



PACÍFICO MEXICANO
CONTAMINACIÓN E
IMPACTO
AMBIENTAL
DIAGNÓSTICO Y TENDENCIAS

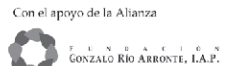


A.V. Botello, F. Páez-Osuna, L. Méndez-Rodríguez,
M. Betancourt-Lozano, S. Álvarez-Borrego y R. Lara-Lara

editores

PACÍFICO MEXICANO. CONTAMINACIÓN E IMPACTO AMBIENTAL: DIAGNÓSTICO Y TENDENCIAS

Alfonso V. Botello, Federico Páez-Osuna,
Lia Mendez-Rodríguez y Miguel Betancourt-Lozano,
Saul Álvarez-Borrego y Rubén Lara-Lara
editores



Con el apoyo de la Alianza

Pacífico Mexicano. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias

Botello, A.V., F. Páez-Osuna, L. Mendez-Rodríguez, M. Betancourt-Lozano, S. Álvarez-Borrego y R. Lara-Lara (eds.), 2014. Pacífico Mexicano. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. UAC, UNAM-ICMYL, CIAD-MAZATLÁN, CIBNOR, CICESE. 930 p.

© Universidad Autónoma de Campeche, 2014.

Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México

© Universidad Nacional Autónoma de México, 2014

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

© Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Unidad Mazatán, 2014

© Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste SC, 2014

© Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, 2014

ISBN 978-607-7887-94-2

Contenido

Presentación

Directorio de participantes

Tomo I

MARCO CONCEPTUAL

- 1. The Pacific coast of Mexico** 1
A. V. Botello, A. O. Toledo, G. de la Lanza-Espino and S. Villanueva-Fragoso

PLAGUICIDAS

- Introducción** 29
A. V. Botello
- 2. Niveles de concentración de pesticidas organoclorados en moluscos bivalvos del NW de México** 33
J. I. Osuna-López, M. G. Frías-Espericueta, G. López-López, G. Izaguirre-Fierro, H. Zazueta-Padilla, M. Aguilar-Juárez, E. M. Correa-González, J. C. Bautista Covarrubias, J. A. Cervantes-Atondo, L. Sánchez-Osuna y D. Voltolina
- 3. Plaguicidas organoclorados en huevos de la tortuga golfina *Lepidochelys olivacea* (Eschscholtz, 1829), en las costas del estado de Sinaloa, México** 43
L. García Solorio, E. Noreña Barroso y S. Capella Vizcaino
- 4. Plaguicidas y PCB en sedimentos de granjas camaronícolas en un sistema costero de Sinaloa, México** 57
L. M. García-de la Parra, C. González-Valdivia, L. Juleny Cervantes-Mojica, G. Aguilar-Zárate, P. Bastidas y M. Betancourt-Lozano

- 5. Impacto socio-económico del uso de agroquímicos en distritos de riego del noroeste de México (DR 063 Guasave, Sinaloa, y DTT 009 El Bejuco, Nayarit)** 73
F. A. González Farias, X. Cisneros Estrada, D. Escobedo Urías y M. López Hernández
- 6. Consideraciones toxicológicas sobre el uso de plaguicidas en un valle agrícola del noroeste de México** 101
J. Belisario Leyva-Morales, L. M. García de la Parra, I. Eugenia Martínez-Rodríguez, P.J. Bastidas-Bastidas, J.E. Astorga-Rodríguez, J. Bejarano-Trujillo y M. Betancourt-Lozano
- 7. Plaguicidas organoclorados en sistemas costeros de Nayarit** 119
M. L. Robledo-Marenco, C. Alberto Romero-Bañuelos, A. Elizabeth Rojas García, I. Martha Medina Díaz, Y. Y. Bernal Hernández, B. Socorro Barrón Vivanco y M. I. Girón Pérez
- 8. Plaguicidas organoclorados en agua y sedimento durante la época de secas y lluvias en la laguna de Agua Brava, Nayarit** 139
A. Islas-García, Fernando A. González-Farías, L. Robledo Marenco, J. B. Velázquez Fernández y A. V. Botello
- 9. Contenido de plaguicidas organoclorados en varios peces depredadores de la costa de Oaxaca y evaluación del riesgo de exposición por consumo en la salud humana** 169
G. Martínez Villa, M. Betancourt-Lozano, G. Aguilar Zárate, J. Ruelas Inzunza, V. Anislado Tolentino, G. Cerdanars Ladrón de Guevara, S. Ramos Carrillo y G. González Medina
- 10. Efectos de plaguicidas organoclorados y organofosforados en humanos** 209
M. G. Frías-Espéricueta, M. Aguilar-Juárez, I. Osuna-López, J. A. Cervantes-Atondo, G. Izaguirre-Fierro, G. López-López, L. Sánchez-Osuna, H. Zazueta-Padilla y D. Voltolina

METALES, METALOIDES E HIDROCARBUROS

- Introducción** 221
F. Páez Osuna y L. Mendez
- 11. Metales y metaloides: origen, movilidad y ciclos biogeoquímicos** 225
F. Páez-Osuna
- 12. Transferencia de Cd, Cu, Hg, Pb y Zn en la trama trófica de un ecosistema lagunar subtropical de la región centro-este del golfo de California** 241
M. E. Jara Marini, L. García Rico, J. García Hernández y F. Páez-Osuna
- 13. Metales pesados (Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Hg y Zn) y metil-mercurio en mamíferos marinos varados en el golfo de California** 267
J. Ruelas-Inzunza, F. Páez-Osuna y M. Horvat
- 14. Monitoreo de cuatro metales pesados y un metaloide en isópodos de la especie *Ligia occidentalis* (s.l.) (Dana, 1853), en costas rocosas con diferentes impactos antropogénicos, en Guaymas, Sonora, México** 279
A. Guido Moreno, J. García Hernández, M. E. Jara Marini, G. Leyva García y D. Aguilera Márquez
- 15. La contaminación y distribución de metales pesados en la laguna costera de Barra de Navidad (Jalisco) en el Pacífico Mexicano** 293
U. Zaragoza-Araujo, J. L. Zavala-Aguirre, A. Zavaleta-Carmona, F. J. Barragán-Vázquez y J. de Anda-Sánchez
- 16. Efectos del dragado de una bahía en el sur de Sonora, en las concentraciones de metales pesados de huevos de aves de colonia** 323
D. Aguilera-Márquez, G. Leyva-García y J. García-Hernández
- 17. Mercurio total en algunas especies marinas del noroeste de México: evaluación de riesgo a la salud** 341
C. G. Delgado-Alvarez, M. G. Frías-Espericueta y J. R. Ruelas-Inzunza
- 18. Niveles de mercurio en peces de las costas mexicanas** 349
A. Vargas-Jiménez, M. G. Frías-Espericueta y J. R. Ruelas-Inzunza
- 19. Arsénico en organismos marinos del Pacífico Mexicano** 365
M. E. Bergés Tiznado y F. Páez-Osuna

- 20. Determinación de metales pesados en cuerpos de agua: la ostricultura en Sonora** 379
L. García-Rico, L. Tejeda Valenzuela, M. E. Jara-Marini, A. Gómez-Álvarez y J. García-Hernández
- 21. Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (hap) en la costa del golfo de Tehuantepec, México** 397
R. Flores Ramírez, A. Berumen Rodríguez, C. Ilizaliturri Hernández, J. Chiprés de la Fuente, H. Romo Toledano, D. García Morales y G. Espinosa-Reyes
- 22. Indicadores microbiológicos e hidrocarburos aromáticos policíclicos del sistema costero Chantuto-Panzacola, Chiapas** 413
L. G. Calva Benítez, M. R. Torres-Alvarado, S. H. Hernández Álvarez y G. M. Trejo Aguilar

Tomo II

MICROBIOLOGÍA Y FLORECIMIENTOS ALGALES

- Introducción** 437
I. Wong Chang
- 23. Incidencia de vibrios patógenos en ostión *Crassostrea gigas* cultivado en la península de Baja California** 441
C. Abraham Guerrero Ruíz, J. A. Fuentes Pascacio y M. L. Lizárraga-Partida
- 24. Contaminación microbiológica en la Bahía de Acapulco** 457
G. Barrera Escorcia, J. C. Vázquez Martínez y M. E. Meave del Castillo
- 25. Contaminación microbiológica en la zona costera del Pacífico Mexicano** 477
Carlos Leopoldo Fernández-Rendón y Guadalupe Barrera-Escorcia
- 26. Impacto ambiental de los Florecimientos Algales Nocivos (FAN)** 495
R. Cortés-Altamirano, M. C. Cortés-Lara, R. Alonso-Rodríguez y S. Licea-Durán
- 27. Los florecimientos macroalgales de las costas del Pacífico Mexicano: una síntesis sobre sus causas y efectos** 509
A. Piñón-Gimate, Federico Páez-Osuna, E. Serviere-Zaragoza y M. Casas-Valdez

IMPACTO AMBIENTAL

- Introducción** 535
S. Álvarez-Borrego y R. Lara-Lara
- 28. Impacto en la calidad del aire en la región del golfo de California, México** 539
H. Bravo A., R. Sosa E., I. Cureño G., P. Sánchez A., M. Jaimes P., G. Fuentes G., V. Torres M. y J. Genescá LL.
- 29. Índices para determinar salud ambiental acuática. Estudios de caso en las regiones del istmo de Tehuantepec y la costa oriental del golfo de California** 559
S. Margarita Ortiz Gallarza y A. Ortega Rubio
- 30. Biovigilancia de contaminantes orgánicos persistentes en la costa occidental de Baja California** 591
E.A. Gutiérrez Galindo, C. Quezada Hernández, M.V. Orozco Borbón, L. W. Daesslé
- 31. Isótopos estables ($\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$) en organismos filtradores como trazadores de contaminación: un caso de estudio en dos lagunas costeras del sureste del golfo de California, México** 619
Y. E. Torres-Rojas y F. Páez-Osuna
- 32. El impacto ambiental de proyectos portuarios turísticos en bahía Magdalena, Baja California Sur, México** 635
R. Marcín Medina, G. Hinojosa Arango, J. López Calderon, A. Gómez Gallardo, E. Nájera-Hillma, y R. Riosmena Rodríguez
- 33. Organismos macrobénticos indicadores de contaminación. Bahía de Guaymas, Sonora, costa oriental del golfo de California** 655
S. M. Ortiz Gallarza, G. J. de la Lanza Espino y R. T. Pérez Rodríguez
- 34. Impactos medioambiental y socioeconómico sobre la cuenca baja del río Culiacan, Sinaloa** 687
G. de la Lanza Espino y Norma Sánchez Santillan
- 35. Evaluación de la calidad del agua en el sistema estuarino de Uriás, México por medio de índices tróficos** 705
M. Á. Sánchez-Rodríguez, E. I Izaguirre-Flores, y O Calvario-Martínez

- 36. Comportamiento anual de la calidad del agua del estero de Urias, México** 721
E. I. Izaguirre-Flores, M. A. Sánchez-Rodríguez y O. Calvario-Martínez
- 37. Biomarcadores bioquímicos en ostión *Crassostrea corteziensis* del estero Boca de Camichín, Nayarit** 739
L. Ortega-Cervantes, I. Martha Medina-Díaz, Y. Yvette Bernal-Hernández, A. E. Rojas-García, M. L. Robledo-Marenco, B. Socorro Barrón-Vivanco, M. Iván Girón-Pérez y C. A. Romero-Bañuelos
- 38. Contaminación en la bahía de Zihuatanejo** 751
D.J. Izurieta, F.P. Saldaña, B.L. Inclan, J. Sánchez, Ch., F.A. Ordoñez, L.A. Ruiz, C.M. Mijangos, M.J. Cortes, P.R. Morales, L. J. Pérez, M.H. Vélez, A.I. Ramírez y T.A. Mejía.
- 39. Influencia de las descargas de aguas residuales y su impacto en la calidad del agua de la bahía de Acapulco, Guerrero** 789
M. P. Saldaña-Fabela, M. A. Gómez-Balandra, J. Izurieta-Dávila y Y. Pica-Granados
- 40. La prueba de micronúcleos: biomarcador de contaminación genotóxica, mutagénica o/y teratogénica** 819
O. Torres-Bugarín, M. L. Ramos-Ibarra, S. Ruíz Bernés, A. Flores García y M. Guadalupe Zavala
- 41. Histopatologías en el camarón blanco *L. vannamei* expuestos a una mezcla de metales** 849
S.M. Abad-Rosales, M.G. Frías-Espericueta, A.C. Nevárez-Velázquez, J.I. Osuna-López, F. Páez-Osuna, R. Lozano-Olvera y D. Voltolina
- 42. Efectos del cultivo de peces en jaulas flotantes sobre la calidad del agua y de los sedimentos en el Pacífico Mexicano** 859
J. Ramón Rendón Martínez, M. G. Frías Espericueta, C. Hernández, D. A. Osuna Bernal, E. Romero-Beltrán y D. Voltolina

NORMATIVIDAD

- 43. Normatividad en zonas costeras** 873
T. E. Saavedra Vázquez

En reconocimiento a su trayectoria académica



DR. SAÚL ÁLVAREZ BORREGO

Curso estudios en su natal Mazatlán hasta la Preparatoria. Estudió Oceanología en la Escuela Superior de Ciencias Marinas en Ensenada en 1963-1967, obteniendo la primera Mención Honorífica que otorgó la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) al titularse en 1968. Ganó el primer concurso de oposición de la UABC para dar clases de matemáticas en 1967. A los cuatro meses de llegar a Oregon State University empezó a dar clases de Laboratorio de Oceanografía Química en el Posgrado del cual era estudiante, a los 22 años de edad. Esto fue el inicio de lo que ahora, en 2015, son 50 años de labor docente en Preparatoria, Licenciatura, Maestría y Doctorado. Obtuvo su Maestría en Ciencias en año y medio en 1968-1970 y el Doctorado en tiempo record de dos años en 1970-1972, ambos en Oregon State University. Fue el primer Doctorado de los becarios del CONACYT y el primer egresado de la UABC que obtuvo Maestría y Doctorado. Fue Director de la Unidad de Ciencias Marinas de la UABC a los 27 años de edad, y a los 28 lo nombraron Director General del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), cargo que ocupó hasta los 43 años de edad. En su tiempo el CICESE creció de cinco investigadores a más de noventa, y se alcanzó la meta de poner a Ensenada en el mapa mundial de la investigación científica. Mientras fue Director, Saúl nunca dejó de ser un académico. Ha dirigido tesis de todos los niveles: 24 de Licenciatura, 27 de Maestría en Ciencias, dos de Maestría en Administración Integral del Ambiente y nueve de Doctorado en Ciencias. Dirigió la primera tesis de Doctorado que se presentó en la UABC (en 1994). Ha sido sinodal en exámenes de Maestría y Doctorales, además de en el CICESE y en la UABC, en Oregon State University, en San Diego State University, en la Facultad de Ciencias y en la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM, en el CINVESTAV DF del Instituto Politécnico Nacional, en la Universidad Anamalai de la India, y en la Universidad de Marsella. Es nivel III (el más alto) del Sistema Nacional de Investigadores desde 1990. Ha producido un total de 132 trabajos científicos en revistas arbitradas de circulación internacional y como capítulos de libros. Su primera publicación científica cumplirá 44 años en agosto de 2015, se publicó en el Journal of the Oceanographical Society of Japan (ahora Journal of Oceanography). En marzo de 1973, este mismo Journal incluyó la primera publicación científica del IIO-UABC con Saúl como primer autor. Cuenta con más de 3190 citas por otros autores en 239 revistas arbitradas diferentes, además de en libros y tesis. Sus publicaciones son citadas por investigadores que trabajan en todo el mundo, desde el Ártico hasta el Antártico, del Mediterráneo a los estuarios de la India. Disciplinariamente lo citan todo tipo de colegas: biólogos, físicos, químicos, geólogos, sedimentólogos, los que trabajan con plancton, con aves marinas, los mastozoólogos, etc. Al iniciar 2015 ha cumplido 40 años de servicios ininterrumpidos en el CICESE. Ha sido invitado

para participar en reuniones internacionales en México, Estados Unidos, Canadá, Brasil, Ecuador, Uruguay, Australia y Turquía. Ha sido miembro de diferentes Comités de Asesores de Instituciones en México y Estados Unidos, incluyendo el San Diego Natural History Museum y el Institute for Mexico and the United States de la Universidad de California. Ha participado en 23 cruceros oceanográficos, el más largo de los cuales fue de 60 días a bordo del R/V "Thomas Washington" de Scripps en 1968, ha navegado desde el área entre Chile y Nueva Zelanda hasta el Mar de Bering y el Golfo de Alaska; en el Atlántico alrededor de Bermuda y en el Mediterráneo; pero el Golfo de California ha sido su amor principal en donde ha navegado a bordo de barcos de Scripps, la US Navy y la UNAM. Cuenta con una serie de reconocimientos que incluyen "The Science & Engineering Model Award 1990" de la Mexican and American Foundation; la más alta presea de la Unión Geofísica Mexicana: Medalla y Diploma "Mariano Bárcenas" versión 1998; de PRONATURA, A.C., diploma 1998 por sus labores a favor de la conservación de la fauna y la flora silvestres, como Vicepresidente Científico de PRONATURA Noroeste; de la Fundación Acevedo: Medalla y Diploma como uno de los "Forjadores de Baja California", entregados en presencia de los dos gobernadores, de Baja California y Baja California Sur, en 1999; en 2004 se le nombró Editor Emérito de la revista Ciencias Marinas en ocasión de sus treinta años de existencia (revista que fundó en 1974 siendo Director del IIO-UABC); el Premio Estatal de Ciencia y Tecnología 2005 otorgado por el Gobierno de Baja California; de la Asociación de Investigadores del Mar de Cortés, A.C., se le puso su nombre a los premios a la mejor tesis de Licenciatura, mejor tesis de Maestría en Ciencias, y mejor tesis Doctoral a partir de 2005; Doctorado Honoris Causa otorgado por la Universidad Autónoma de Baja California en 2006; Doctorado Honoris Causa otorgado por la Universidad de Sonora en 2009; del Gobierno del Estado de Sinaloa el reconocimiento "Sinaloenses Ejemplares en el Mundo" otorgado en 2010; y de la Asociación de Oceanólogos de México el Premio Nacional de Oceanografía en la primera ocasión que lo otorgan por trayectoria profesional, en 2010 en ocasión del XVI Congreso Nacional de Oceanografía.

En reconocimiento a su trayectoria académica



DR. FEDERICO PÁEZ OSUNA

Nació en El Fuerte, Sinaloa y cursó la carrera de ingeniería bioquímica en la Facultad de Ciencias-Químico-Biológicas de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Realizó estudios de maestría y doctorado en Ciencias del Mar en la Universidad Nacional Autónoma de México. Con 33 años de desempeño en la UNAM, actualmente el Doctor Páez es investigador titular “C” de tiempo completo, adscrito al Instituto de

Ciencias del Mar y Limnología, con nombramiento de investigador nacional nivel III.

Su principal interés ha sido en los campos de la Biogeoquímica, Contaminación Acuática y la Acuicultura. Las líneas de investigación desarrolladas por el Dr. Páez incluyen el ciclaje de nutrientes y metales pesados en los ecosistemas acuáticos; la distribución, acumulación y transferencia de metales y metaloides en organismos acuáticos; el impacto ambiental y desarrollo sustentable de la acuicultura; geocronología reciente de la contaminación en el medio acuático; y la utilización de isótopos estables en la biogeoquímica acuática. Esta variada gama de líneas de investigación se explica por la creación de un grupo actualmente de 7 investigadores del alto nivel; el grupo de geoquímica ambiental y marina (GEMA).

Ha publicado 198 artículos científicos, 27 artículos de divulgación, 44 capítulos de libro, 7 libros y ha sido editor de 6 libros. Tiene al menos 4550 citas y un factor h de 32.

Su labor docente y de formación de recursos humanos comprende la impartición de más de 82 cursos en diferentes instituciones; 55 a nivel posgrado. Ha dirigido 78 tesis: 13 de doctorado, 41 de maestría y 24 de licenciatura y ha formado a 11 investigadores, 5 de ellos nivel 2 del SNI.

Ha sido Consejero Editorial de revistas nacionales como Hidrobiológica (UAM), Investigaciones Marinas (IPN), Ciencias del Mar (UAS) y Universidad y Ciencia (UJAT) y de revistas internacionales como Environmental Pollution (Elsevier) y de Biological Trace Element Research (Springer).

Entre los reconocimientos recibidos por el Dr. Páez sobresalen, la Cátedra Especial “Ezequiel A. Chávez”, otorgada por la UNAM por su desempeño docente; la distinción UNAM en investigación; el Premio al Mérito Ecológico otorgado por el Gobierno Federal; y su ingreso como miembro a El Colegio de Sinaloa.

En memoria,



ALEJANDRO VILLALOBOS FIGUEROA

1918 - 1982

Alejandro Villalobos Figueroa fue uno de los pioneros a nivel nacional e internacional en el campo de la Biología Marina y en el estudio de los crustáceos (Carcinología), de México. Nació en Pochutla, Oaxaca, en 1918 y falleció realizando sus investigaciones en la Laguna de Tamiahua, Veracruz, en 1982.

Estudió Biología en el Instituto de Biología de la UNAM. En 1938 ingresó a la Maestría en Ciencias, y en 1943 se tituló como Maestro en Ciencias. Se incorporó al personal académico del Instituto de Biología, como Auxiliar de Investigador (1943), Ayudante de Investigador (1946), Investigador Científico (1949) e Investigador de Tiempo Completo (1956-1973). En 1954 fue premiado por la Rockefeller Foundation Fellowship con una beca para realizar consultas en los museos de historia natural de Washington, Philadelphia, New York y Chicago. Perteneció a sociedades científicas como la Academia de la Investigación Científica, la Sociedad Mexicana de Historia Natural, la Sociedad Mexicana de Entomología, la Sociedad Mexicana de Hidrobiología, la Sociedad Latinoamericana de Oceanografía, la Sociedad Mexicana de Zoología y la Sociedad de Crustáceos (The Crustacean Society).

Trabajó también en la Universidad Autónoma Metropolitana (1974-1982) donde desarrolló el plan de estudios e instituyó la Licenciatura en Hidrobiología, que se imparte actualmente en dicha universidad, y fue profesor de la cátedra de Hidrobiología. En esta institución se desempeñó como Jefe del Departamento de Zootecnia y del Área de Ecosistemas Acuáticos (1974-1980). A nivel de posgrado dictó los cursos de Biología Marina en el Instituto de Biología, UNAM (1963-1966), de Ecología Marina, de Estuarios y de Arrecifes Madreporicos, de Biología Marina y de Crustáceos en la Facultad de Ciencias, UNAM (1966-1972), de Ecología General y de Ecología Humana, en la Facultad de Medicina, UNAM (1965-1973).

Consultor de diversas instituciones como la UNESCO, FAO, INDECO, CONACYT, INP, BCE). Participó activamente en las investigaciones sobre los efectos del derrame del pozo Ixtoc en el Golfo de México y para declarar la isla Contoy en Quintana Roo, reserva natural.



En particular estudió a los camarones de río conocidos como acociles (Familia Cambaridae), sobre los cuales publicó 17 trabajos, en los que generó las bases taxonómicas del grupo y describió especies nuevas para los géneros *Cambarellus*, *Procambarus* y *Paracambarus*.

Dirigió tesis a más de medio centenar de alumnos de licenciatura, maestría y doctorado. Fundó el grupo de investigadores en Biología Marina, en donde se formaron y consolidaron jóvenes académicos que años después destacarían en diferentes campos de las ciencias marinas. entre ellos se encontraban Jorge

Alberto Cabrera (Acuacultura), Andrés Reséndez (Ictiología), Samuel Gómez Aguirre (Plancton), Virgilio Arenas (Pesquerías), Guadalupe de la Lanza (Hidrobiología), Fernando Manrique (Crustáceos y Biología Marina), María Eugenia Loyo (Plancton), Cesar Flores Coto (Plancton), María Antonieta Aguayo (Plancton), Gerardo Green (Esponjas), Luis A. Soto (Ecología del Bentos y Crustáceos), Martha Signoret (Fitoplancton), Edith Polanco (Pesquerías), Sergio Licea (Fitoplancton) y Roberto Pérez (Malacología).

El Dr. Villalobos dejó una rica herencia científica en los campos de la Hidrobiología y la Carcinología. A 30 años de su desaparición se le sigue recordando como el forjador del estudio de las ciencias marinas en México y formador de una de las generaciones más nutrida de especialistas en este campo de la biología.

En memoria.



DR. DANIEL LLUCH BELDA

1942 - 2014

Nace el 5 de enero de 1942, en Uruapan, Mich., lugar donde realiza sus estudios básicos. Posteriormente se traslada a la Ciudad de México, donde cursa el nivel medio básico, medio superior y superior. El 25 de agosto de 1967 obtiene, con mención honorífica, el título de Biólogo en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) del IPN. Realiza estudios de especialización a nivel posgrado, en el área de pesquerías, en el Collage of Fisheries University of Washington, Seattle, Wash. EUA. El 29 de abril de 1977, le es otorgado el grado de Doctor en Ciencias

con la especialidad en Biología en la ENCB del IPN. Inicia su experiencia profesional en 1961, en la Escuela Vocacional de Ciencias Médico Biológicas del IPN, como ayudante de prácticas, pasando en 1962 a desempeñar las funciones de laboratorista clínico. En 1963 se incorpora al Instituto Nacional de Investigaciones Biológico Pesqueras de la Secretaría de Industria y Comercio (INIBP/SIC), como ayudante de Biólogo en la Sección de Ictiología, donde posteriormente ocupa el puesto de Jefe de Sección de Mastozoología de 1964 a 1967. Durante 1967 y 1968, es becado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación para asistir a cursos de posgrado en la Universidad de Washington. En 1968, se reincorpora al INIBP/SIC como Jefe de la Sección de Procesamiento de Datos. En 1969 ingresa a la ENCB del IPN como Profesor de Tiempo Parcial, obteniendo en ese mismo año el nombramiento de Profesor de Tiempo Completo. En 1970 pasa a la Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas del IPN como Jefe del Departamento de Investigación Científica y Tecnológica.

En 1971 ingresa al Instituto Nacional de la Pesca de la SIC como Jefe del Departamento de Biología y Dinámica de Poblaciones, cargo que ocupa hasta 1972, ya que en 1973 es designado Jefe de la División de Biología Pesquera. De 1974 a 1976 se desempeña como Coordinador Técnico Ejecutivo y Jefe del Programa Camarón del Pacífico, el cual le toca organizar totalmente y abordar el análisis de la pesquería más problemática del país en ese momento.

Dentro de la dependencia antes mencionada es designado Subdirector de Biología Pesquera en 1977. De manera simultánea de 1971 a 1977 labora como Profesor de Tiempo Parcial en la ENCB del IPN.

En enero de 1978 se incorpora al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas como Coordinador Académico siendo designado Director del mismo a partir de 16 de junio, puesto en el que, después de un esfuerzo considerable, logra consolidar la Institución hasta convertirlo en el centro de investigación y posgrado que ocupaba el lugar más importante para el IPN. En mayo de 1984, acepta la invitación para ocupar el cargo de Director General del Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A.C., perdurando en el cargo hasta 1997. Cabe destacar que durante este periodo, a pesar de que el país pasaba por una etapa de marcada austeridad económica, logró transformar las condiciones críticas de este Centro en un avance y consolidación sostenida hasta 1993, año en el cual la Asamblea de Asociados decidió transformar al CIB en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., en consideración a que se contaba con la expectativa de poder transferir tecnología mediante el mecanismo de asociación productiva con los sectores empresarial y social. En esta misma Asamblea de Asociados, el Dr. Lluch es nombrado Director General, por un primer periodo de este nuevo Centro, cargo que ocupa hasta 1997. A partir de 1997 nuevamente se incorpora como al CICIMAR como Profesor Investigador de Tiempo Completo, donde permaneció hasta su deceso.

Por sus méritos profesionales y su fructífera labor académica y de investigación recibió numerosas distinciones, dentro de las que figura el que en el 2005 se le haya otorgado el Premio al Mérito Científico y Tecnológico, distinción que le es entregada por el Gobernador del Estado de Baja California Sur, Ing. Narciso Agundez, en un evento solemne celebrado en la Sala de Gobernadores del Palacio del Gobierno de BCS.

En su línea de trabajo de los últimos años, "*Investigaciones sobre la variabilidad climática y oceánica y sus efectos sobre los recursos vivos*" integró grupos de investigación, dirigió grupos nacionales e internacionales y publicó numerosos trabajos acerca de importantes pesquerías, los cuales han sido difundidos a través de revistas internacionales de amplia circulación y reconocimiento en el ambiente científico.

El Dr. Lluch Belda dictó más de 80 conferencias en distintas instituciones en el país y extranjeras, fue ponente en numerosos eventos académicos nacionales e internacionales y culminó la dirección de 40 tesis de grado y de licenciatura.

Antes de su fallecimiento, el Dr. Lluch Belda ostentaba el reconocimiento de Investigador Nacional Nivel 3, el más alto dentro del Sistema Nacional de Investigadores y también Miembro activo de la Academia Mexicana de Ciencias así como los más altos reconocimientos dentro de las categorías académicas a los que puede aspirar el personal del Instituto Politécnico Nacional.

En 2007 recibió el premio Nobel de la Paz en conjunto con otros colegas del mundo al formar parte del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) de las Naciones Unidas.

Este legado académico y personal, no se puede terminar de entender si no se menciona a doña Olga Freda, esposa de Daniel, quién siempre fue un apoyo fundamental en el desarrollo profesional y familiar del Dr. Daniel Lluch Belda.

Requiescat in pace in aeternum Dr. Daniel Lluch Belda.

Presentación

México tiene en el mar una extraordinaria fuente de megadiversidad biológica, lo que plantea el gran reto de conservar nuestro valioso patrimonio natural y social, en medio de las prioridades de crecimiento económico, tanto nacionales como locales.

Por ello, consideramos fundamental la participación de instituciones académicas y centros de investigación de educación superior en un esfuerzo conjunto para la creación y aplicación de estrategias que mitiguen el impacto ambiental que representan los importantes asentamientos humanos, complejos turísticos, portuarios, industriales y comerciales, así como la agricultura, ganadería, pesca, extracción y conducción de hidrocarburos, que inciden directa o indirectamente en las costas del Océano Pacífico, Golfo de México y el Mar Caribe.

El gran desafío consiste en asumir a plenitud nuestro papel como agentes del cambio social en sociedades caracterizadas por su necesidad de crecer y en donde el mar adquiere una importancia vital.

La Universidad Autónoma de Campeche en respuesta a su compromiso social y a las más altas aspiraciones ciudadanas, entre otras aportaciones, difunde el conocimiento de científicos y líderes académicos mediante la publicación de sus trabajos, actividad en la que destaca el Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México.

En esta tesitura, es un honor presentar la primera edición de la obra *Pacífico Mexicano. Contaminación e Impacto Ambiental. Diagnóstico y Tendencias*, que concentra la aportación de 150 autores de 28 instituciones de investigación, esfuerzo de gran trascendencia académica y que acrecienta nuestra sensibilidad respecto a las relaciones complejas que se dan entre el hombre y la naturaleza.

DEL ENIGMA SIN ALBAS, A TRIÁNGULOS DE LUZ

Lic. Gerardo Montero Pérez
Rector, Universidad Autónoma de Campeche

Directorio de participantes

A

Selene M. Abad-Rosales

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Mazatlán
Mazatlán, Sinaloa. México.

Marisela Aguilar-Juárez

Laboratorio de Estudios Ambientales,
Facultad de Ciencias del Mar,
Universidad Autónoma de Sinaloa,
Mazatlán, Sinaloa, Mexico.

Gabriela Aguilar-Zárate

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Mazatlán
Mazatlán, Sinaloa. México.

Daniela Aguilera Márquez

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Guaymas
Guaymas, Sonora. México.

Rosalba Alonso-Rodríguez

Unidad Académica Mazatlán
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Mazatlán, Sinaloa. México.

Saúl Álvarez-Borrego

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada
Baja California (CICESE)
Ensenada, B.C., México.

Sergio H. Álvarez Hernández

Departamento de Hidrobiología
Universidad Autónoma
Metropolitana Iztapalapa
México D.F. México.

Jesús Efren Astorga-Rodríguez

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Mazatlán
Mazatlán, Sinaloa. México.

B

Francisco Javier Barragán-Vázquez

Universidad de Colima
Colima, Colima. México.

Guadalupe Barrera Escorcía

Departamento de Hidrobiología
Universidad Autónoma
Metropolitana Iztapalapa
México D.F. México.

Brisca Socorro Barrón Vivanco

Secretaría de Investigación y Posgrado,
Universidad Autónoma de Nayarit
Tepic, Nayarit. México

Pedro Bastidas Bastidas

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Culiacán
Culiacán, Sinaloa. México.

Juan C. Bautista Covarrubias

Secretaría de Investigación y Posgrado,
Universidad Autónoma de Nayarit
Tepic, Nayarit, Mexico.

Jorge Bejarano-Trujillo

Facultad de Agronomía
Universidad Autónoma de Sinaloa
Culiacán, Sinaloa. México.

Magdalena E. Bergés Tiznado

Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología
Unidad Académica Mazatlán
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México
(UNAM). Mazatlán, Sinaloa. México.

Yael Yvette Bernal Hernández

Secretaría de Investigación y Posgrado,
Universidad Autónoma de Nayarit
Tepic, Nayarit. México

Alejandra Berumen Rodríguez

Facultad de Medicina
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
San Luis Potosí, SLP. México.

Miguel Betancourt-Lozano

Centro de Investigación en Alimentación
y Desarrollo A.C., Unidad Mazatlán
Mazatlán, Sinaloa. México.

Humberto Bravo A.

Centro de Ciencias de la Atmósfera
Universidad Nacional Autónoma de México,
(UNAM). México, D.F. México.

C

Laura Georgina Calva Benítez

Departamento de Hidrobiología
Universidad Autónoma
Metropolitana Iztapalapa
México D.F. México.

Omar Calvario-Martínez

Centro de Investigación en Alimentación
y Desarrollo A.C., Unidad Mazatlán
Mazatlán, Sinaloa. México.

Santiago Capella Vizcaino

Unidad de Química de la UNAM,
FAcultad de Química
Sisal, Yucatán. México.

Margarita Casas-Valdez

Centro Interdisciplinario
de Ciencias Marinas (CICIMAR)
Instituto Politécnico Nacional
La Paz, BCS. México.

Genoveva Cerdenas Ladrón de Guevara

Universidad del Mar campus Puerto Ángel,
Puerto Ángel, Oaxaca, México.

Jesús Alberto Cervantes-Atondo

Laboratorio de Estudios Ambientales,
Universidad Autónoma de Sonora-CIBNOR
La Paz, B.C.S. México.

L. Juleny Cervantes-Mojica

Instituto Tecnológico de Tepic
Tepic, Nayarit. México.

Jorge Chiprés de la Fuente

Escuela Superior de Ingeniería Química
e Industrias Extractivas
Instituto Politécnico Nacional
Unidad Profesional Adolfo López Mateos
México D.F., México.

Xóchitl Cisneros Estrada

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Jiutepec, Morelos. México.

Eva M. Correa-González

Laboratorio de Estudios Ambientales,
Facultad de Ciencias del Mar,
Universidad Autónoma de Sinaloa,
Mazatlán, Sinaloa, Mexico.

M.J. Cortes

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Jiutepec, Morelos. México.

Roberto Cortés-Altamirano

Unidad Académica Mazatlán
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México
(UNAM). Mazatlán, Sinaloa. México.

María del Carmen Cortés-Lara

Centro Universitario de la Costa
Universidad de Guadalajara
Puerto Vallarta, Jalisco. México.

Iris Cureño G.

Centro de Ciencias de la Atmósfera
Universidad Nacional Autónoma de México,
(UNAM). México, D.F. México.

D**Luis W. Daesslé**

Instituto de Investigaciones Oceanológicas,
Universidad Autónoma de Baja California
Ensenada, BC. México.

José de Anda-Sánchez

Centro de Investigación y Asistencia
en Tecnología y Diseño del Estado
de Jalisco, A.C.
Guadalajara, Jalisco. México.

Guadalupe de la Lanza-Espino

Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México
(UNAM). México D.F. México

Carolina G. Delgado-Alvarez

Doctorado en Ciencias en Recursos Acuáticos,
Facultad de Ciencias del Mar,
Universidad Autónoma de Sinaloa,
Mazatlán, Sinaloa, Mexico.

E**Diana Escobedo Urías**

Centro Interdisciplinario de Investigación
para el Desarrollo Integral Regional-Sinaloa,
Instituto Politécnico Nacional
Guasave, Sinaloa. México.

Guillermo Espinosa-Reyes

Coordinación para la Innovación y Aplicación
de la Ciencia y la Tecnología
Facultad de Medicina
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
San Luis Potosí, S.L.P. México.

F**Carlos Leopoldo Fernández-Rendón**

Departamento de Hidrobiología
Universidad Autónoma
Metropolitana Iztapalapa
México D.F. México.

Aurelio Flores García

Unidad Académica de Medicina
Universidad Autónoma de Nayarit
Tepic, Nayarit. México.

Rogelio Flores Ramírez

Programa Multidisciplinario de Posgrado
en Ciencias Ambientales
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
San Luis Potosí, SLP. México.

Martín G. Frías-Espéricueta

Laboratorio de Estudios Ambientales,
Facultad de Ciencias del Mar,
Universidad Autónoma de Sinaloa,
Mazatlán, Sinaloa, Mexico.

Gilberto Fuentes G.

Centro de Ciencias de la Atmósfera
Universidad Nacional Autónoma de México,
(UNAM). México, D.F. México.

Jairo Antonio Fuentes Pascacio

Centro de Investigación Científica
y de Educación Superior de Ensenada
Baja California (CICESE)
Ensenada, B.C., México.

Agustín Gómez-Álvarez

Departamento de Ingeniería Química
y Metalurgia
Universidad de Sonora
Hermosillo, Sonora. México.

G

Luz Ma. García-de la Parra

Centro de Investigación en Alimentación
y Desarrollo A.C., Unidad Mazatlán
Mazatlán, Sinaloa. México.

Jaqueline García Hernández

Centro de Investigación en Alimentación
y Desarrollo, A.C. Unidad Guaymas
Guaymas, Sonora. México.

Damián García Morales

Gerencia de Protección Ambiental
PEMEX Refinación
México D.F., México.

Leticia García Rico

Centro de Investigación en Alimentación
y Desarrollo, A.C.
Hermosillo, Sonora. México.

Liliana García Solorio

Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología-
Universidad Nacional Autónoma de México
(UNAM). México, D.F. México.

Juan Genescá LL.

Departamento de Ingeniería Metalúrgica
Facultad de Química
Universidad Nacional Autónoma de México,
(UNAM). México, D.F. México.

Manuel Iván Girón Pérez

Secretaría de Investigación y Posgrado,
Universidad Autónoma de Nayarit
Tepic, Nayarit. México.

Ma. Antonieta Gómez-Balandra

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Jiutepec, Morelos. México.

Alejandro Gómez Gallardo

Departamento de Biología Marina
Universidad Autónoma de Baja California Sur
La Paz, B.C.S. México.

Fernando A. González-Farías

Unidad Académica Procesos
Océánicos y Costeros
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México
(UNAM). México, D.F. México.

Gabriela González Medina

Universidad del Mar campus Puerto Ángel,
Puerto Ángel, Oaxaca, México.

Carolina González-Valdivia

Instituto Tecnológico de Tepic
Tepic, Nayarit. México.

Carlos Abraham Guerrero Ruíz

Centro de Investigación Científica
y de Educación Superior de Ensenada
Baja California (CICESE)
Ensenada, B.C., México.

Adrián Güido Moreno

Centro de Investigación en Alimentación
y Desarrollo A.C., Unidad Guaymas
Guaymas, Sonora. México.

Efraín Abraham Gutiérrez Galindo

Instituto de Investigaciones Oceanológicas,
Universidad Autónoma de Baja California
Ensenada, BC. México.

H

Crisantema Hernández

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Mazatlán
Mazatlán, Sinaloa. México.

Gustavo Hinojosa Arango

Centro para la Biodiversidad Marina y la Conservación A.C.
La Paz, B.C.S. México.

Milena Horvat

Departamento de Ciencias Ambientales,
Jožef Stefan Institute,
Ljubljana, Slovenia.

I

B.L. Inclan

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
 Jiutepec, Morelos. México.

Alejandro Islas-García

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México
(UNAM). México, D.F. México.

César Ilizaliturri Hernández

Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología
Facultad de Medicina
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
San Luis Potosí, SLP. México.

Gildardo Izaguirre-Fierro

Laboratorio de Estudios Ambientales,
Facultad de Ciencias del Mar,
Universidad Autónoma de Sinaloa,
Mazatlán, Sinaloa, Mexico.

Elda Ines Izaguirre-Flores

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Mazatlán
Mazatlán, Sinaloa. México.

Jorge Izurieta-Dávila

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
 Jiutepec, Morelos. México.

J

Monica Jaimes P.

Centro de Ciencias de la Atmósfera
Universidad Nacional Autónoma de México,
(UNAM). México, D.F. México.

Martín Enrique Jara Marini

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Hermosillo
Hermosillo, Sonora. México.

L

Rubén Lara-Lara

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada
Baja California (CICESE)
Ensenada, B.C., México.

Germán Leyva García

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Guaymas
Guaymas, Sonora. México.

José Belisario Leyva-Morales

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Mazatlán
Mazatlán, Sinaloa. México.

Sergio Licea-Durán

Unidad Académica Procesos
Océánicos y Costeros
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México
(UNAM). México, D.F. México.

Marcial Leonardo Lizárraga-Partida

Centro de Investigación Científica
y de Educación Superior de Ensenada
Baja California (CICESE)
Ensenada, B.C., México.

Jorge López Calderon

Departamento de Biología Marina
Universidad Autónoma de Baja California Sur
La Paz, B.C.S. México.

Martín López Hernández

Laboratorio de Química Ambiental
Unidad Académica Procesos
Oceánicos y Costeros
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México
(UNAM). México, D.F. México.

Gabriel López-López

Laboratorio de Estudios Ambientales,
Facultad de Ciencias del Mar,
Universidad Autónoma de Sinaloa,
Mazatlán, Sinaloa, Mexico.

Rodolfo Lozano-Olvera

Centro de Investigación en Alimentación
y Desarrollo A.C., Unidad Mazatlán
Mazatlán, Sinaloa. México.

María Esther Meave del Castillo

Departamento de Hidrobiología
Universidad Autónoma
Metropolitana Iztapalapa
México D.F. México.

Irma Martha Medina Díaz

Secretaría de Investigación y Posgrado,
Universidad Autónoma de Nayarit
Tepic, Nayarit. México.

T.A. Mejía

Instituto de Investigaciones Oceanológicas,
Universidad Autónoma de Baja California
Ensenada, BC. México.

Lia Mendez

C.M. Mijangos

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Jiutepec, Morelos. México.

P.R. Morales

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Jiutepec, Morelos. México.

M

Rocío Marcín Medina

Asociación de Investigación y Conservación
de Mamíferos Marinos y su Hábitat
La Paz, B.C.S. México.

Irma Eugenia Martínez-Rodríguez

Centro de Investigación en Alimentación
y Desarrollo A.C., Unidad Mazatlán
Mazatlán, Sinaloa. México.

Gerardo Martínez Villa

Universidad del Mar campus Puerto Ángel,
Puerto Ángel, Oaxaca, México.

N

Eduardo Nájera-Hillma

Costa Salvaje A.C.
Ensenada, B.C. México.

Aidé C. Nevárez-Velázquez

Laboratorio de Estudios Ambientales,
Facultad de Ciencias del Mar,
Universidad Autónoma de Sinaloa,
Mazatlán, Sinaloa, Mexico.

Elsa Noreña Barroso

Laboratorio de Biogeoquímica
y Calidad de Agua
Unidad de Química de la UNAM,
Facultad de Química
Sisal, Yucatán. México.

O

E.A. Ordoñez

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Jiutepec, Morelos. México.

Laura Ortega-Cervantes

Secretaría de Investigación y Posgrado
Universidad Autónoma de Nayarit
Tepic, Nayarit. México.

Alfredo Ortega Rubio

Centro de Investigaciones Biológicas
del Noroeste, S.C. (CIBNOR)
La Paz, BCS. México.

María Victoria Orozco Borbón

Instituto de Investigaciones Oceanológicas,
Universidad Autónoma de Baja California
Ensenada, BC. México.

Silvia Margarita Ortiz Gallarza

Centro de Investigaciones Biológicas
del Noroeste, S.C. (CIBNOR)
La Paz, B.C.S. México.

Diego Armando Osuna Bernal

CRIP-Mazatlán
Instituto Nacional de la Pesca
Mazatlán, Sinaloa. México.

J. Isidro Osuna-López

Laboratorio de Estudios Ambientales,
Facultad de Ciencias del Mar,
Universidad Autónoma de Sinaloa,
Mazatlán, Sinaloa, Mexico.

P

Federico Páez-Osuna

Unidad Académica Mazatlán
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México
(UNAM). Mazatlán, Sinaloa. México.

Miembro de El Colegio de Sinaloa

L.J. Pérez

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Jiutepec, Morelos. México.

Roberto T. Pérez Rodríguez

Departamento El Hombre y su Ambiente,
Universidad Autónoma
Metropolitana Xochimilco
México D.F. México.

Yolanda Pica-Granados

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Jiutepec, Morelos. México.

Alejandra Piñón-Gimate

Centro Interdisciplinario
de Ciencias Marinas (CICIMAR)
Instituto Politécnico Nacional
La Paz, BCS. México.

Q

Cristina Quezada Hernández

Instituto de Investigaciones Oceanológicas,
Universidad Autónoma de Baja California
Ensenada, BC. México.

R

A.I. Ramírez

Centro de Investigación Científica
y de Educación Superior de Ensenada
Baja California (CICESE)
Ensenada, B.C., México.

Samuel Ramos Carrillo

Universidad del Mar campus Puerto Ángel,
Puerto Ángel, Oaxaca, México.

María Luisa Ramos-Ibarra

Centro Universitario de Ciencias Biológicas
y Agropecuarias
Universidad de Guadalajara
Zapopan, Jalisco. México.

Jesús Ramón Rendón Martínez

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México
(UNAM). México, D.F. México.

Rafael Riosmena Rodriguez

Departamento de Biología Marina
Universidad Autónoma de Baja California Sur
La Paz, B.C.S. México.

María de Lourdes Robledo-Marengo

Secretaría de Investigación y Posgrado,
Universidad Autónoma de Nayarit
Tepic, Nayarit. México.

Aurora Elizabeth Rojas-García

Secretaría de Investigación y Posgrado,
Universidad Autónoma de Nayarit
Tepic, Nayarit. México.

Carlos Alberto Romero-Bañuelos

Secretaría de Investigación y Posgrado,
Universidad Autónoma de Nayarit
Tepic, Nayarit. México.

Emilio Romero Beltrán

CRIP-Mazatlán
Instituto Nacional de la Pesca
Mazatlán, Sinaloa. México.

Humberto Romo Toledano

Escuela Superior de Ingeniería Química e
Industrias Extractivas
Instituto Politécnico Nacional
Unidad Profesional Adolfo López Mateos
México D.F., México.

Jorge Ruelas Inzunza

Centro de Investigación en Alimentación
y Desarrollo A.C., Unidad Mazatlán
Mazatlán, Sinaloa. México.

Instituto Tecnológico de Mazatlán
Mazatlán, Sinaloa. México.

L.A. Ruiz

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Jiutepec, Morelos. México.

Salvador Ruíz Bernés

Unidad Académica de Medicina
Universidad Autónoma de Nayarit
Tepic, Nayarit. México.

S

Teresa E. Saavedra Vázquez

Ecología Aplicada del Sureste A.C.
Campeche, Campeche. México

F.P. Saldaña

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Jiutepec, Morelos. México.

Ma. del Pilar Saldaña-Fabela

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Jiutepec, Morelos. México.

Ch. J. Sánchez

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Jiutepec, Morelos. México.

Pablo Sánchez A.

Centro de Ciencias de la Atmósfera
Universidad Nacional Autónoma de México,
(UNAM). México, D.F. México.

Librada Sánchez-Osuna

Laboratorio de Estudios Ambientales,
Facultad de Ciencias del Mar,
Universidad Autónoma de Sinaloa,
Mazatlán, Sinaloa, Mexico.

Miguel Ángel Sánchez-Rodríguez

Centro de Investigación en Alimentación
y Desarrollo A.C., Unidad Mazatlán
Mazatlán, Sinaloa. México.

Norma Sánchez Santillan

Departamento El Hombre y su Ambiente,
Universidad Autónoma
Metropolitana Xochimilco
México D.F. México.

Elisa Serviere-Zaragoza

Centro de Investigaciones Biológicas
del Noroeste, S.C. (CIBNOR)
La Paz, BCS. México.

Rodolfo Sosa E.

Centro de Ciencias de la Atmósfera
Universidad Nacional Autónoma de México,
(UNAM). México, D.F. México.

Vicente Anislado Tolentino

Universidad del Mar campus Puerto Ángel,
Puerto Ángel, Oaxaca, México.

María del Rocío Torres-Alvarado

Departamento de Hidrobiología
Universidad Autónoma
Metropolitana Iztapalapa
México D.F. México.

Olivia Torres-Bugarín

Facultad de Medicina
Universidad Autónoma de Guadalajara
Zapopan, Jalisco. México.

Vianey Torres M.

Departamento de Ingeniería Metalúrgica
Facultad de Química
Universidad Nacional Autónoma de México,
(UNAM). México, D.F. México.

Yassir Edén Torres-Rojas

Unidad Académica Mazatlán
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México
(UNAM). Mazatlán, Sinaloa. México.

Gloria M. Trejo Aguilar

Departamento de Biotecnología
Universidad Autónoma
Metropolitana Iztapalapa
México D.F. México.

T

Lourdes Tejeda Valenzuela

Centro de Estudios Superiores
del Estado de Sonora
Hermosillo, Sonora. México.

Alejandro O. Toledo

El Colegio de Michoacan A.C.
Zamora, Michoacán. México.

V

Alfonso V. Botello

Unidad Académica Procesos
Oceánicos y Costeros
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México
(UNAM). México, D.F. México.

Areli Vargas-Jiménez

Posgrado en Recursos Acuáticos
Facultad de Ciencias del Mar,
Universidad Autónoma de Sinaloa,
Mazatlán, Sinaloa, Mexico.

Juan Carlos Vásquez Martínez

Departamento El Hombre y su Ambiente,
Universidad Autónoma
Metropolitana Xochimilco
México D.F. México.

Jesús B. Velázquez Fernández

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México
(UNAM). México, D.F. México.

M.H. Vélez

Departamento de Hidrobiología
Universidad Autónoma
Metropolitana Iztapalapa
México D.F. México.

Susana Villanueva-Fragoso

Unidad Académica Procesos
Oceánicos y Costeros
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México
(UNAM). México, D.F. México.

Domenico Voltolina

Laboratorio de Estudios Ambientales,
Universidad Autónoma de Sonora-CIBNOR
La Paz, B.C.S. México.

Z

Ubaldo Zaragoza-Araujo

Escuela de Biología
Universidad Autónoma de Guadalajara
Guadalajara, Jalisco.

María Guadalupe Zavala

Facultad de Medicina
Universidad Autónoma de Guadalajara
Zapopan, Jalisco. México.

José Luis Zavala-Aguirre

Escuela de Biología
Universidad Autónoma de Guadalajara
Guadalajara, Jalisco.

Andrés Zavaleta-Carmona

Turbana SA de CV
Barra de Navidad, Jalisco.

Héctor Zazueta-Padilla

Laboratorio de Estudios Ambientales,
Facultad de Ciencias del Mar,
Universidad Autónoma de Sinaloa,
Mazatlán, Sinaloa, Mexico.

W

Irma Wong Chang

Unidad Académica Procesos
Oceánicos y Costeros
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México
(UNAM). México, D.F. México.



TOMO II

Rendón Martínez, J.R., M.G. Frías Espericueta, C. Hernández, D.A. Osuna Bernal, E. Romero Beltrán, y D. Voltolina, 2014. Efectos del cultivo de peces en jaulas flotantes sobre la calidad del agua y de los sedimentos en el Pacífico Mexicano. p. 859-872. En: A.V. Botello, F. Páez-Osuna, L. Mendez-Rodríguez, M. Betancourt-Lozano, S. Álvarez-Borrego y R. Lara-Lara (eds.). Pacífico Mexicano. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. UAC, UNAM-ICMYL, CIAD-Mazatlán, CIBNOR, CICESE. 930 p.

Efectos del cultivo de peces en jaulas flotantes sobre la calidad del agua y de los sedimentos en el Pacífico Mexicano

42

*Jesús Ramón Rendón Martínez, Martín Gabriel Frías Espericueta,
Crisantema Hernández, Diego Armando Osuna Bernal,
Emilio Romero Beltrán y Domenico Voltolina*

RESUMEN

En el presente trabajo se presenta una revisión de los trabajos sobre calidad del agua y sedimentos en torno a cultivo de peces en jaulas flotantes realizados en el Pacífico Mexicano. Los estudios realizados en México demuestran que no existe un impacto del cultivo en la calidad del agua debido a las características hidrodinámicas del sistema, mientras que los sedimentos si han sido ligeramente impactados, sobre todo con un aumento en la cantidad de materia orgánica.

Palabras clave: cultivo de peces, Pacífico Mexicano, calidad el agua y de sedimentos.

ABSTRACT

The present work shows a review of water and sediments quality regarding floating cage fish farming in the Mexican Pacific ocean. Studies carried out in Mexico shows no water quality impact due to hydrodynamic characteristics of the system, while sediments have been modified with a minor increase of the organic matter content.

Keywords: Fish farming, Mexican Pacific, water and sediment quality.

INTRODUCCIÓN

El cultivo en jaulas flotantes es una modalidad atractiva de la acuicultura, que tiene una alta probabilidad de convertirse en el sistema más común de engorde de peces marinos, debido a que confina los peces en estructuras que permiten el libre flujo de agua al interior del sistema de cultivo y por tanto facilitan el control de la calidad ambiental (Masser, 1988; Carmona & Carreras, 1993).

Es probable que las jaulas hayan sido utilizadas inicialmente para mantener y posiblemente engordar peces hasta que su tamaño fuera apto para poderlos comercializar a un precio conveniente, o bien para mantenerlos frescos hasta su venta, y que su uso se haya extendido posteriormente con la finalidad exclusiva de mantener y alimentar alevines de peces por el tiempo suficiente para que alcanzaran la talla comercial adecuada para obtener el precio más conveniente. Esta práctica se desarrolló en manera independiente en varios países del sureste asiático, usando inicialmente materiales naturales disponibles localmente y a bajo precio (Beveridge, 1986, 2008). La expansión de esta actividad a diferentes partes del mundo aceleró su modernización que inició en la década de los 1950s con la adopción de materiales de origen sintético para la construcción de los sistemas, gracias a los cuales y en especial a su resistencia fue posible aprovechar sitios en los cuales hubiera sido imposible llevar a cabo cultivos de este tipo, usando materiales naturales (Silva-Hernández, 2004).

En México, el cultivo en jaulas flotantes es reciente, ya que inició en la década de los 1980, cuando se realizaron pruebas de en-

gorda de juveniles silvestres del pargo amarillo *Lutjanus argentiventris* en el estado de Sinaloa (CIFSA, 1990) y continuó con pruebas adicionales realizadas en los 90s en Baja California Sur, donde se realizaron a nivel experimental cultivos en jaulas para la engorda de la cabrilla arenosa *Paralabrax maculatofasciatus* (FAO, 1991).

Aunque el cultivo en jaulas constituye uno de los métodos de acuicultura más populares y más utilizados para la producción de peces en áreas costeras del mundo, en México es todavía un sector en vías de crecimiento. No obstante, en la actualidad se está promoviendo con el fin de atraer inversiones privadas para fomentar y diversificar la maricultura nacional (Monteforte & Cariño, 2006), por lo que se espera que se convierta en un método de cultivo muy utilizado en este país. Sin embargo, al igual que muchas actividades productivas, esta puede tener efectos indeseables sobre el ambiente acuático.

El origen de cualquier efecto ambiental derivado de la acuicultura en jaulas flotantes radica principalmente en los desechos de materia orgánica, que son el resultado del metabolismo de los peces (excreción, heces) y del suministro ineficiente de alimentos (alimento no consumido), provocando cambios en las características físicas, químicas y biológicas del medio receptor (Beveridge *et al.*, 1991). La dimensión de estos efectos depende de las características propias del sistema de cultivo (diseño, tamaño, materiales de construcción), de la densidad de siembra, de la dispersión de los residuos por las corrientes y de la capacidad del ambiente

para asimilar la carga orgánica generada por el sistema (Aguado-Giménez & García-García, 2004). El impacto de los constituyentes disueltos (amonio, fósforo, nitrógeno, carbono orgánico disuelto, liberados de la dieta) depende también de la velocidad con la cual los productos se diluyen antes de ser asimilados por el ecosistema (Black, 2001).

Por otro lado, los cultivos en jaulas tienen influencia sobre el sedimento situado por debajo de las instalaciones y hasta un radio que puede variar de unas decenas hasta cientos de metros (Molina *et al.*, 2001). Cuando los efluentes de las actividades acuícolas superan la tasa de asimilación de nutrientes del sistema donde se localiza, los sedimentos se pueden tornar anaeróbicos y la comunidad

bentónica se puede ver afectada (Gowen, 1991).

Como ya se mencionó, en México la piscicultura en jaulas flotantes es un sector en vías de crecimiento por lo que, con pocas excepciones, los cultivos realizados hasta la fecha se llevaron a cabo en escala piloto con fines de evaluación de su potencial productivo, mientras que la información acerca de sus efectos sobre la calidad del agua y del sedimentos en el Pacífico Mexicano es prácticamente inexistente, motivo por el cual la finalidad del presente capítulo es hacer una revisión de los trabajos sobre calidad del agua y sedimentos en torno a cultivo de peces en jaulas flotantes, realizados en el Pacífico Mexicano.

GENERALIDADES DEL CULTIVO DE PECES EN JAULAS FLOTANTES

Una jaula flotante para cultivo de peces, es básicamente una estructura que soporta un encierro hecho con redes, que tiene una abertura en la superficie para la alimentación de los peces, remover basura o peces muertos y para llevar a cabo la cosecha (Chua & Tech, 2002). En general existen dos tipos de diseños: los que se usan para cultivos en zonas protegidas y los que se utilizan en mar abierto. Las jaulas flotantes del primer caso consisten en estructuras que pueden ser cuadradas o rectangulares con pasillos en el centro para trasladarse sobre ellas o con pasillo en todo su contorno (Barnabé, 1989). En el segundo caso, los diseños suelen estar encaminados a amortiguar el efecto de las olas, por lo que suelen construirse de forma circular (García-García *et al.*, 2002) (figura 1).

Un aspecto importante a considerar además del tipo de materiales necesarios para la construcción del sistema, es la selección del sitio para establecer el cultivo. En los inicios de la acuicultura en jaulas, los sitios elegidos para realizar la instalación de este tipo de sistemas eran zonas protegidas del oleaje como fiordos y bahías, con corrientes débiles que podían ocasionar problemas ambientales y de calidad de agua. Actualmente se está optando por utilizar sitios más expuestos a corrientes y con fuerte oleaje (Klebert *et al.*, 2013).

Un factor importante a considerar antes de elegir un sitio para este tipo de cultivo es la calidad del agua (Chua & Tech, 2002), dado que la contaminación ha provocado la mortalidad de los peces en algunos cultivos

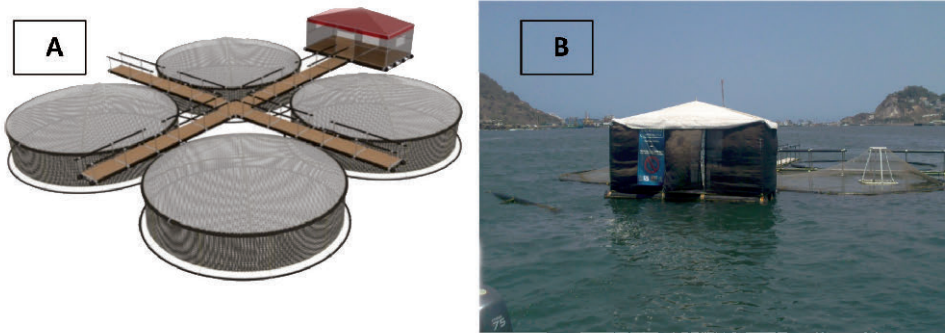


Figura 1. A) Imagen digital del diseño de sistema de cultivo utilizado para el cultivo de pargo en Mazatlán Sinaloa (Imagen de C. Hernández); B) Imagen del sistema en funcionamiento.

en jaulas (Beveridge, 1996). Debido a esto, es importante verificar que no existan descargas de contaminantes de las industrias, residuos municipales y de la agricultura en el sitio elegido (Pérez *et al.*, 2003). Otra cuestión importante a considerar son las características físicas del medio como dirección y velocidad de las corrientes, la profundidad y la circulación, puesto que el flujo de agua interactúa con las estructuras del sistema de jaulas y con los peces cultivados, y además afecta la distribución de los desechos y nutrientes que genera el cultivo (Klebert *et al.*, 2013).

Por su parte, la elección del organismo a cultivar es muy importante. Hay varias espe-

cies de peces cuyas características biológicas y de comportamiento son adecuadas para el cultivo en jaulas, entre las cuales se encuentran: salmón, totoaba, corvina, robalo, pargo, dorada, cobia, atún, entre otras.

Por otro lado, el manejo del cultivo es de vital importancia debido a que este puede optimizar la producción y reducir los costos. El operador de un sistema de cultivo debe vigilar para detectar variaciones de las características ambientales, encargarse de la limpieza y funcionamiento de las instalaciones para asegurar que no haya anomalías o mal funcionamiento del sistema y encargarse además de la alimentación y bienestar de los organismos a su cargo.

CALIDAD DE AGUA

En la acuicultura en general, la calidad del agua se considera como el conjunto de variables físicas, químicas y biológicas que determinan la viabilidad de las operaciones acuícolas y que además pueden perjudicarla cuando se ocasionan situaciones críticas re-

pentinas como anoxias, o variaciones bruscas de salinidad o de temperatura, entre otras (Páez-Osuna & Ruiz-Fernández, 2001).

Las variables que tienen importancia en la calidad del agua de la acuicultura son: temperatura, salinidad, sólidos suspendidos y

disueltos, color, luz, pH y alcalinidad, gases (O_2 , CO_2 , N_2), nutrientes (amonio, amoniac, nitritos, nitratos, urea), compuestos orgánicos (biodegradables y no biodegradables) y compuestos tóxicos (metales, biocidas), además de la presencia y concentración de organismos patógenos (Páez-Osuna & Ruiz-Fernández, 2001).

En la definición de un perfil de calidad de agua para el desarrollo de un cultivo, las variables críticas y su intervalo de valores pueden variar de acuerdo con las diferentes especies y sus estadios de desarrollo (larva,

juvenil, maduración, desove, etc.) y esto tiene influencia directa sobre la viabilidad del cultivo. Por esta razón, es importante conocer los intervalos de tolerancia de las especies a cultivar.

Además, se requiere conocer los niveles permisibles de la calidad de agua cuando se va a llevar a cabo un cultivo: En México la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, es la que comúnmente se cita cuando se tratan asuntos de calidad de agua en los diferentes tipos de acuicultura.

CALIDAD DEL SEDIMENTO

Al igual que en la calidad de agua, el estudio de los sedimentos sirve para conocer los efectos del cultivo sobre la calidad de su entorno; esto consiste en medir distintas variables químicas, físicas y biológicas, que pueden ser alteradas por los aportes generados por los sistemas de cultivo. Además medir esas alteraciones puede ayudar a prevenir algunos efectos que pueden afectar la viabilidad del sistema mismo.

Algunas de las variables que se miden son nutrientes (nitrógeno y fósforo total, NT y PT), materia orgánica, pH, potencial redox, textura (granulometría), abundancia de las comunidades bentónicas, etc. Las variables mayormente utilizadas en maricultura son NT y PT, contenido de materia orgánica, el potencial redox y la estructura de las comunidades bentónicas, ya que sus efluentes, son

ricos en carbono orgánico, nitrógeno y fósforo y estos a su vez cambian la estructura del bentos.

En cuanto a los criterios para la determinación de niveles permisibles en la composición química de sedimentos en torno a jaulas flotantes, Schaanning (1994) presentó un índice en la que enlistó tres variables químicas (pH, NT y PT) y estableció los niveles a los cuales estas pueden causar alteraciones en sedimentos de cultivos realizados en fiordos.

Por su parte De La Lanza (1986) y Méndez (2002) estimaron que el contenido de materia orgánica en las zonas no contaminadas fluctúa entre 0.5 y 5%, mientras que los sedimentos que contienen más de 15% de materia orgánica pueden considerarse típicos de áreas contaminadas.

ESTUDIOS SOBRE LOS EFECTOS DEL CULTIVO EN JAULAS SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA Y SEDIMENTOS EN EL PACÍFICO MEXICANO

Osuna-Bernal (2012) llevó a cabo un estudio con el objetivo de verificar si las operaciones de cultivo en jaulas flotantes pueden impactar en la calidad del agua aledaña a un cultivo del pargo *Lutjanus guttatus*, el cual se realizó en la boca del puerto de Mazatlán. Se tomaron muestras quincenalmente en siete estaciones a diferentes distancias del sistema de cultivo, analizando algunas variables de la calidad del agua de muestras de agua superficial, a media agua y de fondo.

Se registraron algunas diferencias significativas en la distribución vertical para algunas de estas variables, esto se debe básicamente a la velocidad de la corriente del sitio, la cual es en promedio 0.44 m/seg (Montaño-Ley *et al.*, 2008). En ningún caso las concentra-

ciones determinadas en la estación ubicada justo en el centro del sistema de jaulas resultaron significativamente diferentes de las determinadas en las demás estaciones (figura 2), lo que demuestra que no hubo impacto del sistema de cultivo y que mientras no exista un mayor desarrollo de los cultivos y/o aumento en el número de organismos cultivados, esta actividad no representan un riesgo apreciable para la calidad del agua en la zona aledaña.

En cuanto al efecto de este cultivo sobre los sedimentos, Rendón-Martínez (2012) analizó pH, nitrógeno total, fósforo total y materia orgánica, en los sedimentos del área de influencia del cultivo (0-100 m). La materia orgánica mostró una clara tendencia a

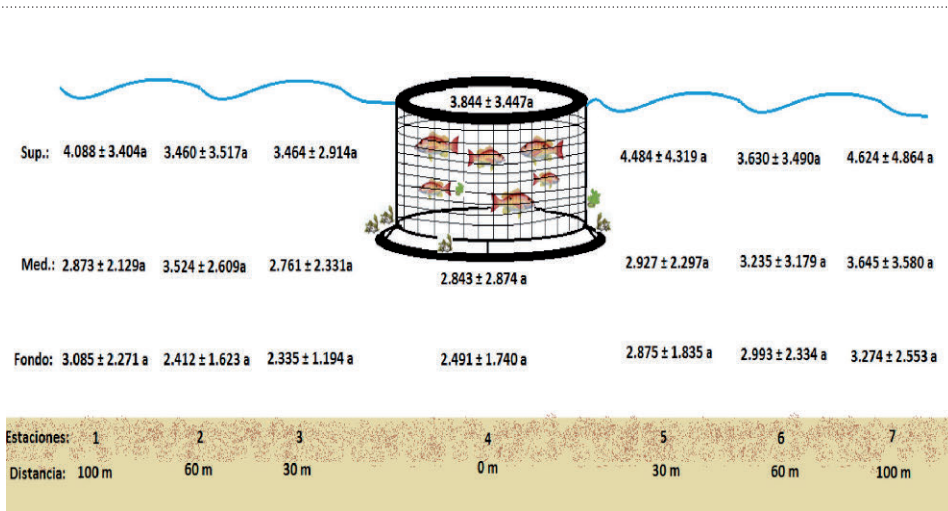


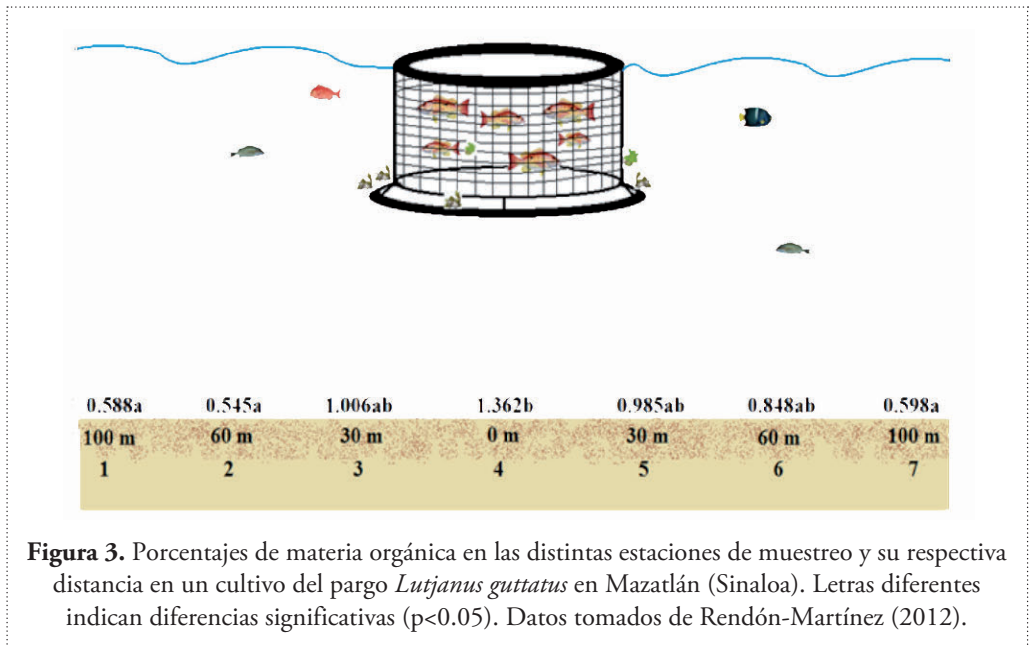
Figura 2. Contenido de clorofila “a” (mg/l), en superficie (Sup.), media agua (Med.) y fondo en un cultivo del pargo *Lutjanus guttatus* en Mazatlán Sinaloa. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Datos tomados de Osuna-Bernal (2012).

incrementarse con el avance del cultivo, de dos a tres veces más que el nivel obtenido antes de iniciar operaciones, pero sólo en la estación ubicada justo bajo el módulo, valores que fueron significativamente diferentes con respecto a las otras estaciones (figura 3). En dicho estudio, hubo acumulación de nutrientes, en las estaciones cercanas al cultivo en jaulas, sin embargo, los niveles nunca rebasaron los límites de calidad de los sedimentos.

También en el Pacífico Mexicano, Vargasmachuca *et al.* (2008) muestrearon la columna de agua de un cultivo de peces en jaulas en Punta el Caballo, Santa Cruz de Miramar (Nayarit), a tres diferentes profundidades para determinar los cambios en la calidad del agua. Se localizaron 3 estaciones de muestreo, la estación 1 se encontraba en el centro del sistema de cultivo, la estación 2 en el extremo norte de las jaulas y la estación 3 (control) fue ubicada a una distancia

de alrededor de 1 000 m de las jaulas. En general, los resultados no revelaron diferencias significativas entre la concentración de los nutrientes de la estación control y las estaciones experimentales. Los resultados que obtuvieron demuestran que las densidades de peces (de 2 500 a 3 500 peces/jaula) y la cantidad de alimento suministrado no impactaron la calidad de la columna de agua del sistema de cultivo de jaulas flotantes, además los datos encontrados apoyan la idea de que las fuertes corrientes encontradas en el lugar minimizan el impacto del cultivo en el agua.

Por su parte, Flores *et al.* (2009) investigaron el efecto de la entrada de carbono orgánico sobre la calidad del agua, del sedimento y su correlación con la interfase agua-sedimento y las condiciones hidrográficas en una granja de lutjánidos cultivados en jaulas marinas. Aunque esta investigación no estaba encaminada a determinar si los sistemas



de cultivo causaban algún tipo de impacto, se obtuvieron algunos parámetros de calidad del agua y del sedimento que como en los casos anteriores, no resultaron diferentes de los valores determinados en un estación alejada del sistema que se utilizó como control.

Comparando los resultados obtenidos en los distintos estudios, los valores más altos de concentración de algunas de las variables fueron los encontrados por Vargasmachuca *et al.* (2009), probablemente debido a la cantidad de peces que manejaban, ya que esta granja tuvo mayor cantidad de peces y cabe señalar que en ninguno de los casos se mostró evidencia de algún efecto asociado a la operación del cultivo sobre la calidad del agua, sin embargo es muy notorio que ninguna de las granjas presentaba una alta producción de peces, como es en los estudios a nivel internacional.

Estos resultados no difieren de los reportados en la zona del Golfo de México por Silva-Cruz *et al.* (2011), quienes evaluaron el impacto del cultivo de *Rachycentron canadum* (cobía) y *Sciaenops ocellatus* (corvina) en jaulas flotantes ubicadas en las costas de Campeche, mediante el análisis del sedimento y de la calidad del agua en la zona de cultivo, realizando tres muestreos en nueve sitios de muestreo y dos sitios control durante las épocas vientos, de estiaje y de lluvias. Sus resultados indican que la calidad del agua no afectó el sistema de cultivo, y en especial que el impacto causado por este sistema de cultivo a la calidad del agua no fue significativo, ya que todos los valores se mantuvieron dentro de los rangos indicados por la Norma Oficial Mexicana 001-SEMAR-NAT-1996.

En el mundo se han realizado distintas investigaciones en las que se toman en cuenta las variables de calidad de agua para identificar si el sistema de cultivo en jaulas produce un impacto sobre el medio en el que se localizan. Wu *et al.* (1994) realizaron un estudio del impacto del cultivo de peces en jaulas sobre distintas variables de la calidad del agua y sedimento en cuatro granjas en Hong Kong. Comparado con los resultados obtenidos para sedimentos, la calidad del agua presentó menos evidencia de impacto. Según los resultados obtenidos, el impacto se redujo significativamente en sitios con buena circulación de agua y baja densidad de peces. Los resultados encontrados sugieren que las actividades de cultivo de peces marinos no han provocado eutrofización en los cuerpos acuáticos donde se instalan.

En tres granjas del Mediterráneo se estudiaron distintas variables químicas, físicas y biológicas de la calidad del agua a cuatro diferentes profundidades. En dos de las granjas los valores no presentaron diferencias significativas con respecto a las estaciones usadas como control, mientras que en la tercera los valores de PO_4 , NH_4 y nitrógeno orgánico particulado incrementaron y el nitrato y silicato disminuyeron. En este mismo estudio encontraron que la ubicación de la granja y la situación estacional son las mayores fuentes de variación de fosfato, nitrato, silicato, clorofila *a*, carbono orgánico particulado y nitrógeno orgánico particulado (Pitta *et al.*, 1999).

La Rosa *et al.* (2002) realizaron un estudio en el que utilizaron algunos parámetros de la calidad del agua para identificar impacto de la carga orgánica en dos cultivos, uno de

peces en jaulas y otro de mejillones, además de un sitio control. Los resultados de este estudio indican que tanto la piscicultura como el cultivo de mejillones no alteraron significativamente el contenido de fósforo inorgánico disuelto y clorofila-*a*, mientras que las concentraciones de nitrógeno inorgánico fueron mayores en la zona adyacente a la granja de mejillones. Los autores sugieren que los cambios en las variables, incluidas las causadas por los cultivos de peces y mejillones, siguieron patrones estacionales típicos y que son característicos del sitio control donde no había actividad acuícola.

Como se puede observar en la tabla 1, a pesar de que las características de producción de las granjas piscícolas alrededor del mundo son mucho mayores de las encontradas en las costas mexicanas, las concentraciones de las distintas variables pueden llegar a ser menores, esto se debe en gran medida a las características de profundidad e hidrodinámica de los sitios donde se llevan a cabo estos cultivos, ya que suelen ser de mucho mayor profundidad y velocidad de corriente. Además diversos autores men-

cionan que independientemente de lo que indican sus datos, existe suficiente evidencia de que el cultivo en jaulas genera un aporte de nutrientes al medio, aunque este no sea detectable en todos los casos.

Flores *et al.* (2009) realizaron un trabajo en el que se analizó el efecto de la entrada de carbón orgánico en la calidad del sedimento y su correlación con la interfase agua-sedimento y las condiciones hidrográficas en una granja de pargos en jaulas marinas, en la bahía de Chipehua, en las costas de Oaxaca. Los muestreos fueron mensuales y en dos estaciones, una en el sitio de cultivo y otra en un sitio control. No hubo diferencias significativas entre el sitio de cultivo y el sitio control y el promedio de carbono orgánico se mantuvo en $0.99 \pm 0.19\%$.

Otro estudio realizado en Campeche por Silva-Cruz *et al.* (2011) valoró el impacto de este tipo de cultivo mediante análisis físico-químico del sedimento localizado justo debajo del sistema. Se ubicaron nueve sitios de muestreo alrededor de las instalaciones y dos sitios control. Los resultados obtenidos indicaron que no hubo diferencias significativas

Tabla 1. Valores medios ($\mu\text{g/L}$) obtenidos en distintos estudios a nivel nacional e internacional. SST en $\mu\text{g/L}$.

Referencia	NO_2^-	NO_3^-	NH_4^+	PO_4	SST	Clo- <i>a</i>	pH	OD	Sitio
Osuna-Bernal (2012)	4-7	13-24	59-121	31-42	81.9-100.7	2.2-4.6			Mazatlán, México
Vargasmachuca <i>et al.</i> (2009)	584-630	2830-3560	48-559	492-1017			9.2-9.5	5.0-5.7	Nayarit, México
Flores <i>et al.</i> (2009)							8.5	7.6	Oaxaca, México
Silva-Cruz <i>et al.</i> (2011)	< L.D	< L.D	< L.D	< L.D					Campeche, México
Wu <i>et al.</i> (1994)			2-500	10-90	5.0-20.0	$\approx 0.1-25$		2.3-9	Hong Kong
Pitta <i>et al.</i> (1999)	4-138	1-12	1-72	0.9-23.7		0.1-2			Grecia
La Rosa <i>et al.</i> (2002)				4.7-29.4		0.8-1.4		7.1-7.5	Italia

en los sitios de muestreo y los controles. En los que respecta al nitrógeno total, el valor promedio más alto obtenido fue de 321 mg/g, localizado cerca de un área con gran actividad antropogénica. A pesar de los valores obtenidos, estos no pueden ser atribuidos al cultivo de peces, debido a que en los sitios control el porcentaje fue similar, por lo que valores encontrados son de otras fuentes de materia orgánica en el área.

Rendón-Martínez (2012) por su parte, encontró diferencias significativas para algunas variables entre las zonas cercanas a jaulas y los sitios alejados de ellas, sin embargo las concentraciones fueron muy bajas.

A nivel internacional, Molina-Domínguez *et al.* (2001) realizaron un estudio sobre la calidad de los sedimentos debajo de jaulas de *Sparus aurata* en las costas de las Islas Canarias. Durante el primer año de operación, se muestrearon tres zonas a diferentes distancias de las jaulas, y se analizaron el tamaño de la partícula, la cantidad de materia orgánica y de nitrógeno y fósforo. Las muestras no mostraron diferencias significativas para materia orgánica (4.9 y 6 %) y fósforo (10.7-11.4 mg/100g) en las diferentes zonas, mientras que la concentración de nitrógeno (9.3-14.5 mg /100g) en los sedimentos debajo de las jaulas fue significativamente mayor que en las otras zonas.

Aguado-Giménez y García-García (2004) evaluaron el contenido de materia orgánica, fósforo y nitrógeno en sedimentos marinos en torno a una instalación de cultivo intensivo de dorada (*Sparus aurata*) y lobina (*Dicentrarchus labrax*) en el sureste del Me-

diterráneo. En este trabajo se diseñó un programa de muestreo de acuerdo a la hidrodinámica de la zona, en un transecto en el que localizaron siete estaciones, en las cuales no se presentaron diferencias significativas en las variables contempladas a lo largo del transecto, lo que permitió confirmar que no se produjo variación alguna del sedimento como consecuencia de la actividad piscícola.

Hermosilla *et al.* (2005) evaluaron las concentraciones de materia orgánica, nutrientes (fósforo y nitrógeno), potencial redox y demanda de oxígeno en sedimentos del fondo situados bajo las jaulas flotantes de una instalación acuícola para el cultivo de *Sparus aurata*, en la que se comprobó que en los meses de verano se producen aumentos en la concentración de los nutrientes y en la demanda de oxígeno y una disminución en el potencial redox, mientras que los meses de invierno los valores regresan a los niveles normales. Además se pudo observar una tendencia a valores más altos en la estación justo debajo de las jaulas y los más bajos en estaciones control.

Al igual que los estudios realizados a nivel nacional, los trabajos en otras zonas del mundo encontraron cierto efecto en la calidad del sedimento debido a la operación de las jaulas, aunque frecuentemente este no es significativo. Cabe mencionar que los valores encontrados en los estudios internacionales son mucho mayores a los realizados a nivel nacional, lo cual se debe al mayor nivel de intensidad y volumen de producción de esos sistemas de cultivo.

CONCLUSIONES

Es evidente que el cultivo de peces en jaulas flotantes se está convirtiendo en una alternativa para el país, por lo que se espera que este método de cultivo tenga un mayor desarrollo. A nivel internacional, se han realizado varias investigaciones dirigidas a evaluar el impacto de esta actividad en el ambiente. Los datos presentados aquí, muestran que

el cultivo de peces en jaulas pueden afectar la calidad de los sedimentos, por lo cual los permisos para este tipo de actividad debería ser otorgados bajo estricto control, ya que es importante evaluar el impacto ambiental de los cultivos en jaulas flotantes en el país a fin de promover un desarrollo sustentable en las zonas costeras.

AGRADECIMIENTOS

A los proyectos SAGARPA/CONAPESCA-2009-COI-109673 y FORDECYT I47325.

LITERATURA CITADA

- Aguado-Giménez, F., & B. García-García, 2004.** Assessment of some chemical parameters in marine sediments exposed to offshore cage fish farming influence: a pilot study. *Aquaculture*, 242: 283-296.
- Barnabé, G., 1989.** La cría de lubina y de dorada. p. 573-612. En: Barnabé G., (ed.). *Acuicultura*, Vol 1. Technique et Documentation (Lavoisier), París, 612 p.
- Beveridge, M.C.M., 1986.** Piscicultura en jaulas y corrales. Modelos para calcular la capacidad de carga y las repercusiones en el ambiente. FAO Documento Técnico de Pesca No. 255. 100 p.
- Beveridge, M.C.M., 1996.** Cage aquaculture, 2nd edition. Fishing News Books, Oxford, UK. 346 p.
- Beveridge, M.C.M., 2008.** Cage aquaculture. 3rd Edition. John Wiley & Sons. UK. 376 p.
- Beveridge, M.C.M., M.J. Phillips, & R.M. Clarke, 1991.** A quantitative and qualitative assessment of wastes from aquatic animal production. p. 506-533. In: D.E. Burne & J.R. Tomasso, (eds.). *Aquaculture and Water Quality*. The World Aquaculture Society. 533 p.
- Black, K.D., 2001.** Environmental Impacts of Aquaculture. Sheffield Academic Press. 214 p.
- Carmona, J., y J. Carreras, 1993.** Análisis de los diferentes aspectos que caracterizan el cultivo de peces marinos en cultivo de peces marinos en jaulas flotantes. p. 713-727. En: F. Castelló Orvay(ed.). *Acuicultura marina: fundamentos biológicos y tecnología de la producción*. Universidad de Barcelona. Barcelona. 739 p.
- Chua, T.E., & E. Tech, 2002.** Introduction and history of cage culture. p. 1-49 p. In: Woo, P.T.K., D.W. Bruno & L.H.S. Lim, (eds.). *Disease and disorders of finfish in cages culture*. CAB International. London, UK. 345 p.

- CIFSA, 1990. Programa experimental de una granja de maricultura con jaulas flotantes en la Bahía de Topolobampo, Sinaloa. Informe de avances de trabajo. CIFSA Consultores, México D.F, 9 p.
- De La Lanza, G., 1986. Materia orgánica en los sedimentos del sistema lagunar Huizache y Caimanero: importancia, comportamiento y significado en modelos de predicción. *An. Inst. Cienc. Mar Limnol.*, 13: 251-286.
- FAO, 1991. Regional seafarming resources atlas: vol. 2. FAO Project Reports, AB732. FAO, Roma. 71 p. Consultado en junio del 2013. Disponible en línea en: <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB732E/AB732E00.htm>
- Flores, M.A., J.T. Ponce-Palafox, S. Castillo-Vargasmachuca, H. Santana-Hernández, & J.L. Arredondo-Figueroa, 2009. Effect of organic carbon input on water and sediment quality in a lutjanid sea-cage farm. *Rev. Biol. Mar. Ocean.*, 44: 237-241.
- García-García, J., A. Rouco-Yáñez, y B. García-García, 2002. Directrices generales de diseño de explotaciones de engorde de especies acuícolas en jaulas en mar. *Arch. Zootecnia*, 51:496-472.
- Gowen, R.J., 1991. Aquaculture and the environment. p. 30-38 p. In: De Pauw, N. y J. Joyce, (eds.). Aquaculture and the environment. European Aquaculture Society Special Publication, Ghent, 332 p.
- Hermosilla, Z., C. Jorge, I. Romero, E. Martí, y M.D. Cabañero, 2005. Diferencias espaciales y estacionales en el contenido de nutrientes, demanda de oxígeno y potencial redox en sedimentos bajo una instalación de producción acuícola en jaulas. *Bol. Inst. Esp. Oceanograf.*, 21: 29-35.
- Klebert, P., P. Lader, L. Gansel, & F. Oppedal, 2013. Hydrodynamic interactions on net panel and aquaculture fish cages: A review. *Ocean Eng.*, 58: 260-274.
- La Rosa, T., S. Mirto, E. Favaloro, B. Savona, G. Sara, R. Danovaro, & A. Mazzola, 2002. Impact on the water column biogeochemistry of a Mediterranean mussel and fish farm. *Water Res.*, 36: 713-721.
- Masser, M.P., 1988. What is a cage culture? Southern Regional aquaculture Center (SRAC). Publicación No. 160. 2 p.
- Méndez, N., 2002. Annelid assemblages in soft bottoms subjected to human impact in the Urías estuary (Sinaloa, Mexico). *Oceanol. Acta*, 25: 139-147.
- Molina-Domínguez, L., G. López-Calero, J.M. Vergara-Martín, & L. Robaina-Robaina, 2001. A comparative study of sediments under a marine cage farm at Canary Island (Spain). Preliminary results. *Aquaculture*, 192: 225-231.
- Montaño-Ley, Y., R. Peraza-Vizcarra, & F. Páez-Osuna, 2008. Tidal hydrodynamics and their implications for the dispersion of effluents in Mazatlan harbor: An urbanized shallow coastal lagoon. *Water Air Soil Pollut.*, 194: 343-357.
- Monteforte, M., y M. Cariño, 2006. Perspectivas de la piscicultura marina en el Golfo de California. *Rev. Biodiversitas*, 61: 2-7.
- Osuna-Bernal, D.A., 2012. Variación de la calidad del agua en el cultivo del pargo *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869) en jaulas flotantes en el canal de navegación de Mazatlán. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar, UAS. 55 p.
- Páez-Osuna, F., y A.C. Ruiz-Fernández, 2001. La calidad del agua en la camaronicultura: conceptos, manejo y normatividad. p. 101-136. En: F. Paez-Osuna (ed.). Camaronicultura y Medio Ambiente. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, PUAL, El Colegio de Sinaloa. México, 448 p.
- Pérez, O.M., L.G. Ross, T.C. Telfer, & L.M. del Campo-Barquin, 2003. Water quality requirements for marine fish cage site selection in Tenerife (Canary Islands): predictive modelling and analysis using GIS. *Aquaculture*, 224: 51-68.

- Pitta, P., I. Karakassis, M. Tsapakis, & S. Zivanovic, 1999.** Natural vs. mariculture induced variability in nutrients and plankton in the eastern Mediterranean. *Hydrobiologia*, 391: 181-194.
- Rendón-Martínez, J.R., 2012.** Características químicas del sedimento en estaciones aledañas a un cultivo de peces en jaulas en la boca del Estero de Urías. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar, UAS. 48 p.
- Schaanning, M.T., 1994.** Distribution of sediment properties in coastal areas adjacent to fish farms and environmental evaluation of five locations surveyed in October, 1993. Norwegian Institute for Water Research (NIVA). Report No. 3102. Oslo. 29 p.
- Silva-Cruz, Y., M.R. Castañeda-Chávez, F. Lango-Reynoso, & C. Landeros-Sánchez, 2011.** Environmental impact of fish farming in floating cages in Isla Arena, Campeche. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.*, 13: 291-298.
- Silva-Hernández, M.A., 2004.** Efecto de la densidad de confinamiento sobre el crecimiento y la supervivencia del pargo amarillo *Lutjanus argentiventris* (Peters 1869) (Percoidae: Lutjanidae) cultivado en jaulas flotantes. Tesis de Maestría. IPN-CICIMAR, La Paz BCS, México, 121 p.
- Vargasmachuca, S.C., J.T. Ponce-Palafox, J.L. Arredondo-Figueroa, E.A. Chávez-Ortiz, & E.J. Vernon-Carter, 2008.** Physico-chemical water parameters variation in the floating cages of snappers (*Lutjanus peru* and *L. guttatus*) farmed in tropical sea. *Rev. Mex. Ing. Quím.*, 7: 237-242.
- Wu, R.S.S., K.S. Lam, D.W. MacKay, T.C. Lau, & V. Yam, 1994.** Impact of marine fish farming on water quality and bottom sediment: A case study in the sub-tropical environment. *Mar. Environ. Res.*, 38: 115-145.

**PACÍFICO MEXICANO. CONTAMINACIÓN E IMPACTO AMBIENTAL:
diagnóstico y tendencias**

Se realizó en el Departamento de Difusión y Publicaciones
del Instituto EPOMEX-Universidad Autónoma de Campeche.

Composición, diseño y proceso editorial a cargo de Jorge Gutiérrez Lara.
Diseño de la cubierta a cargo de Juan Manuel Matú.

Se terminó de imprimir en abril de 2015 en los talleres de
Print Service. Av Agustín Melgar 3b. Col. Bosques de Campeche
24030. San Francisco de Campeche, Campeche. México
