Silva-Íñiguez y Verónica Acosta-Chamorro. 2016. Efectos de los aportes de agua residual en la abundancia de especies fitoplanctónicas de las bahías de Santiago y Manzanillo. 606-609. En: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). *La Biodiversidad en Colima: Estudio de Estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 768 pp.
- García-Mendoza, E., Quijano-Scheggia, S. I., Olivos-Ortiz, A. y Núñez-Vázquez, E. J. (eds.) 2016. Florecimientos Algales Nocivos en México. Ensenada, México. CICESE. 438 p. ISBN 978-607-95688-5-6
- Gloria Pelayo-Martínez, Aramis Olivos-Ortiz, Carmen Franco-Gordo, Sonia Quijano-Scheggia, Juan Gaviño-Rodríguez, Tadashi Kono-Martínez & Fátima Castro-Ochoa. 2017. Physical, chemical and zooplankton biomass variability (inshore-offshore) of Mexican Central Pacific during El Niño-La Niña 2010. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 45(1): 67-78. DOI: 10.3856/vol45-issue1-fulltext-7.

Carlos Alfonso Álvarez González

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Doctorado
Líneas de investigación	Nutrición y fisiología digestiva de organismos acuáticos

Publicaciones más relevantes

- Castillo, A. Álvarez-González C.A., Cuzon, G., Suárez, J., Gaxiola, G. 2017. Glycemic response after glucose oral administration of wild juvenile red grouper *Epinephelus morio* fed two different diets. *Fish Physiology and Biochemistry*. DOI: 10.1007/s10695-017-0426-4.
- Lemus, I., Maldonado, C., Cuzon, G., Gaxiola, G., Álvarez-González, C.A., Guerrero, M. 2017. In Vitro and In Vivo Feedstuff Digestibility for Snook, *Centropomus undecimalis*, Juveniles. *Journal of the World Aquaculture Society*. DOI: 10.1111/jwas.12429. ISSN: 1749-7345.
- Teles, A., Salas-Leiva J., Álvarez-González, C.A., Gisbert, E., Ibarra-Castro, L., Pérez Urbio-la, J.C., Tovar-Ramírez, D. 2017. Histological study of the gastrointestinal tract in longfin yellowtail (*Seriola rivoliana*) larvae. *Fish Physiology and Biochemistry*. DOI: 10.1007/s10695-017-0397-5. ISSN: 0920-1742.

Carlos Augusto Zenteno Palma

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Licenciatura
Líneas de investigación	La línea principal de investigación es: geoquímica en sedimentos marinos y la distribución de nutrientes inorgánicos disueltos y su relación con la conservación de ambientes costeros.

Publicaciones más relevantes

Eutrofización antropogénica y florecimientos algales nocivos en México - el caso del Golfo de California. Ernesto García Mendoza, Aramis Olivos Ortiz, David Rivas Cargamo, Anahí Bermúdez Romero, Yaireb A. Sánchez Bravo, Carlos A. Zenteno Palma y Zyanya Mora Vallin. En: Zonas Muertas por Omar Arellano-Aguilar, Ernesto García Mendoza, Kirsten Thompson y Reyes Tirado. GREENPEACE 2016. <http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/Docs/2016/comida-sana/zonas-muertas.pdf>

Zenteno-Palma, C. A., Olivos-Ortiz, A., Álvarez-García, M. D. C., Quijano-Scheggia, S. I., & Jiménez-Ramón, G. A. CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE ZONAS DE REFORESTACIÓN DE MANGLE EN LOS VASOS I, II Y III DE LA LAGUNA DE CUYUTLÁN, COLIMA. 1er CONGRESO IBEROAMERICANO SOBRE SEDIMENTOS Y ECOLOGÍA QUERÉTARO, QUERÉTARO MÉXICO, 21-24 JULIO 2015. <http://atl.org.mx/isi-lac/images/1er-congreso/articulos/caracterizacion-geoquimica-de-zonas-de-reforestacion-de-mangle-en-los-vasos-i-ii-y-iii-de-la-laguna-de-cuyutlan-colima.pdf>.

Carlos Francisco Rodríguez Gómez

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Maestro en ecología y pesquerías
Líneas de investigación	Ecología del fitoplancton
Publicaciones más relevantes	

Aké-Castillo, J.A., Y. B. Okolodkov, C. F. Rodríguez-Gómez y G. Campos-Bautista. 2014. Florecimientos algales nocivos en Veracruz: especies y posibles causas (2002-2012), p. 133-146. En: A.V. Botello, J. Rendón von Osten, J. A. Benítez y G. Gold-Bouchot (eds.). *Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. UAC, UNAM-ICMyL, CINVESTAV-Unidad Mérida. 1174 p. ISBN 978-607-7887-71-3.

Rodríguez-Gómez C. F. y J. A. Aké-Castillo. 2016. Cálculo del contenido celular de carbono de cuatro taxones de diatomeas: biovolumen y espectrofotometría. *Hidrobiológica* 26 (2): 251-257.

Rodríguez-Gómez C. F., J. A. Aké-Castillo y G. Campos-Bautista. 2013. Productividad primaria bruta y respiración planctónica en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. *Hidrobiológica* 23 (2): 143-153.

Claudia Judith Hernández Guerrero

Nacionalidad	Mexicana
Último grado académico	Doctorado en ciencias del mar
Líneas de investigación	Búsqueda de compuestos bioactivos Productos Naturales Marinos Control biológico

Publicaciones más relevantes

- Aguila-Ramirez R.N., Hernández- Guerrero, C.J., González-Acosta, B., Id-Daoud, G. Hewitt, S. Pope, J. and Hellio, C. 2014. Antifouling activity of symbiotic bacteria from sponge *Aplysinagerardogreeni*. *International Biodeterioration and Biodegradation* 90:64-70.
- Claire Hellio, Rozenn Trepos, R. Noemí Aguila-Ramírez, Claudia J. Hernández-Guerrero. 2015. Protocol for assessing antifouling activities of macroalgae extracts. In: Natural Products from Marine Algae' (Stengel D.B. and Connan, S., Eds) in the Springer Methods in Molecular Biology series.
- Hernández-Guerrero, C.J., Zubia, E., Ortega, M.J., Carballo, J.L. 2006. Sesterterpene metabolites from the sponge *Hyatella intestinalis*. *Tetrahedron*. 62(23):5392-5400.

Cristian Hakspiel Segura

Nacionalidad	Colombiano
Último grado académico	Doctorado
Líneas de investigación	Oceanografía biológica

Publicaciones más relevantes

- Hakspiel-Segura, C., A. Martínez-López, P. Pinedo-González, G. Verdugo-Díaz, J. D. Acevedo-Acosta. 2016. Composition of metals in suspended particulate matter of Alfonso basin, southern Gulf of California. *Regional Studies in Marine Science*. 3: 144–153 doi:10.1016/j.rsma.2015.07.001.
- Hakspiel-Segura, C., A. Martínez-López. 2014. Primera estimación de la tasa de fijación biológica de nitrógeno en Cuenca Alfonso, región sur del Golfo de California. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 49(2): 379-383.
- Hakspiel-Segura, C., M. C. Rosso-Londoño, A. Canosa-Torrado, J. P. Niño-García. 2017. Spatial and temporal dynamics of virioplankton in a high-mountain tropical reservoir, El Neusa (Cundinamarca, Colombia). *Latin American Journal of Aquatic Research*. 45(2): 341-355 doi:10.3856/vol45-issue2-fulltext-10.

Deivis Samuel Palacios Salgado (finado)

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Doctorado
Líneas de investigación	Ecología y sistemática de peces

Publicaciones más relevantes

- D.S. Palacios-Salgado, V.H. Cruz-Escalona, M. Zetina-Rejón, F. Arreguín-Sánchez, J.T. Nieto-Navarro & J. Granados-Amores. 2016. Functional diversity of fishes associated with the shrimp fisheries in the Mexican Pacific. Cap. 3:115-161. E.H. Martínez. *En: Coastal Fishes: Habitat, Behavior and Conservation*. Nova Science Publishers, Inc.
- Deivis Samuel Palacios-Salgado., J.T. Nieto-Navarro., J. Granados-Amores., F. Arreguín-Sánchez., S.P. Padilla-Galindo., R. Tapia-Varela, & D. Domínguez-Ojeda. En prensa. Peces marinos: *En: E. Figueroa & F. Puebla (eds). La Biodiversidad en Nayarit: Estudio de Estado*. CONABIO, MÉXICO.
- Flores-Ortega, J.R., J. Granados-Amores., I. Zavala-Leal., J.T. Nieto-Navarro & Deivis S. Palacios-Salgado. 2017. Length-weight relationships of 20 fish species from Bahía de Matanchen, in the southeast Gulf of California, Mexico. *Journal of Applied Ichthyology*. 33: 152-154.

Dariel Tovar-Ramírez

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Doctorado
Líneas de investigación	Transcriptómica y aditivos funcionales en peces

Publicaciones más relevantes

- Álvarez-González, C.A., Cervantes-Trujano, M., Tovar-Ramírez, D., Conklin, D.E., Nolasco, H., Gisbert, E. and Piedrahita, R. 2006. Development of digestive enzymes in California halibut *Paralichthys californicus* larvae. *Fish. Physiol. Biochem.*, 31, 83-93.
- Le Du, J., Tovar-Ramírez, D., Núñez-Vázquez, E.J. 2017. Embryotoxic effects of dissolved okadaic acid on the development of Longfin yellowtail *Seriola rivoliana*. *Aquatic Toxicology* 190, 210-216
- Tovar, D., Zambonino, J., Cahu, C., Gatesoupe, F.J., Vázquez-Juárez, R. and Lésel, R. 2002. Effect of live yeast incorporation in compound diet on digestive enzyme activity in sea bass larvae. *Aquaculture*, 204, 113-123.

David Cueva Rodríguez

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Licenciatura
Líneas de investigación	Interacción oleaje – estructura Modelos físicos

Publicaciones más relevantes

- Cueva Rodríguez, D. (2017). Eficiencia de placas sub-superficiales para la protección costera. Tesis de licenciatura, Universidad de Colima.
- Cueva-Rodríguez, D.; Verduzco-Zapata, M.; Torres-Orozco, E.; Olivos-Ortiz, A.; Cervantes-Rosas, O. (2017). Eficiencia de placas sub-superficiales para la protección costera. Memoria en extenso del Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar, 1-11.

Ernesto Torres Orozco

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Doctorado
Líneas de investigación	Procesos costeros. Interacciones físicas-biológicas.

Publicaciones más relevantes

- Galicia-Pérez, Marco A., Gaviño-Rodríguez, Juan, Torres-Orozco, Ernesto y Quijano-Scheggia, Sonia, 2016. Descripción general de la circulación hidrodinámica en el litoral de Colima. Cap. de Libro: Estudio de Biodiversidad de Colima. CONABIO. México.
- Galicia-Pérez, Marco A., Torres-Orozco, E. López-Navarro, Guillermo, 2015. Vulnerabilidad en la zona costera. Programa Estatal de Acciones ante el Cambio Climático (PEACC-Colima). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Universidad de Colima.
- Torres-Orozco, E. Galicia-Pérez Marco A., 2017. Corrientes de marea en la Laguna de Cuyutlán, Colima. Una alternativa para la generación de energía eléctrica. Centro Regional de Investigación y Desarrollo de Energías Alternativas. El Colegio de Chihuahua. Ciudad Juárez, Chihuahua. México.

Heladio Espíndola Ávila

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Bachillerato

Elizabeth del Carmen Galicia Nicolás

Nacionalidad	Mexicana
Último grado académico	Universidad
Líneas de investigación	Taxonomía de invertebrados. Microbiología

Emyr Saúl Peña Marín

Nacionalidad	Mexicana
Último grado académico	Doctorado
Líneas de investigación	Nutrición y Fisiología digestiva de organismos acuáticos

Publicaciones más relevantes

- Frías-Quintana CA, Álvarez-González CA, Tovar-Ramírez D, Martínez-García R, Camarillo-Coop S, Peña E and Galaviz MA (2017). Use of Potato Starch in Diets of Tropical Gar (*Atractosteus tropicus*, Gill 1863) Larvae. *Fishes* 2, 3. doi:10.3390/fishes2010003.
- Peña E, Hernández C, Álvarez-González CA, Ibarra-Castro L, Puello-Cruz A, and Hardy RW. (2015). Comparative characterization of protease activity in cultured spotted rose snapper juveniles (*Lutjanus guttatus*). *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 43(4): 641-650.
- Peña E, Hernández C, Ibarra-Castro L, Álvarez-González CA (2017). In vitro protein digestibility of different grow-out stages of spotted rose snapper (*Lutjanus guttatus*, Steindachner, 1869). *Aquaculture Nutrition* 1-12. DOI: 10.1111/anu.12489.

Erika Guadalupe Rico Virgen

Nacionalidad	Mexicana
Último grado académico	Licenciada en biología
Líneas de investigación	Actividad antifouling

Gabriela María Esqueda Escárcega

Nacionalidad	Mexicana
Último grado académico	Especialidad en ciencias marinas
Líneas de investigación	Ecología del Zooplancton. Taxonomía molecular. Producción secundaria.

Publicaciones más relevantes

- Esqueda Escárcega, G. M., S. Hernández Trujillo, G. Aceves Medina, S. Futema Jiménez & J. R. Hernández Alfonso. 2013. Pastoreo del microzooplancton en la Ensenada de la Paz, B.C.S., México. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 41(3): 545 - 557.
- Gárate Lizárraga, I. & G. M. Esqueda Escárcega. 2016. Proliferation of *Falcula hyalina* and *Cylindrotheca closterium* (Bacillariophyceae) on copepods in Bahía de La Paz, Gulf of California, Mexico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 51(1): 197 - 201.
- Hernández Trujillo, S., G. M. Esqueda Escárcega, S. Futema Jiménez & R. Funes Rodríguez. 2014. Relación peso-longitud de *Labidocera diandra* y *Labidocera johnsoni* (Calanoida: Pontellidae). *Hidrobiológica*, 24(3): 303 - 306.

Gerardo Aceves Medina

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Doctorado
Líneas de investigación	Ecología del zooplancton Taxonomía del ictioplancton

Publicaciones más relevantes

- Gerardo Aceves-Medina, Roxana De Silva-Dávila, Iván Cruz-Estudillo, Reginaldo Durazo & Raymundo Avendaño-Ibarra, 2017. Influence of the oceanographic dynamic in size distribution of cephalopod paralarvae in the southern Mexican Pacific Ocean (rainy seasons 2007 and 2008). *Latin American Journal of Aquatic Research*. 45(2): 356-369.
- Gerardo Aceves-Medina, Sylvia P.A. Jimenez-Rosenberg, Ricardo J. Saldierna-Martínez, Reginaldo Durazo, Alejandro Hinojosa-Medina, Martín Hernández-Rivas, Eduardo González-Rodríguez & Gilberto Gaxiola-Castro. 2018. Distribution and abundance of the ichthyoplankton assemblages and its relationships with the geotrophic flow along the southern region of the California Current. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 45(2): 356-369. 46(1): en prensa.
- María Moreno Alcántara, Gerardo Aceves-Medina, Orso Angulo-Campillo and José Paul Murad-Serrano. 2014. Holoplanktonic molluscs (Gastropoda: Pterotracheoidea, Thecosomata and Gymnosomata) from the southern mexican Pacific. *Journal of Molluscan Studies*. 80: 131-138.

Gerardo Verdugo Díaz

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Doctorado
Líneas de investigación	Estudios sobre estimaciones de la productividad primaria en ambientes marinos, mediante isótopos la técnica de asimilación de isótopos radiactivos (^{14}C). Respuesta ecofisiológica de las microalgas marinas ante la variabilidad ambiental.

Publicaciones más relevantes

- Martínez-López, A., I.G. Álvarez-Gómez, L. Pérez-Cruz, G. Verdugo-Díaz y M.M. Villegas-Aguilera. 2016. Production, exportation and preservation of silicoflagellates in Alfonso Basin, Gulf of California. *Journal of Sea Research* 109-52-62.
- Verdugo-Díaz, G, A. Martínez-López, G. Gaxiola-Castro y J.E. Valdez-Holguín. 2012. Phytoplankton photosynthetic parameters from the Gulf of California southern region. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 47(3) 527-535.
- Verdugo-Díaz, G., A. Martínez-López, M.M. Villegas-Aguilera y G. Gaxiola-Castro. 2014. Producción primaria y eficiencia fotosintética en Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, Golfo de California, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 49(3) 527-536.

Gloria del Carmen Pelayo Martínez

Nacionalidad	Mexicana
Último grado académico	Maestría en ciencias del mar
Líneas de investigación	Oceanología biológica. Ecología del zooplancton.

Publicaciones más relevantes

- Olivos-Ortiz, A, Quijano-Scheggia, SI, Pérez-Moralez, A, Gaviño-Rodríguez, JH, Kono-Martínez, T, Pelayo-Martínez, GC, Ortega-Ortiz, CD, Verduzco-Zapata, MG. (2016). Condiciones hidrográficas en el Pacífico Central Mexicano relacionadas con florecimientos algales en la zona costera de Colima. P. 256-267. En: García-Mendoza, E, Quijano-Scheggia, SI, Olivos-Ortiz, A, Núñez-Vázquez, EJ (eds.). Florecimientos Algales Nocivos en México. Ensenada, México. CICESE 438 pp.
- Pelayo-Martínez, G, Olivos-Ortiz, A, Franco-Gordo, C, Quijano-Scheggia, S, Gaviño-Rodríguez, J, Kono-Martínez, T, Castro-Ochoa, F. (2017). Physical, chemical and zooplankton biomass variability (inshore-offshore) of Mexican Central Pacific during El Niño-La Niña 2010. Latin American Journal of Aquatic Research, 45(1), 67-78. DOI: 10.3856/vol45-issue1-fulltext-7.

Gloria Gertrudys Asencio Alcudia

Nacionalidad	Mexicana
Último grado académico	Maestría

Guadalupe Iris Leticia Camba Pérez

Nacionalidad	Mexicana
Último grado académico	Maestría
Líneas de investigación	Manejo de tecnologías para la educación

Jaime Gómez Gutiérrez

Nacionalidad	Mexicana
Último grado académico	Doctorado en oceanografía biológica
Líneas de investigación	Ecología del zooplancton y micronecton en ecosistemas marinos.

Publicaciones más relevantes

- Gómez-Gutiérrez J, Kawaguchi S, Morales-Ávila JR (editors). 2017. Global diversity and ecological functions of parasites of euphausiids. 214 pp. Springer Nature, Switzerland, ISBN 978-3-319-41053-1, ISBN 978-3-319-41055-5 (eBook), DOI 10.1007/978-3-319-41055-5. Library of Congress Control Number: 201793549.
- Gómez-Gutiérrez J, Peterson WT, De-Robertis A, Brodeur R (2003) Mass mortality of krill caused by parasitoid ciliates. Science July 18, 2003, 301(5631):339.
- Gómez-Gutiérrez J, Robinson CJ, Kawaguchi S, Nicol S. 2010. Parasite diversity of *Nyctiphanes simplex* and *Nematoscelis difficilis* (Crustacea:Euphausiacea) along the Northwestern coast of Mexico. Dis. Aquat. Org. 88(3): 249-266. doi: 10.3354/dao02155, ISSN: 0177-5103.

Jorge Ignacio Chavoya Gama

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Doctorado
Líneas de investigación	Ciudades turísticas de litoral, procesos urbanos y territorio. Arquitectura y procesos urbanos en localidades de la sierra occidental.

Publicaciones más relevantes

Espacio público e identidad en la ciudad turística de litoral, caso; Puerto Vallarta-Bahía de Banderas, México.

<http://upcommons.upc.edu/handle/2117/88427>

<http://www.eumed.net/rev/curydes/21/banderas.html>.

<https://upcommons.upc.edu/handle/2099/11342>

Transporte y sustentabilidad, la Bahía de Banderas, México.

Una reflexión sobre el modelo urbano: ciudad dispersa-ciudad compacta.

Ivonne Sandra Santiago Morales

Nacionalidad	Mexicana
Último grado académico	Doctorado
Líneas de investigación	Compuestos activos de microalgas (toxinas, antioxidantes, lectinas).

Publicaciones más relevantes

Santiago-Morales, I.S., Trujillo-Valle, L., Márquez-Rocha, F. J., López Hernández, J. F., 2018. Tocopherols, Phycocyanin and Superoxide Dismutase from Microalgae: as Potential Food Antioxidants. *Applied Food Biotechnology*, 5 (1):19-27.

Santiago-Morales, I.S., García-Mendoza E., 2011. Growth and domoic acid content of *Pseudo-nitzschia australis* isolated from northwestern Baja California, Mexico, cultured under batch conditions at different temperatures and two Si:NO₃ ratios. *Harmful Algae*, 12: 82–94.

Santiago-Morales I.S., 2016. Florecimientos Algales Nocivos en la costa de Oaxaca. p.242-255. En: García-Mendoza E., Quijano-Scheggia S.I., Olivos-Ortíz, A., Nuñez-Vázquez E. Florecimientos algales nocivos en México. 436p.

Jasmín Granados Amores

Nacionalidad	Mexicana
Último grado académico	Doctorado
Líneas de investigación	Taxonomía y sistemática de cefalópodos

Publicaciones más relevantes

- Alexander I. Arkhipkin, Paul G. K. Rodhouse, Graham J. Pierce, Warwick Sauer, Mitsuo Sakai, Louise Allcock, Juan Arguelles, John R. Bower, Gladis Castillo, Luca Ceriolla, Chih-Shin Chen, Xinjun Chen, Mariana Diaz-Santana, Nicola Downey, Angel F. Gonzalez, Jasmin Granados-Amores, Corey P. Green, Angel Guerra, Lisa C. Hendrickson, Christian Ibañez, Kingo Ito, Patrizia Jereb, Yoshiki Kato, Oleg N. Katugin, Mitsuhsa Kawano, Hideaki Kidokoro, Vladimir V. Kulik, Vladimir V. Laptikhovsky, Marek R. Lipinski, Bilin Liu, Luis Mariategui, Wilbert Marin, Ana Medina, Katsuhiko Miki, Kazutaka Miyahara, Natalie Moltschaniwskyj, Hassan Moustahfid, Jaruwat Nabhitabhata, Nobuaki Nanjo, Chingis M. Nigmatullin, Tetsuya Ohtani, Gretta Pecl, J. Angel A. Perez, Uwe Piatkowski, Pirochana Saikliang, Cesar A. Salinas-Zavala, Michael Steer, Yongjun Tian, Yukio Ueta, Dharmamony Vijai, Toshie Wakabayashi, Tadanori Yamaguchi, Carmen Yamas-hiro, Norio Yamashita, and Louis D. Zeidberg. 2015. World Squid Fisheries. Reviews in Fisheries Science & Aquaculture, 23:92–252.
- Jasmin Granados-Amores, Francisco J. García-Rodríguez, F. G. Hochberg and César A. Salinas-Zavala. 2014. The Taxonomy and Morphometry of Squids in the Family Loliginidae (Cephalopoda: Myopsida) from the Pacific Coast of Mexico. American Malacological Bulletin, 32(2):198-208.
- Mariana Díaz-Santana-Iturríos, César A. Salinas-Zavala and Jasmín Granados- Amores. 2017. Description of the statolith shape of two sympatric ommastrephids in the Mexican Pacific obtained from geometric morphometrics as a tool for identification at the species level. Marine Biodiversity. DOI 10.1007/s12526-017-0650-2

Javier Leopoldo López Rubio

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Maestría
Líneas de investigación	Monitoreo de Partículas PM10 en las zonas urbanas de Puerto Vallarta y su relación con los sistemas atmosféricos. Vigilancia atmosférica ante eventos Hidrometeorológicos por medio de la Tecnología en la región de Bahía de Banderas. Manejo de las Tecnologías de la información en desastres naturales

Publicaciones más relevantes

- Evaluación del uso de las tecnologías de la información y comunicación en programas educativos ofertados en una universidad del occidente de México
- <http://www.civitec.mx/index.php>
- <http://www.congreso.mesoamericano.unach.mx/revista-digital-congreso-mesoamericano-de-investigacion-unach>
- <http://www.textosdeinvestigacion.unach.mx/memorias/congreso2017/mobile/index.html#p=203>
- Incendios Forestales Sobre la Cobertura Vegetal en la Región de Bahía de Banderas Asociados con Sistemas Atmosféricos en el Periodo 2015-2017.

José Antolín Aké Castillo

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Doctor en ciencias (ecología y manejo de recursos naturales)
Líneas de investigación	Plancton y productores primarios
Publicaciones más relevantes	
Aké-Castillo J. A. y Vázquez G. 2008. Phytoplankton variation over a year and its relation to nutrients and allochthonous organic matter in Sontecomapan, a tropical coastal lagoon on the Gulf of Mexico. <i>Estuarine, Coastal and Shelf Science</i> . 78: 705-714.	
Aké-Castillo, J. A. 2014. <i>Thompsodinium intermedium</i> (Dinophyceae), a freshwater planktonic species in Mexico. <i>Revista Mexicana de Biodiversidad</i> . Vol 85, No 3: 953-956	
Aké-Castillo, J. A & Poot-Delgado C. A. 2016. FAN en el Golfo de México: panorama general sobre eventos y especies. p: 298-307. En: García-Mendoza, E., Quijano-Scheggia, S. I., Olivos-Ortiz, A. y Núñez-Vázquez, E. J. (eds.). <i>FloreCIMIENTOS Algaes Nocivos en México</i> . Ensenada, México. CICESE. 438 p.	

José Ricardo Palomares García

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Maestría en ciencias
Líneas de investigación	Ecología del zooplancton, oceanografía biológica
Publicaciones más relevantes	
Kozak E. R., Franco-Gordo C., Palomares-García R., Gómez-Gutiérrez J. & Suárez-Morales E. 2017. Annual egg production rates of calanoid copepod species on the continental shelf of the Eastern Tropical Pacific off Mexico. <i>Estuarine, Coastal and Shelf Science</i> , 184:138-150. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.11.012	
Palomares-García R. & Gómez-Gutiérrez J. 1996. Copepod Community Structure at Bahía Magdalena, Mexico during El Niño 1983–84. <i>Estuarine, Coastal and Shelf Science</i> . 43 (5): 583-595. DOI:10.1006/ecss.1996.0089	
Palomares-García R., Gómez-Gutiérrez J. & Robinson C. 2013. Winter and summer vertical distribution of epipelagic copepods in the Gulf of California. <i>Journal of Plankton Research</i> . 35 (5):1009–1026. doi:10.1093/plankt/fbt052.	

Juan Carlos Alcérreca Huerta

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Doctorado
Líneas de investigación	Modelación numérica de oleaje Aprovechamiento de energía renovable marina

Publicaciones más relevantes

- Alcérreca-Huerta, J.; Oumeraci, H. (2016). Wave Induced pressures in porous bonded re-
vetments. Part I: Pressures on the revetment. *Coastal Engineering* 110, 87-101.
- Arrighi, C.; Alcérreca-Huerta, J.; Oumeraci, H., Castelli, F. (2015). Drag and lift contribu-
tion to the incipient motion of partly submerged flooded vehicles. *Journal of*
Fluids and Structures 57, 170-184.
- Mendoza, E.; Chávez, X.; Alcérreca-Huerta, J.; Silva, R. (2015). Hydrodynamic behavior of
a new wave energy convertor: The Blow-Jet. *Ocean Engineering* 106, 252-260.

Juan Heberto Gaviño Rodríguez

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Doctorado
Líneas de investigación	Oceanografía física, procesos costeros

Publicaciones más relevantes

- Gloria Pelayo-Martínez, Aramis Olivos-Ortíz, Carmen Franco-Gordo, Sonia Quijano-Sche-
ggia, Juan Gaviño-Rodríguez, Tadashi Kono-Martínez, Fátima Castro-Ochoa.
Physical-chemical and zooplankton biomass variability (inshore-offshore) of
Mexican Central Pacific during El Niño-La Niña 2010. (2017) *Latin American*
Journal of Aquatic Research (LAJAR) Lat. Am. J. Aquat. Res. 45(1). Pag.67-
78, http://www.lajar.cl/list_en.php ISSN 0718-560x [http://www.lajar.cl/det_](http://www.lajar.cl/det_en.php?id=77)
[en.php?id=77](http://www.lajar.cl/det_en.php?id=77)
- Noel Carbajal, Juan Heberto Gaviño Rodríguez. Taylor's problem and morphodynamics.
Estuarine, Coastal and Shelf Science 129 (2013) 173-179. ISSN 0272-7714 journal
homepage: www.elsevier.com/locate/ecss.
- Pablo Alonso Rodríguez, Noel Carbajal, Juan Heberto Gaviño Rodríguez, Lagrangian tra-
jectories, residual currents and rectification process in the Northern Gulf of Cal-
ifornia (2017) *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 194 (2017) pag263-275. [www.](http://www.elsevier.com/locate/ecss)
[elsevier.com/locate/ecss](http://www.elsevier.com/locate/ecss).

Juan Manuel Martínez Brown

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Doctorado
Líneas de investigación	Reproducción y biología del desarrollo de peces ma- rinos

Publicaciones más relevantes

- Ibarra-Castro, L., J. Navarro-Flores, J. L. Sánchez-Téllez, J. M. Martínez-Brown, L. A. Ochoa-Bojórquez, A. H. Rojo-Cebreros. 2017. Hatchery Production of Pacific White Snook at CIAD-Unity Mazatlan, Mexico. *World Aquaculture*, 48:25-29.
- Martínez-Brown, J. M., J. D. Medel-Narváez, N. K. Hernández-Ibarra y J. L. Ortiz-Galindo. 2012. Evidence of karyotypic stasis during the evolutionary divergence between *Paralabrax maculatofasciatus* and *P. nebulifer* (perciformes: serranidae). *CICIMAR Oceanides* 27: 25-34.
- Morales-Serna, F. N., J. M. Martínez-Brown, R. M. Medina-Guerrero, E. J. Fajer-Ávila. 2016. Caligids-potential pathogens for marine finfish aquaculture in Mexico? *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 44: 433-441.

Julieta Hernández López

Nacionalidad	Mexicana
Último grado académico	Doctorado
Líneas de investigación	Oceanografía costera Biogeoquímica marina Química acuática

Publicaciones más relevantes

- Emery, K.A., Wilkinson, G.M., Camacho-Ibar, V.F., Pace, M.L., McGlathery, K.J., Sandoval-Gil, J.M., Hernández-López, J., 2016. Resource Use of an Aquacultured Oyster (*Crassostrea gigas*) in the Reverse Estuary Bahía San Quintín, Baja California, México. *Estuaries and Coasts* 39, 866–874. doi:10.1007/s12237-015-0021-9
- Hernández-López, J., Camacho-Ibar, V.F., Macías-Tapia, A., McGlathery, K.J., Daesslé, L.W., Sandoval-Gil, J.M., 2017. Benthic nitrogen fixation in *Zostera marina* meadows in an upwelling-influenced coastal lagoon. *Ciencias Mar.* 43, 35–53. doi:10.7773/cm.v43i1.2700
- Sandoval-Gil, J.M., Camacho-Ibar, V.F., Ávila-López, M. del C., Hernández-López, J., Zertuche-González, J.A., Cabello-Pasini, A., 2015. Dissolved inorganic nitrogen uptake kinetics and $\delta^{15}\text{N}$ of *Zostera marina* L. (eelgrass) in a coastal lagoon with oyster aquaculture and upwelling influence. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 472, 1–13.

Julio César Morales Hernández

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Doctorado
Líneas de investigación	Monitoreo de Partículas PM10 en las zonas urbanas de Puerto Vallarta y su relación con los sistemas atmosféricos. Vigilancia atmosférica ante eventos hidrometeorológicos en la región de Bahía de Banderas. Cambio Climático local en Puerto Vallarta.

Publicaciones más relevantes

Cambio de Cobertura Vegetal en la Región de Bahía de Banderas, México.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67430113002>

http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-560X2015000400017&script=sci_abstract&tlng=pt

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0366-52322016000100002&lng=es&nrm=iso

Influencia de los ciclones tropicales del periodo de 1970 al 2010 en la región de Bahía de Banderas, Nayarit-Jalisco, México

Wild populations of the invasive Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* (Crustacea, Decapoda) near the northern coast of Jalisco, Mexico: a new fishing and profitable resource.

Leonardo Ibarra Castro

Nacionalidad Mexicano

Último grado académico Doctorado

Líneas de investigación Reproducción y larvicultivo de peces marinos

Publicaciones más relevantes

Ibarra-Castro L., Alvarez-Lajonchere L. S., Rosas C., Palomino-Alvarran I. G., Holt G. J. and Sanchez-Zamora A. 2011. GnRHa-induced spawning with natural fertilization and pilot-scale juvenile mass production of common snook, *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792) in captivity. *Aquaculture* 319, 479-483.

Ibarra-Castro Leonardo, Kenneth A. Webb Jr. and G. Joan Holt. 2016 Molecular cloning, tissue distribution, and ontogenetic expression of growth hormone in cobia, *Rachycentron canadum*. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, Vol. 51, N° 2: 421-428.

Javier Pérez-Robles, Fernando Diaz, Ana Denise Re, Ivone Giffard-Mena, María Isabel Abdo-de la Parra & Ibarra-Castro Leonardo. 2015. Osmoregulation, growth, and survival during the larval development of bullseye puffer fish *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842, Pisces: Tetraodontidae). *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, Vol. 48, No. 6, 397-415.

Manuel Gerardo Verduzco Zapata

Nacionalidad Mexicano

Último grado académico Doctorado

Líneas de investigación Interacción oleaje – estructura
Modelación numérica de oleaje
Aprovechamiento de energía renovable marina

Publicaciones más relevantes

- Verduzco-Zapata, M.; Ocampo-Torres, F.; Mendoza, E.; Silva, R.; Liñán-Cabello, M.; Torres-Orozco, E. (2017). Optimal submergence of horizontal plates for maximum wave energy dissipation. *Ocean Engineering* 142, p. 78-86. ISSN 0029_8018.
- Verduzco-Zapata, M.; Ocampo-Torres, F.; Osuna, P.; y Parés, A. (2015) Descripción y análisis de la transmisión de la energía del oleaje irregular debido a su interacción con obstáculos rectangulares sumergidos. En: *Investigaciones marinas y acuícolas en el Pacífico Tropical mexicano*. Universidad de Colima. México; ISBN: 978-607-8356-38-6.
- Verduzco-Zapata, M.G., Ocampo-Torres, F.J., Osuna, P., Parés-Sierra, A.F. y Kawasaki, K. (2012). Practical estimation of wave transmission and reflection from fixed submerged structures. *Ocean Engineering* 45: 63-74. ISSN: 0029-8018.

Marco Antonio Medina López

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Maestro en ciencias
Líneas de investigación	Taxonomía de invertebrados marinos en sustratos blandos y rocosos

Publicaciones más relevantes

- Elisa Jeanneht Armendáriz Villegas, Bertha Patricia Ceballos-Vázquez, Unai Markaida, Andrés Abitia-Cárdenas, Marco Antonio Medina-López and Marcial Arellano-Martínez. 2014. Diet of *Octopus bimaculatus* Verril, 1883 (Cephalopoda: Octopodidae) in Bahía De Los Ángeles, Gulf of California. *Journal of Shellfish Research* Vol. 31 305-314.
- Piñón-Gimate, Alejandra, Aguilar-Mora, Fátima, Mazariegos-Villareal, Alejandra, Medina Marco and Serviere-Zaragoza, Elisa. 2013 Natural diet of *Megathura crenulata* (Sowerby, 1825) in rocky reefs of the southern pacific coast of Baja California, Mexico. *Journal of Shellfish Research*. National Shellfisheries Association Vol.32 297- 303
- Riosmena R. R y Medina L. M. A. 2010. The role of rhodolith beds in the recruitment of invertebrate species from the southwestern Gula Of California, Mexico. Dubinsky Z. Joseph C. y Seckbach J. (editors). *All Flesh Is Grass. Plant-Animal Interrelationships Series: Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrobiology*, Vol. 16 Springer Science. 415- 426

Marco Galicia Pérez

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Doctorado
Líneas de investigación	Modelación hidrodinámica numérica. Procesos costeros.

Publicaciones más relevantes

- Galicia-Pérez, Marco A., Gaviño-Rodríguez, Juan, Torres-Orozco, Ernesto y Quijano-Scheggia, Sonia, 2016. Descripción general de la circulación hidrodinámica en el litoral de Colima. Cap. de Libro: Estudio de Biodiversidad de Colima. CONABIO. México.
- Galicia-Pérez, Marco A., Torres-Orozco, E. López-Navarro, Guillermo, 2015. Vulnerabilidad en la zona costera. Programa Estatal de Acciones ante el Cambio Climático (PEACC-Colima). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Universidad de Colima.
- Omar Cervantes, Gerardo Verduzco-Zapata, Camilo Botero, Aramis Olivos-Ortiz, Juan Carlos Chávez-Comparan, Marco Galicia-Pérez. 2015. Determination of risk to users by the spatial and temporal variation of rip currents on the beach of Santiago Bay, Manzanillo, Mexico: Beach hazards and safety strategy as tool for coastal zone management. Ocean & Coastal Management. Ed. Elsevier.
- Torres-Orozco, E. Galicia-Pérez Marco A., 2017. Corrientes de marea en la Laguna de Cuyutlán, Colima. Una alternativa para la generación de energía eléctrica. Centro Regional de Investigación y Desarrollo de Energías Alternativas. El Colegio de Chihuahua. Ciudad Juárez, Chihuahua. México.

María del Carmen Franco Gordo

Nacionalidad	Mexicana
Último grado académico	Doctorado en Biología Marina
Líneas de investigación	Ecología de zooplancton en ecosistemas marinos
Publicaciones más relevantes	

- Carmen Franco-Gordo, Israel Ambriz-Arreola, Eva Kozak, Jaime Gómez-Gutiérrez, Viridiana Plascencia-Palomera, Enrique Godínez-Domínguez, y Angel Hinojosa-Larios. 2015. Seasonal succession of zooplankton taxonomic group assemblages in surface waters of Bahía de Navidad, Mexico (November 2010 – December 2011). *Hidrobiológica*, 25(3):335-345 ISSN 0188 8897
- Eva R. Kozak, Carmen Franco-Gordo, Ricardo Palomares-García, Jaime Gómez. 2017. Annual egg production rates of calanoid copepod species on the continental shelf of the Eastern Tropical Pacific off Mexico. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. (184): 138-150. ISSN: 0272.7714. doi: 10.1016/j.ecss.2016.11.012.
- Gloria del Carmen Pelayo-Martínez, Aramis Olivos-Ortiz, Carmen Franco-Gordo, Sonia Quijano-Scheggia, Juan Gaviño-Rodríguez, Tadashi Kono-Martínez, Fatima Castro-Ochoa. 2017. chemical and zooplankton biomass variability (inshore-offshore) of Mexican Central Pacific during El Niño-La Niña 2010. *Latin American Journal, Res.* 45(1):67-78.

Martín Enrique Hernández Rivas

Nacionalidad	Mexicana
Último grado académico	Licenciado en biología marina

Líneas de investigación

Oceanografía Pesquera
Evaluación de stocks pesqueros
Ecología Pelágica

Publicaciones más relevantes

- Funes-Rodríguez, R., A. Hinojosa-Medina, R. Avendaño-Ibarra, M.E.Hernández-Rivas, R. Saldierna-Martínez and W. Watson. 2001. Spawning of Small Pelagic Fishes in Bahía Magdalena, B.C.S., México, at the Beginning of the 1997-1998 El Niño Event. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 53, 653-664.
- Gerardo Aceves-Medina, Ricardo Saldierna-Martínez, Alejandro Hinojosa-Medina, Sylvia P. A. Jiménez-Rosenberg, Martín E. Hernández-Rivas, Raúl Morales-Avila. 2008. Vertical structure of larval fish assemblages during diel cycles in summer and winter in the southern part of Bahía de La Paz, Mexico. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 76, 889-901.
- Nancy C. H. Lo, Emmanis Dorval, René Funes-Rodríguez, Martín E. Hernández-Rivas, Yuhong Huang and Zhengyu Fan. 2010. Utilities of Larval densities of Pacific mackerel (*Scomber japonicus*) off California, U.S.A. and west coast of Mexico from 1951 to 2008, as spawning biomass indices. *Ciencia Pesquera* 18(2).

Mauricio Muñoz Ochoa

Nacionalidad

Mexicano

Último grado académico

Doctorado

Líneas de investigación

Química de productos Naturales Marinos

Publicaciones más relevantes

- Muñoz-Ochoa, M., Murillo-Álvarez, J. I., Rodríguez-Montesinos, Y. E., Hernández-Carmena, G., Arvizu-Higuera, D. L., Peralta-Cruz, J & Lizardi-Mendoza, J. Anticoagulant screening of marine algae from Mexico, and partial characterization of active sulfated polysaccharide from *Eisenia arborea*. *OCEÁNIDES* (2009) 24(1): 41-51.
- Muñoz-Ochoa, M., Murillo-Álvarez, J. I., Zermeño-Cervantes, L.A., Martínez-Díaz, S. F & Rodríguez-Riosmena, R. Screening of Extracts of Algae from Baja California Sur Mexico as Reversers of Antibiotic Resistance of Some Pathogenic Bacteria. *European Review for Medicinal and Pharmacological Sciences*. (2010) 14: 739-747.
- Zaleta-Pinet, D. A., Holland, I. P., Muñoz-Ochoa, M., Murillo-Alvarez, J. I., Sakoff, J. A., van Altena, I. A., & McCluskey, A. Cytotoxic compounds from *Laurencia pacifica*. *Organic and Medicinal Chemistry Letters* (2014) 4, 8.

Minerva e Isis Camacho Sánchez

Nacionalidad

Mexicana

Último grado académico

Maestra en ciencias

Líneas de investigación

Toxicología ambiental

Publicaciones más relevantes

Bioconcentración y toxicidad de metales en el langostino malayo (*Macrobrachium rosenbergii*). Rev. Toxicol., 2007, 24(1): 14.

Camacho-Sánchez MI, Lechuga Cabrera Imelda. Monitoreo biológico de agroquímicos en el parque nacional Huatulco. Congreso de Ecotoxicología y Química Ambiental, 7-12 de abril de 2008. México, D.F.

Chamorro, G.; Salazar, M. Las fenil alcohol amidas demuestran efectos diferentes al anti-epiléptico mediante pruebas conductuales. Rev. Mex. Neuroci. 2004, 5(5): 435.

Miriam Hueytletl Pérez

Nacionalidad	Mexicana
Último grado académico	Licenciatura
Líneas de investigación	Oceanografía biológica con enfoque al fitoplancton

Norma Arcelia Barrientos Luján

Nacionalidad	Mexicana
Último grado académico	Doctorado
Líneas de investigación	Taxonomía, ecología y biogeografía de moluscos

Publicaciones más relevantes

Barrientos-Lujan NA, López-Pérez A, Ríos-Jara E, Ahumada-Sempoal MA, Ortiz M, Rodríguez-Zaragoza FA (2017) Ecological and functional diversity of gastropods associated with hermatypic corals of the Mexican tropical Pacific. Marine Biodiversity, DOI 10.1007/s12526-017-0780-6

Bastida-Zavala JR, García-Madrigal MS, Rosas-Alquicira EF, López-Pérez RA, Benítez-Villalobos F, Meraz-Hernando JF, Torres-Huerta AM, Montoya-Márquez A, Barrientos-Luján NA (2013) Marine and coastal biodiversity of Oaxaca, Mexico. CheckList 9(2): 329–390

López-Pérez RA, Bastida-Zavala JR, García-Madrigal MS, Barrientos-Luján NA, Torres-Huerta AM, Montoya-Márquez A, Benítez-Villalobos F, Meraz-Hernando JF (2012) How much do we know on marine and Coastal faunal biodiversity from Oaxaca? ¿Cuánto sabemos de la diversidad de la fauna marina y costera de Oaxaca? In: Recursos acuáticos costeros del suroeste (AJ Sánchez, X Chiappa-Carrara, R Brito Pérez, eds.) pp. 435-449. Red para el conocimiento de los recursos costeros del sureste (Recorecos), UNAM, Sisal, Yucatán, México.

Raymundo Avendaño Ibarra

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Doctorado en ciencias en biosistemática, ecología y manejo de recursos naturales y agrícolas.

Líneas de investigación

Interacciones biofísicas en múltiples escalas relacionadas con peces marinos y zooplancton. Biodiversidad e influencia de procesos oceanográficos en las asociaciones de paralarvas de cefalópodos en aguas mexicanas, con interés especial sobre especies de importancia comercial.

Publicaciones más relevantes

- R. Avendaño-Ibarra, E. Godínez-Domínguez, G. Aceves-Medina, E. González-Rodríguez, and A. Trasviña. 2013. Fish Larvae Response to Biophysical Changes in the Gulf of California, Mexico (Winter-Summer). *Journal of Marine Biology*. 2013: 1-17, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/176760>.
- R. Avendaño-Ibarra, G. Aceves-Medina, E. Godínez-Domínguez, R. de Silva Dávila, S.P.A. Jiménez-Rosenberg, H. Urias-Leyva and C. Robinson. 2014. Fish larvae from the Gulf of California to Colima, Mexico: An update. *Check List*. 10(1): 106-121.
- R. de Silva Dávila, C. Franco Gordo, F.G. Hochberg, E. Godínez Domínguez, R. Avendaño Ibarra, J. Gómez Gutierrez y C. Robinson. 2015. Cephalopod paralarval assemblages in the Gulf of California during 2004 – 2007. *Marine Ecology Progress Series*. 520: 123-141. DOI: <https://doi.org/10.3354/meps11074>.

Ricardo Alfonso Méndez Sepúlveda

Nacionalidad

Mexicano

Último grado académico

Licenciatura

Líneas de investigación

Oceanología biológica

Publicaciones más relevantes

2013 octubre. "Floración algal de *Scyropsiella* en un vaso de la laguna de Cuyutlán con condiciones eutróficas". Documento presentado en la 2da Reunión Nacional de la Sociedad Mexicana para el estudio de los Florecimientos Algales Nocivos A.C, Manzanillo, Col.

Roxana de Silva Dávila

Nacionalidad

Mexicana

Último grado académico

Doctorado en Ciencias en Biosistemática y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas

Líneas de investigación

Taxonomía de paralarvas de cefalópodos. Biodiversidad e influencia de procesos oceanográficos en las asociaciones de paralarvas de cefalópodos en aguas mexicanas, con interés especial sobre especies de importancia comercial. Ecología del zooplancton.

Publicaciones más relevantes

- Gerardo Aceves Medina, Roxana De Silva-Dávila, Iván Cruz Estudillo, Reginaldo Durazo, Raymundo Avendaño Ibarra. 2017. Influence of the oceanographic dynamic in size distribution of cephalopod paralarvae from the southern mexican Pacific ocean (rainy seasons 2007 and 2008). *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45(2):356-369. ISSN: 0718-560X. DOI: <http://dx.doi.org/10.3856/vol45-issue2-fulltext-11>.
- R. De Silva-Dávila, C. Franco-Gordo, F.G. Hochberg, E. Godínez-Domínguez, R. Avendaño-Ibarra, J. Gómez-Gutiérrez, & C.J. Robinson. 2015. Cephalopod paralarval assemblages in the Gulf of California during 2004-2007. *Marine Ecology Progress Series*, 520:123-141. Print Version ISSN: 0171-8630, Online Version 1616-1599. DOI: <https://doi.org/10.3354/meps11074>.
- R. De Silva-Dávila, F.G. Hochberg, A.R. Lindgren, & C. Franco-Gordo. 2013. Paralarval development abundance, and distribution of *Pterygioteuthis hoylei* (Cephalopoda: Oegopsida: Pyroteuthidae) in the Gulf of California, Mexico. *Molluscan Research*, 33(1):50-64. ISSN: 1323-5818. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/13235818.2012.754148>.

Rubén Melvyn García Guillén

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Maestría en ciencias en manejo de recursos marinos
Líneas de investigación	Taxonomía y ecología de paralarvas de cefalópodos del Pacífico mexicano. Patrones de distribución de paralarvas de cefalópodos y su relación con el ambiente.

Publicaciones más relevantes

- Alejo-Plata, M.C., R. García-Guillén y J. Herrera-Galindo. 2012. Paralarvas y juveniles de *Octopus bimaculatus* (Cephalopoda: Octopodidae) en el Pacífico sur de México". *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 47:359-365.
- Alejo-Plata, M.C., R. García-Guillén y J. Herrera-Galindo. 2013. Paralarvas y juveniles de cefalópodos en el Pacífico sur de México. *Hidrobiológica* 23(2): 250-264.

Ruth Noemí Águila Ramírez

Nacionalidad	Mexicana
Último grado académico	Doctora en ciencias marinas
Líneas de investigación	Microbiología y productos naturales marinos

Publicaciones más relevantes

- Aguila-Ramírez R. N., A. Arenas-González, C. J. Hernández Guerrero, B. González-Acosta, J. M. Borges-Souza, B. Veron, J. Pope, C. Hellio. 2012. Antimicrobial and antifouling activities achieved by extracts of seaweeds from Gulf of California, Mexico. *Hidrobiológica*. 22(1): 8-15
- Aguila-Ramírez R. N., C. J. Hernández-Guerrero, B. González-Acosta, Ghezlane Id-Daoud, Samantha Hewitt, Josephine Pope, Claire Hellio. 2014. Antifouling activity of symbiotic bacteria from sponge *Aplysina gerardogreeni*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 90: 64-70.
- Hellio C., R. Trepos, Aguila-Ramírez R. N., C. J. Hernández-Guerrero: 2015. Natural Products From Marine Algae 421-435. Chapter 27. In: Stengel (Ed.) *Methods in Molecular Biology*. Springer book.

Saúl Jaime Serrano Guzmán

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Maestro en ciencias
Líneas de investigación	Biología, ecología y cultivo integral de moluscos bivalvos del Pacífico tropical de Norteamérica

Publicaciones más relevantes

- Ángel-Pérez, Claudia; Serrano-Guzmán, Saúl J. & Ahumada-Sempoal, Miguel Á. 2007. Ciclo reproductivo del molusco *Atrina maura* (Pterioidea: Pinnidae) en un sistema lagunar costero al sur del Pacífico tropical mexicano. *Revista de Biología Tropical*. 55 (3-4) 839 – 852.
- Claudia Farfán, Miguel Robles Mungaray, Saúl Jaime Serrano-Guzmán. 2007. Seed Production and Growth of *Modiolus capax* Conrad (Bivalvia: Mytilidae) in Laboratory Conditions. *Journal of Shellfish Research*. 2007. 26 (4): 1075 – 1080.
- Robles-Mungaray, M. y S. J. Serrano-Guzmán. 1995. Larval Growth, Survival and Spat Production of *Argopecten circularis* (Sowerby, 1835) in a Mexican Commercial Hatchery. *Rivista Italiana Acquacultura* 30, 187-193.

Sergio Francisco Martínez Díaz

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Doctor en biotecnología
Líneas de investigación	Microbiología, control biológico, antimicrobianos

Publicaciones más relevantes

- Lomeli-Ortega C.O. and Martínez-Díaz S. F., 2014. Phage therapy against *Vibrio parahaemolyticus* infection in the whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) larvae. *Aquaculture* 434: 208–211
- Martínez Díaz S.F. and Hipólito-Morales A., 2013. Efficacy of phage therapy to prevent mortality during the vibriosis of brine shrimp. *Aquaculture* 400-401, 120-124.
- Ramírez-Orozco M, Serrano-Pinto V, Ochoa-Álvarez N., Makarov R, and Martínez-Díaz S. F. 2013. Genome sequence analysis of the *Vibrio parahaemolyticus* lytic bacteriophage VPMS1. *Archives of Virology* 158(11), 2409-2413

Sergio Hernández Trujillo

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Doctor en oceanografía biológica y pesquerías
Líneas de investigación	Ecología del zooplankton
	Taxonomía
	Producción secundaria

Publicaciones más relevantes

- Molina-Fernández, D., I., Valles Vega, S., Hernández Trujillo, F. J., Adroher, R., Benítez (2017). A scanning electron microscopy study of early development in vitro of *Contraecum multipapillatum* s.l. (Nematoda: Anisakidae) from a brown pelican (*Pelecanus occidentalis*) from the Gulf of California, Mexico. *Parasitology Research*, 116(10): 2733-2740.
- Ortega García, S., S., Hernández Trujillo (2017). First record of *Maccallumtrematode xiphiae* and *Philichthys xiphiae* in the striped marlin *Kajikia audax* (Philippi, 1887) off Cabo San Lucas, Baja California Sur, Mexico. *Journal of Applied Ichthyology*, 33(4): 804-806.
- Valles Vega, I., D., Molina-Fernández, R., Benítez, S., Hernández Trujillo, F. J., Adroher (2017). Early development and life cycle of *Contraecum multipapillatum* s.l. from brown pelican *Pelecanus occidentalis* in Gulf of California, Mexico. *Diseases of Aquatic Organisms*, 125: 167-178.

Sonia Isabel Quijano Scheggia

Nacionalidad	Mexicana
Último grado académico	Doctora en ciencias
Líneas de investigación	Fitoplancton identificación
Publicaciones más relevantes	

- Quijano-Scheggia, S., Barajas-Gonzalez, M., Lim, H. C., Leaw, C. P., Olivos-Ortiz, A., Gaviño-Rodríguez, J., Blanco Pérez, J. & Bates, S. S. 2016. "The inhibitory effect of a non-yessotoxin-producing dinoflagellate, *Lingulodinium polyedrum* (Stein) Dodge, towards *Vibrio vulnificus* and *Staphylococcus aureus*. *Revista Biología Tropical* 64
- Quijano-Scheggia, S., Olivos Ortiz, A., Bustillos-Gúzman, J., Garcés, E., Gaviño Rodríguez, J. H., Galicia Pérez, M. A., Patiño Barragán, M., Hernández-Sandoval, F. & López-Cortés, D. 2012. Bloom of *Gymnodinium catenatum* in Bahía Santiago and Bahía Manzanillo, Colima, Mexico (May 2010) Bloom of *Gymnodinium catenatum* in Bahía Santiago and Bahía Manzanillo, Colima, Mexico (May 2010). *Rev Biol Trop*. 60, 173-186
- Quijano-Scheggia, S., Olivos Ortiz, A., Gaviño Rodríguez, J. H., Castro-Ochoa, F., Rivera-Vilarelle, M., Galicia Pérez, M. A. & Patiño Barragán, M. 2011. The first report of *Pseudo-nitzschia brasiliensis* and *P. micropora* (Bacillariophyceae) found in Cuyutlán Lagoon, Mexico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 46.

Víctor Manuel Cornejo López

Nacionalidad	Mexicano
Último grado académico	Maestría
Líneas de investigación	Monitoreo de fenómenos meteorológicos en la región de Bahía de Banderas. Contaminación del aire en zonas urbanas. Gestión de Riesgo en cuencas hidrológicas.

Publicaciones más relevantes

Análisis del campo de viento en Puerto Vallarta, Jalisco, México.

Avances sobre investigaciones marinas y acuícolas del Pacífico Tropical Mexicano. Universidad de Colima. ISBN: 178-170-1022-83-4

Desastres por eventos meteorológicos y su percepción social en Puerto Vallarta, Jalisco. Revista Acta Republicana Política y Sociedad.

Tomatlán a futuro, Edificando el porvenir 2012-2040.

Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa. Coordinadores Rodrigo Espinoza Sánchez, Jorge Téllez López, Rosa María Chávez Dagostino, Edmundo Andrade Romo, José Luis Cornejo Ortega. Publicado 2015. ISBN: 978 607 742 272 3, pp. 324.

Yolanda Guadalupe García Huante

Nacionalidad	Mexicana
Último grado académico	Doctorado
Líneas de investigación	Evaluación de la expresión génica microbiana. Producción nativa y recombinante de metabolitos y enzimas microbianas de interés industrial.

Publicaciones más relevantes

García-Huante Y, Cayetano-Cruz M, Santiago-Hernández A, Cano-Ramírez C, Marsch-Moreno R, Campos JE, Aguilar-Ororio G, Benitez-Cardoza CG, Trejo-Estrada S, Hidalgo-Lara ME. 2017. The thermophilic biomass-degrading fungus *Thielavia terrestris* Co3Bag1 produces a hyperthermophilic and thermostable ~1,4-xylanase with exo- and endo-activity. *Extremophiles*. 21: 175-186.

Ruiz B, Chávez A, Forero A, García-Huante Y, Romero A, Sánchez M, Rocha D, Sánchez B, Rodríguez-Sanoja R, Sánchez S, Langley E. 2010. Production of microbial secondary metabolites: regulation by the carbon source. *Crit Rev Microbiol*. 36(2):146-67. Review.

Sánchez S, Chávez A, Forero A, García-Huante Y, Romero A, Sánchez M, Rocha D, Sánchez B, Avalos M, Guzmán-Trampe S, Rodríguez-Sanoja R, Langley E, Ruiz B. 2010. Carbon source regulation of antibiotic production. *J Antibiot (Tokyo)*. 63(8):442-59. Epub 2010 Jul 28. Review.

Yolanda Huante González

Nacionalidad	Mexicana
Último grado académico	Maestría en biología marina

Líneas de investigación

Microbiología ambiental y de alimentos

Publicaciones más relevantes

- Emmanuel de Jesús Ramírez-Rivera, Lorena Guadalupe Ramón-Canul, Amado Jorge Shain-Mercado, Yolanda Huante-Gonzalez, Concepción Martínez-Lievana, Fátima Karina Delgado-Vidal, José Manuel Juárez-Barrientos, Humberto Rafael Bravo-Delgado, Jesús Rodríguez-Miranda & Luling Preza Lagunes. Hamburguesa de *Euthynnus lineatus*: Correlación de los análisis químicos, instrumentales y la percepción sensorial de consumidores. 2011. Rev. Ciencia y Mar XV (43) 3-12.
- Huante-González Y. Contaminación Biológica en la Bahía de Puerto Ángel, Oaxaca. 1997. Rev. Ciencia y Mar. 1: (2) 38-43.
- María Hernández-Cervantes, Juliana López-Velazquez, Tania-Gómez-Alvarado, Rodrigo Santiago-Cabrera, Lorena Guadalupe Ramón-Canul, Fátima Karina Delgado-Vidal, Amado Jorge Shain-Mercado, Yolanda Huante-González & Emmanuel de Jesús Ramírez-Rivera. Comparación de la descripción sensorial del queso fresco "cuajada" mediante el análisis descriptivo cuantitativo y de perfil flash. 2012. Rev. Ciencia y Mar. XIV (42): 3-12.

Estudios recientes en el océano Pacífico mexicano, coordinado por Alfredo Pérez Morales y María del Carmen Álvarez García, fue editado en la Dirección General de Publicaciones de la Universidad de Colima, avenida Universidad 333, Colima, Colima, México, www.ucol.mx. La edición se terminó en diciembre de 2018. En la composición tipográfica se utilizó la familia Veljovic-Book. El tamaño del libro es de 22.5 cm de alto por 16 cm de ancho. Programa Editorial: Alberto Vega Aguayo. Gestión administrativa: María Inés Sandoval Venegas. Cuidado de la edición: Alberto Vega Aguayo.

El presente libro es una obra académica y de divulgación científica que presenta resultados de proyectos de investigación y de análisis de información actual, concerniente a estudios en el océano Pacífico mexicano como una plataforma para la formación científica y académica de estudiantes de licenciatura y posgrado. En esta obra participan diversas universidades, institutos y centros de Investigación de todo el país que han enfocado sus esfuerzos en aportar conocimiento a esta región del mundo.



UNIVERSIDAD DE COLIMA