



ISSN 2518-4512

Vol. 4(No.1)

Junio, 2018

San Salvador, El Salvador

Revista

COMUNICACIONES

CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS



Ciudad Universitaria, junio de 2018

<http://revistas.ues.edu.sv/index.php/comunicaciones/index>

Revista

COMUNICACIONES

CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

EDITOR EN JEFE: Francisco Chicas Batres^{1,2}

COMITÉ EDITORIAL: Alberto González¹, Roberto Alegría³, Johanna Segovia¹,
Luis Parada⁴, Adrián González Acosta⁵.

ASISTENTE DE EDICIÓN: Alejandra Trejo²

¹ Instituto de Ciencias del Mar y Limnología,
Facultad de Ciencias Naturales y
Matemática, Universidad de El Salvador,
San Salvador, El Salvador.

² Escuela de Biología, Facultad de Ciencias
Naturales y Matemática, Universidad de El
Salvador, San Salvador, El Salvador.

³ Nuevo Consejo Nacional de Ciencia y
Tecnología, Viceministerio de Ciencia y
Tecnología, Ministerio de Educación,
San Salvador, El Salvador.

⁴ Escuela de Química, Facultad de Ciencias
Naturales y Matemática, Universidad de El
Salvador, San Salvador, El Salvador.

⁵ Centro Interdisciplinario de Ciencias del
Mar, Instituto Politécnico Nacional
(CICIMAR-IPN)

Revista

COMUNICACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

Volumen 4, N^o1 - 2018

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología,
Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad de El Salvador.
Ciudad Universitaria, Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, San
Salvador, El Salvador, América Central.
Tels. (503) 2511-2000 E-mail: icmares@ues.edu.sv

Vice Ministerio de Ciencia y Tecnología, Ministerio de Educación.
Edificio A1, Plan Maestro, Centro de Gobierno, Alameda Juan Pablo II y calle
Guadalupe, San Salvador, El Salvador, América Central.

Nuevo Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
Colonia Médica, Av. Dr. Emilio Álvarez y Pasaje Dr. Guillermo Rodríguez
Pacas, Edificio Espinoza, No. 51, San Salvador, El Salvador, América Central.
Tels. (503) 2234-8400 E-mail: propocyt@conacyt.gob.sv

Revista

COMUNICACIONES

CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

Volumen 4, N^o1
Junio 2018

ICMARES, UES.
Tel./FAX. (503) 2226-1948
icmares@ues.edu.sv
revcom.icmares@ues.edu.sv
revistas.ues.edu.sv

Imagen de portada:
Gabriela Meléndez

ISSN 2518-4512

Se permite la reproducción total o parcial del contenido de la revista, siempre que se reconozca el derecho de autor y sea para fines académicos y científicos; caso contrario, se requiere permiso del comité editor. Todos los derechos reservados. Hecho el depósito de ley.

Revista

COMUNICACIONES

CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

CONTENIDO

Carta editorial: Johanna Segovia

Para desarrollar los intereses vinculados al mar y la costa, comencemos por la ciencia.....265-268

Adrián F. González-Acosta

Bases ecológicas para el manejo y conservación de los recursos pesqueros: experiencia de México.....269-273

Wolfgang Stotz

La experiencia de Chile en estudios de ecología de comunidades aplicados al aprovechamiento sostenible y conservación de la biodiversidad marino costera: El difícil camino hacia una armonía entre el ambiente, los pescadores y las regulaciones en la pesca artesanal de buceo en Chile.....275-285

Guido Plaza Pastén

Aplicaciones de metodologías en la reconstrucción de historia de vida de los organismos marinos.....287-294

Guillermo Martínez, Rodrigo Figueroa y Antonio Ugalde

El rol de las universidades en el proceso de macro-zonificación del borde costero en la región de Valparaíso, Chile.....295-300

Celeste Sánchez-Noguera y Álvaro Ramírez

Experiencias de zonificación y uso del borde costero en Costa Rica.....301-304

Enrique H. Nava-Sánchez, Guillermo Martínez-Flores y Janette Magalli Murillo-Jiménez

Factores que provocan la erosión de playas en Baja California Sur, México.....305-316

José Luis Juanes Martí

Experiencias cubanas en el enfrentamiento a la erosión costera.....317-321

Claudia B. Cárcamo y Federico M. Winkler

Aplicación de la genética e innovaciones biotecnológicas en el aprovechamiento sostenible de los recursos del mar.....323-325

COMUNICACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

CARTA EDITORIAL

Para desarrollar los intereses vinculados al mar y la costa, comencemos por la ciencia

El Salvador posee mayor territorio marino que terrestre, somos cinco veces más mar que tierra. Con una vertiente en la costa pacífica de 321 km de longitud, que consiste de playas arenosas, lagunas costeras, acantilados, bahías y golfo con manglares, estuarios e islas costeras; litorales rocosos con roca de playa (“beachrock”), arrecifes rocosos y comunidades coralinas; así como fondos arenoso y fangosos. El mar territorial salvadoreño comprende 100,000 km², que va de 0 a 4,000 m de profundidad, con una franja costero-marina de 7,186 km² que contiene 75 municipios; de los cuales, 29 son costeros (Secretaría Técnica de la Presidencia 2013), y donde habita el 26% de la población (Censo de la Población y Vivienda 2007).

En los últimos años, el gobierno de El Salvador ha identificado en la Franja Costero-Marina muchos de los principales activos del país, tanto desde el punto de vista ambiental como productivo, en relación con el aprovechamiento de los recursos naturales. Reconociendo activos ambientales como: Áreas Naturales Protegidas, humedales Ramsar, Reserva de Biosfera, playas de interés para la cría de tortugas y nidificación de aves, manglares, esteros, desembocaduras fluviales, llanuras aluviales, suelos productivos y zonas de infiltración de aguas subterráneas. Además, ha identificado oportunidades económicas en el ecoturismo y turismo de naturaleza, la mitigación del riesgo de inundación, la pesca industrial y artesanal, la prevención de erosión costera, la agricultura y horticultura, la recarga de acuíferos y el control de la intrusión salina (Secretaría Técnica de la Presidencia 2013).

Las actividades relacionadas con los intereses marítimos no son nuevas en el país, y es importante tener en consideración que varias de ellas, se encuentran normadas en políticas y reglamentos que dependen de diferentes instituciones gubernamentales para su ejecución y vigilancia; dichas normativas fueron estructuradas en diferente tiempo y con objetivos específicos para cada actividad; la mayoría, sin vinculación entre sí. Sin embargo, en el 2017 nace el proceso para integrar la visión sobre los intereses marítimos a través de la elaboración de la Política de Mar y Costa, cuyo objetivo es reconocer y convertir al mar y la costa salvadoreña en un eje estratégico de desarrollo, que contribuya al crecimiento económico y social de sus habitantes por medio de la gestión integral y sustentable de los recursos e intereses del mar y la costa, con un enfoque ecosistémico, equilibrado, incluyente y equitativo. En el proceso de elaboración de esta política pública participan todas las entidades gubernamentales relacionadas a la zona costera-marina; así como la Universidad de El Salvador, como ente representante de la educación superior pública.

La Universidad de El Salvador (UES) comprometida en apoyar esta iniciativa, a través del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMARES), ha trabajado desde el 2013 para suplir la demanda de conocimiento científico sobre la dinámica de los recursos naturales marinos y costeros a nivel nacional y su conectividad regional; así como, formar y capacitar talento humano en distintas áreas de las ciencias y la gestión del mar. Dichos esfuerzos son imprescin-

dibles, y deben ser intensificados, para establecer adecuados procesos de gestión sustentable e implementación de planes, programas y proyectos en común, como la Agenda de Investigación, Innovación y Desarrollo de El Salvador (Vice ministerio de Ciencia y Tecnología), la Política Nacional de Pesca y Acuicultura (Ministerio de Agricultura y Ganadería), la Estrategia de Manejo Integrado de Recursos Costeros (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales), la Ley de Turismo (Ministerio de Turismo); así como, el cumplimiento de instrumentos internacionales firmados por el país como el Convenio de Diversidad Biológica, las metas de Ahichi, Protocolo de Kyoto, Portocolo de Nagoya, Convención CITES, los ODS, entre otros.

Con estos antecedentes, y ante la oportunidad de desarrollar estratégicamente los bienes y servicios vinculados a la costa y el mar, debemos actuar responsablemente, y promover iniciativas que aborden la generación de conocimiento científico y la formación de recurso humano que hace falta y es indispensable para cumplir con esta importante meta. Sabemos que no será fácil, teniendo además en consideración que el problema más agudo por el que atraviesan el desarrollo de las Ciencias del Mar en el país y a nivel mundial, es la limitación presupuestal para desarrollar programas de investigación y formación de talento humano. En 1981, Barrios-Gómez exponía lo paradójico que siendo el mar una prioridad para México, las Ciencias del Mar no se encontraban dentro de las áreas de desarrollo prioritario a nivel nacional; y, que la investigación y la formación de recurso humano estuvieran en crecimiento lento y secundario, en discordancia con las prioridades nacionales; situación muy similar a la que atravesó el país hace más de 50 años, donde existieron algunas iniciativas para mirar hacia el mar.

Sin embargo, a pesar de la disminución de la inversión en investigación y desarrollo en Latinoamérica (Red Iberoamericana de Ciencia y Tecnología 2018), el auge de los estudios sobre el mar sigue aumentando en el mundo, principalmente en algunos países de América Latina, Estados Unidos y Europa; es por esto, que la aparición de sesiones temáticas a nivel de educación superior se ha incrementado; ejemplo de ello, ha sido la organización de los simposios de la Sociedad Americana de Limnología y Oceanografía; y, el Congreso Latinoamericano de las Ciencias del Mar (COLACMAR) (ANECA 2004).

En este contexto, El Salvador fue sede del Simposio Latinoamericano de Oceanografía en 1976, siendo este, uno de los primeros eventos académicos del país donde se promovieron las ciencias del mar; y, justo en ese lapso de tiempo el Simposio se transformó en la COLACMAR, y se fundó la Asociación Latinoamericana de Investigadores de Ciencias del Mar (ALICMAR) como organizadora de dicho evento en 1975 (Cumaná, Venezuela). A la fecha, este esfuerzo académico latinoamericano ha realizado 20 conferencias (entre su fase de Simposio y actualmente Congresos). Sin embargo, las instituciones salvadoreñas perdieron el interés y el apoyo de mantener su vinculación a esta organización, llegando al grado de no tener representación como ponente orador principal desde 1980, y no fue hasta el año 2017, en el Congreso celebrado en el Balneario de Camoriú (Santa Catalina, Brasil) dónde se reanuda el vínculo de El Salvador con la presentación de los resultados del Programa Nacional de Monitoreo de Arrecifes Rocosos y de Coral que dirigen investigadores del ICMARES; y donde se nombró un representante de país en la Comisión Directiva de la ALICMAR (2017-2019).

El ICMARES UES visualiza como primera oportunidad de la agenda nacional, el fortalecimiento de las alianzas con países que lideran el desarrollo formativo y científico de las Ciencias del Mar, buscando integrar la visión de la academia latinoamericana a través del desarrollo del Primer Simposio en Ciencias del Mar en El Salvador. El Simposio se organizó del 9 al 13 de octubre de 2017 con el apoyo del Ministerio de Educación, y contó con el auspicio del Ministerio

de Relaciones Exteriores, cooperación del Gran Ducado de Luxemburgo, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales a través de fondos GEF y PNUD; y del Fondo de la Iniciativa para las Américas. La asistencia al evento tuvo representación de instituciones de gobierno, municipios costeros, Asociaciones de profesionales, ONGs y ADESCOS de comunidades costeras, así como estudiantes y docentes de universidades privadas y de la UES, registrando más de 250 asistentes.

El Simposio cumplió con el objetivo de generar un espacio para conocer, compartir y discutir experiencias latinoamericanas sobre la gestión sostenible y desarrollo de las Ciencias del Mar, obteniendo como principales productos de este esfuerzo (1) la agenda de investigación científica y formación de capacidades en tema de mar de la Universidad de El Salvador, (2) insumos para el Programa de Formación del Doctorado en Ciencias del Mar; y, (3) la sistematización de las intervenciones de expertos de México, Costa Rica, Chile y Cuba; en el presente suplemento de la Revista COMUNICACIONES científicas y tecnológicas. Así mismo, la firma de Convenios y Cartas de Entendimiento entre la Universidad de El Salvador y las siguientes universidades: Universidad de Antofagasta (Chile), Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile), Universidad Católica del Norte (Chile) y el Centro Interdisciplinario en Ciencias del Mar del Instituto Politécnico Nacional (México).

Las temáticas que trabajamos fueron (1) Biodiversidad, conservación y cambio global; (2) Biotecnología, pesquería y acuicultura marina; (3) Procesos costeros y oceanográficos; y, (4) Planeamiento y ordenamiento espacial marino-costero. Y al finalizar las jornadas de charlas magistrales, se realizaron trabajos de mesa para el desarrollo de un programa de formación de talento humano para el fortalecimiento de la investigación científica y la educación superior en El Salvador; y a su vez, evidenciamos áreas de oportunidad potenciales y vacíos de información en los cuales podríamos trabajar de manera conjunta entre universidades e instituciones gubernamentales.

De las recomendaciones inmediatas está potenciar la formación de recursos humanos nacionales en las diferentes áreas de las Ciencias del Mar, para generar conocimiento a través de programas de investigación, los cuales son requeridos para sustentar la toma de decisiones en materia de uso sustentable; y que a su vez, el país logre diversificar opciones económicas e implementar alternativas innovadoras y tecnológicas que conserven la sustentabilidad de los medios de vida de las comunidades y el equilibrio de los ecosistemas marino costeros. Enfatizando que este profesional debe tomar la iniciativa, y ser capaz de identificar y resolver problemas nacionales, trabajar en equipo multidisciplinario y ser responsable de su propio aprendizaje (de por vida); que posea capacidad para la enseñanza, con carácter emprendedor y la iniciación en la investigación básica. Para ello, se le debe crear los espacios de preparación científica y práctica profesional, y que pueda especializarse posteriormente en el extenso campo de trabajo que representa el mar, en diferentes niveles de estudio y gestión; ya sea localmente o a escala regional y mundial.

El Salvador debe contar con una titulación en la oferta de Educación Superior, que se consolide y cubra de forma eficaz y eficiente las necesidades y requerimientos para desarrollar estratégicamente el mar y la costa como país; y que en un futuro, sea opción de formación académica para estudiantes de la región. Los sectores con mayor urgencia para desarrollar estas iniciativas de titulación son el de investigación, medio ambiente marino, oceanografía, gestión y ordenación costera, agroalimentario (recursos vivos), docente y de administración. Es importante, que en dicha oferta académica existan planes de estudio con elevado grado de homogeneidad entre

las instituciones académicas que desarrollan las Ciencias del Mar en Latinoamérica. Como por ejemplo, en Europa actualmente se ha conducido a que exista una cierta diversidad de titulaciones en Ciencias del Mar, pero a su vez se ha cuidado que haya un elevado grado de homogeneidad entre ellas. El ámbito de mayor presencia porcentual es el de Biología, en segundo lugar la Física y tercero la Química (ANECA 2004).

La formación en las Ciencias del Mar es costosa, requiere de la existencia de personal docente debidamente cualificado, así como de equipos y adecuadas instalaciones; las cuales suponen una considerable inversión (UNESCO 1971). Pero es de tener en mente, que los estudios en Ciencias del Mar también, tienen una importancia considerable a nivel mundial, en 1988, 44 países disponían de algún tipo de programa de enseñanza universitaria en esta temática; muchos de ellos, ligados a Centros e Institutos de Investigación de la Unión Europea.

En ese sentido, las entidades salvadoreñas debemos reconocer la necesidad y el interés estratégico que tienen los estudios e investigaciones de Ciencias y Tecnologías del Mar en el desarrollo económico y social, dado a que el océano posee un papel crucial en el clima, el ciclo del carbono y del agua; así como para la vida en el planeta Tierra. Es necesario que encaminemos esfuerzos conjuntos, que permitan impulsar de manera direccional los aportes realizados por científicos y entidades que desarrollan actividades en el mar y la costa, importantes para la consecución de los objetivos propuestos en el Acuerdo de París; y que sus estudios e investigaciones sean motores de la generación del conocimiento necesario para la consecución de los objetivos económicos en armonía con el medio ambiente, visualizando los beneficios de garantizar ecosistemas saludables para la mitigación, adaptación y resiliencia de nuestra población.

Ahora es el tiempo, las instituciones académicas debemos comprometernos a desarrollar las ciencias y tecnologías del mar con una visión clara y estratégica de cómo realizar nuestros aportes desde la academia; no como administradores, gestores o vigilantes del recurso; sino como generadores de conocimiento y formadores de talento humano, el papel de nuestro escaso personal científico en esta área será crucial para construir fuertes cimientos ante este desafío.

Johanna Segovia
Investigadora del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Miembro de Comité Editor de la
Revista COMUNICACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS
Universidad de El Salvador

Literatura citada

- Agencia nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA). 2004. Libro blanco: Estudios de grado Ciencias del Mar. Red de universidades españolas. Madrid, España.
- Barrios-Gómez EC. 1981. El desarrollo de las ciencias del Mar en México: un problema de recursos humanos. *Ciencias Marinas* 7(1): 31-47.
- Censo de Población y Vivienda. 2007. Dirección General de Estadística y Censos, Ministerio de Economía. San Salvador, El Salvador.
- Red Iberoamericana de Ciencia y Tecnología. 2018. Informe de Coyuntura No1. Observatorio Iberoamericano de la Ciencia, la Tecnología y la Sociedad (OCTS-OEI). Buenos Aires, Argentina.
- Secretaría Técnica de la Presidencia. 2013. Diagnóstico de la Franja Costero-Marina de El Salvador. San Salvador, El Salvador.

Bases ecológicas para el manejo y conservación de los recursos pesqueros: experiencia de México

Adrián F. González-Acosta¹

¹ Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Avenida Instituto Politécnico Nacional s/n, Col Playa Palo de Santa Rita, La Paz, Baja California Sur, C.P 23096, México; aacosta@ipn.mx

Resumen: La presente contribución resume la información de la conferencia magistral -del mismo nombre-, la cual fue ofrecida como parte de las actividades del Primer Simposio de Ciencias del Mar de El Salvador, realizado en San Salvador del 09 al 10 de octubre de 2017, y organizado por el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMARES) de la Universidad de El Salvador. De este modo los comentarios que se vierten representan la opinión personal del autor y su experiencia en el área de la taxonomía y conservación de peces, tema que se plasma en los párrafos subsecuentes.

Palabras clave: Peces, conservación, biodiversidad, taxonomía, México.

México posee una ubicación geográfica privilegiada en el mundo, resultado de su notable extensión latitudinal y compleja orografía, en adición a la amplia extensión de su mar territorial (231, 813 km²), línea de costa (11,593 km) y Zona Económica Exclusiva (2, 846,925 km²), a lo largo de ambas vertientes costeras de América (Golfo de México y Mar Caribe y océano Pacífico). Del mismo modo, destaca la existencia de una gran cantidad de cuencas hidrográficas (ca. 25,000 km²), representadas por 50 ríos principales y sus tributarios, 70 lagos naturales (>10 ha de superficie) y poco más de 14 mil cuerpos de agua (<10 ha), que concentran un importante recurso hidrológico para el país (García-Calderón y De La Lanza-Espino 2002, Torres-Orozco y Pérez-Hernández 2011).

La acción conjunta de los rasgos ambientales antes señalados, ha favorecido la existencia de una amplia variedad de hábitats acuáticos dulceacuícolas (e.g., cenotes, lagunas, lagos, ríos y oasis) y marino-estuarinos (e.g., ambientes arrecifales de coral y rocosos, lagunas costeras y estuarios, etc.), que albergan una alta diversidad de flora y fauna, y contribuyen a ubicar a México entre los cinco países mega diversos del planeta, cuya biodiversidad representa del ~10 al 14 % de la biota conocida en el mundo (Llorente-Bousquets y Ocegueda 2008, Torres-Orozco y Pérez-Hernández 2009).

Parte importante de esta mega diversidad, está representada por el grupo de los peces: ciclóstomos (lampreas y mixínidos), cartilagosos (tiburones, rayas y quimeras) y óseos (teleósteos). En este sentido, México destaca en el mundo por su enorme riqueza íctica (~ 2,763 especies) y número de endemismos (37.5 a 87.8%), cuyo estado de conservación es poco conocido y se concentra en 16 especies ubicadas en diferentes categorías de riesgo; de las cuales, solo una es considerada en peligro de extinción - *Totoaba macdonaldi* -, aunque de la mayoría de especies de peces mexicanos se carece de información biológica y, por lo tanto, se incluyen en las categorías de “datos deficientes” o de “preocupación menor” (Torres-Orozco y Pérez-Hernández 2009, 2011, Espinosa-Pérez 2014, González-Acosta et al. 2018a, b).

La ictiofauna mexicana está representada por conjuntos dulceacuícolas (de origen primario y secundario), marino-estuarinos, vicarios (derivación marina con representantes en agua dulce), diádromos (anádromos y catádromos) y especies exóticas invasoras, los cuales se clasifican en dos clases, 53 ordenes, 265 familias, 967 géneros y 2, 763 especies (Tabla 1).

En este conjunto dominan por su mayor riqueza los peces de derivación marino-estuarina (81.7%), sobre aquellos de agua dulce (18.3%) (Espinosa-Pérez 2014).

El número de especies de peces de interés comercial es cercano a 563, con predominio de especies marinas y del grupo de teleósteos; dicho número varía de acuerdo con la cuenca de distribución de las especies (Tabla 2), con similar porcentaje de formas del Pacífico y Golfo de México y Mar Caribe. Sobresale la presencia de especies exóticas (2.1%), que forman parte de los recursos pesqueros del país (Sagarpa 2010, Espinosa-Pérez 2014). De la misma forma, este número puede variar de acuerdo con la región geográfica que se trate, así por ejemplo González-Acosta et al. (2018a) refieren un número de 160 especies (40 condriictios y 120 teleósteos) que son

capturadas comercialmente en los ambientes costeros del Estado de Chiapas; por otra parte, González-Acosta et al. (2018b), mencionan un total de 188 especies (47 condriictios y 141 teleósteos) con valor comercial para la Bahía de La Paz, Baja California Sur, de los cuales solo 82 son explotados por las pesquerías artesanales locales.

En términos de su conservación los peces mexicanos han sido poco estudiados, de ahí que según la Lista Roja de Especies Amenazadas de Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN 2018), la mayoría de especies presentes en el país se encuentran en las categorías de “preocupación

TABLA 1
Estructura taxonómica y categorías ecológicas de la ictiofauna de México.

Taxonomía	Número de taxones
Clases	2
Ordenes	53
Familias	265
Géneros	967
Especies	2,763
Categorías ecológicas	Número de especies
Dulceacuícolas primarios	145
Dulceacuícolas secundarios	350
Marinos	2,224
Estuarinas y vicarias	563
Exóticas invasoras	26

TABLA 2
Número de especies de peces mexicanos de interés comercial, por grupo taxonómico y cuenca de distribución.

Grupo taxonómico	Número de taxa	Cuenca de distribución	Número de taxa
Chondrichthyes	76	Pacífico mexicano	238
Actinopterygii	395	Golfo de México y Mar Caribe	233
Total	471	Exóticas	12
		Total	563

menor” [LC], “no evaluados” [NE] y de “datos deficientes” [DD]. Ejemplo de esto se menciona en el estudio de los peces de Chiapas (González-Acosta et al. 2018a) y de la Bahía de La Paz (González-Acosta et al. 2018b), donde se mencionan porcentajes de 91.5 y 84, respectivamente. Lo que indica como ya se mencionó, la poca atención sobre este tema que ha recibido este grupo de parte de la comunidad científica mexicana.

No obstante, las Normas Oficiales Mexicanas: NOM-059 y NOM-029, donde enlistan una serie de especies sujetas a “Protección especial” o en la categoría de “Amenazadas”, que en cierto modo contribuyen al conocimiento del estado actual de conservación que guardan algunas especies, principalmente aquellas señaladas como “carismáticas” (e.g., el tiburón blanco y el tiburón ballena). Un total de 201 especies de peces mexicanos se encuentran protegidos por estas Normas (Espinosa-Pérez 2014), donde la mayoría corresponde a grupos dulceacuícolas como los Cyprinodontiformes (37.3%) y Cypriniformes (29.3%), seguidos por grupos marinos del orden Perciformes (11.4%; Fig. 1). A este respecto, Torres-Oroz-

co y Pérez-Hernández (2011), señalan que alrededor de 169 (33.5%) especies dulceacuícolas mexicanas se encuentran amenazadas, principalmente en regiones áridas y que corresponden a las familias Cyprinidae (carpas) y Cyprinodontidae (cachorritos).

Un aspecto notable en relación con la conservación de las especies que se encuentran bajo la protección de las leyes mexicanas, es la falta de conocimiento básico de su biología y ecología, al obtenerlo, permitiría aportar argumentos contundentes para la delimitación del estado actual de conservación de las poblaciones de peces mexicanos, pues es claro que ni son todas las que están, ni están todas las que son. En este sentido basta la consulta de los argumentos utilizados para esta delimitación.

Un grupo que ha sido de gran impacto para la salud ecológica de la ictiofauna de México es la presencia de especies exóticas (e.g. la carpa *Cyprinus carpio* y la trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* y las tilapias africanas de los géneros *Oreochromis* y *Tilapia*) y las trasladadas o trasplantadas entre las que se encuentran especies nativas como

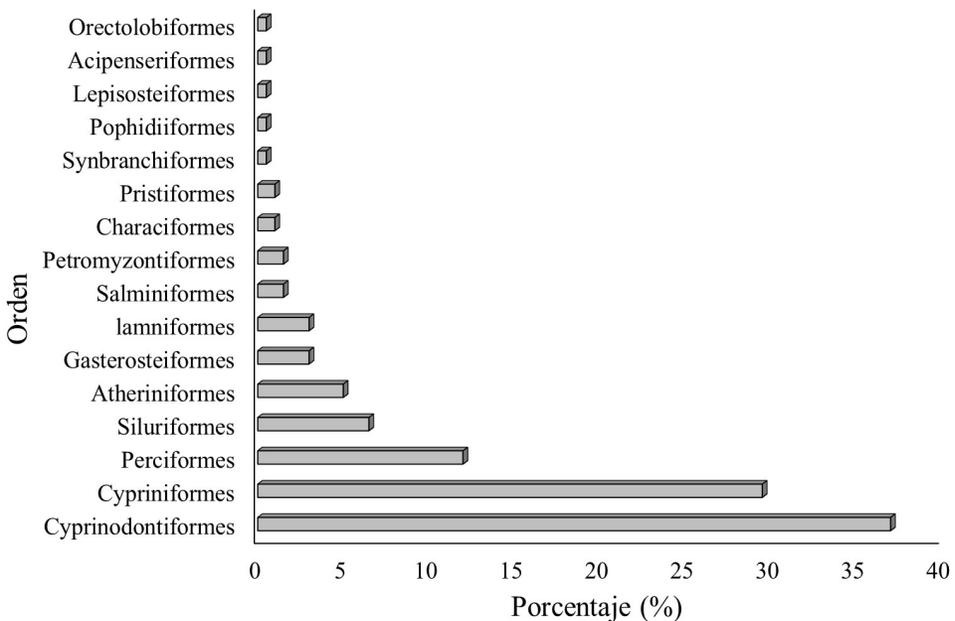


Fig. 1. Proporción de especies por órdenes, de peces bajo protección de las leyes mexicanas. (NO-059-SEMAR-NAT-2010 y NOM-029-PESC-2006).

la Tenguyaca (*Petenia splendida*), el pescado blanco (*Chirostoma*) y pecílidos (Torres-Orozco y Pérez-Hernández 2009). El número actual de especies exóticas en México es 104 (19 familias y 59 géneros), donde sobresalen familias de origen dulceacuícola: Cyprinidae (22 spp.), Cichlidae (15) y Centrarchidae (13); y familias de ecosistemas marinos se tiene Clupeidae y Chanidae (Espinosa-Pérez y Ramírez 2015). Destacan por su rápida expansión en ambientes dulceacuícolas, los loricáridos también conocidos como peces diablo o armados (*Pterygoplichthys spp.*) y en el ambiente marino el pez león (*Pterois spp.*), cuya introducción es debida a actividades de acuarismo y su liberación accidental o por acuaristas. Mención aparte merece la dorada (*Sparus aurata*), una especie originaria del Mar Mediterráneo, que en años recientes fue registrada en la Bahía de La Paz, debido a su escape de jaulas de cultivo comercial (Balart et al. 2008).

Factores que determinan la riqueza íctica de México

Al tratarse de un grupo de vertebrados conspicuo (por su abundancia y diversidad), los peces representan un recurso amenazado constantemente, lo que ha motivado el interés de diferentes instituciones de investigación que han enfocado sus esfuerzos a la generación de conocimiento sobre las poblaciones ícticas, para conocer y evaluar los niveles de afectación, sus causas y posibles soluciones.

Entre los principales retos que enfrenta México, está el llevar a cabo una administración de los recursos pesqueros, ante el desmedido y constante crecimiento de embarcaciones y los altos niveles de explotación de los recursos de la zona costera, así como la falta de exploración de nuevos recursos, áreas de pesca y desarrollo de nuevas tecnologías de captura. En particular, está la falta de evaluación de los recursos potenciales de aguas profundas, cuya cobertura representa más del 90% del área correspondiente a la Zona Económica Exclusiva, lo que posiblemente sería de gran relevancia para el desarrollo económico de las comunidades costeras e industria, dedicadas a

la actividad pesquera.

Es imperante señalar la importancia de estudios exploratorios intensivos y la correcta aplicación de la taxonomía en la identificación de las especies que integran los recursos sujetos a explotación pesquera. De este modo será posible evitar confusiones en la identidad y áreas de distribución de las especies, sobre todo de aquellas que representan recursos bajo explotación o para su uso en acuicultura (González-Acosta et al. 2018b).

En términos de la conservación de especies de peces de interés comercial y ecológico, es importante llevar a cabo estudios poblacionales que aporten información para la delimitación de su estado de conservación y la propuesta de su inclusión en alguna categoría de riesgo o programa de protección. Tal información permitirá a su vez establecer líneas base de investigación y planes de manejo, bajo un esquema de aprovechamiento sustentable. Ante las constantes amenazas resultado de la actividad antrópica, a las que se encuentra sujeta la ictiofauna de México (e.g. sobre explotación pesquera, acuicultura, introducción de especies exóticas y pérdida o alteración de hábitats como resultado de la construcción de hoteles, represamiento y modificación del cauce natural de ríos).

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece el apoyo de la Universidad de El Salvador a través del ICMARES (F. Chicas Batres, J.V. Segovia Prado, JA González Leiva y A. Trejo), Ministerio de Educación de El Salvador, los apoyos recibidos para la asistencia y presentación de esta conferencia. También se agradece el apoyo parcial de los Programas EDI y COFAA-IPN, y SIN-CONACyT, para la realización de las investigaciones referidas en el documento.

ABSTRACT

This contribution summarizes the information of the master conference -of the same name-, which was offered as part of the activities of the First Symposium of Marine Sciences of El Salvador, held in San Salvador from October

9 to October 10, 2017, and organized by the Institute of Marine Sciences and Limnology (ICMARES) of the University of El Salvador. In this way the comments that are expressed here represent the personal opinion of the author and his experience in the area of taxonomy and fish conservation, a subject that is reflected in the subsequent paragraphs.

REFERENCIAS

- Balart EF, Pérez-Urbiola JC, Campos-Dávila L, Monteforte M, Ortega-Rubio A. 2009. On the first record of a potentially harmful fish, *Sparus aurata* in the Gulf of California. *Biol. Inv.* 11(3): 547–550.
- Espinosa-Pérez H. 2014. Biodiversidad de peces en México. *Rev. Mex. Biodiv.* 85: 450-459
- Espinosa-Pérez H, Ramírez M. 2015. Exotic and invasive fishes of Mexico. *Check List* 11(3): 1-12.
- García-Calderón JL, De La Lanza-Espino G. 2002. Las aguas epicontinentales de México. En: De La Lanza-Espino G, García-Calderón JL, editores. *Lagos y presas de México*. AGT Editores (p. 1-53), México: Ciudad de México.
- González-Acosta AF, Rodiles-Hernández R, González-Díaz AA. 2018a. Checklist of the marine and estuarine fishes of Chiapas, Mexico. *Mar. Biodiv.* 48(3): 1439-1454.
- González-Acosta AF, Balart EF, Ruiz-Campos G, Espinosa-Pérez H, Cruz-Escalona VH, Hernández-López A. 2018b. Diversidad y conservación de los peces de la Bahía de La Paz. Baja California Sur, México. *Rev. Mex. Biodiv.* 89(2018).
- Llorente-Bousquets J, Ocegueda S. 2008. Estado del conocimiento de la biota. *Capital Natural de México*, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Editorial Comisión Nacional para el uso y Conocimiento de la Biodiversidad, México.
- Sagarpa. Diario Oficial de la Federación. 2010 (Segunda Sección) 1. Acuerdo mediante el cual se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera. Jueves 2 de diciembre de 2010.
- Torres-Orozco RE, Pérez-Hernández MA. 2009. Riqueza y regionalización de los peces de México. *Ciencia* 2009: 44-53.
- Torres-Orozco RE, Pérez-Hernández MA. 2011. Los peces de México: una riqueza amenazada. *Rev. Dig. Univ.* 12(1): 1-15.
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). 2019. The IUCN Red List of Threatened Species. versión 2017-3. Recuperado el 26 de julio de 2018, de: www.iucnredlist.org

La experiencia de Chile en estudios de ecología de comunidades aplicados al aprovechamiento sostenible y conservación de la biodiversidad marino costera: El difícil camino hacia una armonía entre el ambiente, los pescadores y las regulaciones en la pesca artesanal de buceo en Chile

Wolfgang Stotz¹

1 Grupo de Ecología y Manejo de Recursos, Departamento de Biología Marina, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Coquimbo, Chile, wstotz@ucn.cl

INTRODUCCIÓN

El cambiar de un régimen de acceso abierto a uno de derechos de propiedad y/o acceso exclusivo en pesquerías artesanales, supone que genera en los propios usuarios el incentivo para cuidar y manejar sus recursos. Lo cual contribuiría a detener o revertir el deterioro de las pesquerías que se diagnostica en general a nivel mundial (Worm et al. 2009). En Chile se implementó un sistema de esta naturaleza, el cual no obstante muestra algunos signos que generan la inquietud respecto a cuáles podrían ser las razones de no lograr un desempeño óptimo.

En Chile se explota comercialmente una gran diversidad de organismos marinos bentónicos, incluyendo algas, moluscos, crustáceos, equinodermos y tunicados. Antes de los años 80 estos “mariscos” eran destinados principalmente al consumo local. Pero a través de una activa política estatal para promover la exportación en la década del 80, muchos de esos recursos se transformaron en productos de exportación de alto valor. Esto motivó un significativo aumento de sus desembarques, diagnosticándose para varios de ellos signos de sobreexplotación.

Como consecuencia se comenzaron a implementar diversas medidas de administración pesquera para lograr una explotación sustentable. Una de las medidas que a nivel internacional más ha llamado la atención, fue que se implementó hace casi 20 años un sistema de manejo que otorga derechos (privilegios) territoriales exclusivos de pesca a orga-

nizaciones de pescadores artesanales, que son las Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB) (Stotz 1997, Gelcich et al. 2010). Las AMERB representan un buen laboratorio para poner a prueba el supuesto de que es posible manejar la producción pesquera y permiten estudiar el sistema en forma más integral, analizando si aportan al bienestar, tanto de los recursos y el ambiente, como de los humanos que viven de ellos, como lo plantea como objetivo el Enfoque Ecosistémico de Pesquerías (EAF) de FAO (García et al. 2003). El presente trabajo revisa algunos casos y explora las razones de su pobre desempeño.

Revisión de casos

El “loco” *Concholepas concholepas*

Las AMERB se iniciaron principalmente por los problemas que se diagnosticaron en torno a la pesquería del principal recurso bentónico que se captura en Chile, que es el gastrópodo *Concholepas concholepas* (Stotz, 1997). En los años 80 se transformó en un producto de exportación de alto valor, lo que generó aumento de capturas y descontrol en su pesquería, lo que motivó en un inicio vedas, luego cuotas individuales y finalmente se restringió su pesca sólo a AMERB (Stotz 1997, Meltzoff et al. 2002). No obstante, se observa como resultado que las AMERB hoy producen menos de lo que se desembarcaba antes del “boom” de exportación y muchas muestran deterioro en las poblaciones de los recursos (Stotz et al. 2008). Las razones se pueden

interpretar en base a observaciones realizada en los inicios de las AMERB. Como este gastrópodo es un carnívoro, al mantener abundancias muy altas y cosecharlo sólo una vez en el año, como ocurre en las AMERB, se tiende a exceder la capacidad de carga y se termina con poco alimento y bajo rendimiento en carne (Stotz y Pérez 1992, Pérez y Stotz 1992, Stotz, 1997). A su vez, la especie posee una larva que permanece aproximadamente tres meses en el plancton, lo cual incide que el reclutamiento en cada AMERB es incierto y muy variable, generando también una producción muy variable entre años y sitios, que es algo que no se puede manejar en un área tan pequeña (Stotz 1997). Las AMERB tienen entre menos de 10 y un máximo de cerca de 1000 ha de superficie, lo que implica en el máximo unos pocos Km de los más de 5000 Km de costa a lo largo de los cuales se distribuye la especie. Pero las cosechas de las AMERB sólo representan la pesca legal. En paralelo a ella ocurre pesca ilegal (Bandin y Quiñones 2014, Oyanedel et al. 2018). Para el norte de Chile se pudo estimar que genera desembarques de aproximadamente un orden de magnitud más altos que los legales. Y la evaluación directa de las poblaciones del recurso, también en áreas de libre acceso en que se realiza la pesca ilegal, contrario a lo esperado, muestra que el recurso está sano (Stotz et al. 2010). Es decir, las prácticas de pesca clandestinas, que ocurren de la manera en que se capturaba el recurso antes de la implementación de todas las regulaciones, parecen adaptarse mejor a la dinámica del recurso que el manejo que se le intenta dar actualmente en las AMERB.

Los bivalvos *Mesodesma donacium* y *Argopecten purpuratus*.

Con los bivalvos, que forman bancos de altas densidades y son suspensívoros, es decir acceden a una fuente de alimento que para un organismo bentónico resulta virtualmente ilimitado, debería resultar más sencillo su manejo. No obstante, la experiencia con *Mesodesma donacium*, un bivalvo que vive en la zona de rompientes de playas expuestas, la experiencia no fue mejor. Aun establecien-

do un plan de manejo muy conservador que fue cumplido estrictamente, el banco colapsó (Aburto y Stotz 2003, 2013). La principal razón fueron fallas en el reclutamiento, que no se puede manejar, porque depende de larvas que permanecen entre 25 a 30 días en el plancton y se desconoce de dónde pueden provenir en cada AMERB. Y esa historia, de cuidado, colapso y abandono de las AMERB se repite para muchos de los bancos de este recurso en el país (Aburto et al. 2014). La misma incertidumbre y fallas en el reclutamiento, pero sumado a una muy activa depredación, hicieron colapsar también la pesquería en la única AMERB en que se intentó manejar un banco del pectínido *Argopecten purpuratus* basado en la evaluación directa periódica, estudio de su dinámica y un plan de manejo conservador (Stotz y González 1997, Thiel et al. 2007). Este pectínido es consumido como juvenil y como adulto por crustáceos y estrellas, cuyas poblaciones responden a su aumento, adaptando su dieta a su abundancia (Jesse et al. 2002, Ortiz et al. 2003, León y Stotz 2002) haciendo disminuir sus poblaciones aun en ausencia de pesquería. El reclutamiento de esta especie está relacionado al ciclo de El Niño (Wolff 1987, Wolff y Mendo 2000), generando una pesquería del tipo “boom and bust”, en que se alternan períodos de una pesquería de gran producción y riqueza con otros de colapso (Stotz y Mendo 2002). Para el AMERB de Puerto Aldea significó que tras un año de pesquería que en ese momento generó mucha riqueza, no se pudieron realizar capturas por un lapso de más de 10 años.

La “chicorea de mar” *Condorchanthus chamosii*

Con un alga, que no se mueve, posee reproducción asexual y la sexual es mediante esporas de muy baja dispersión (metros alrededor del progenitor), el manejo debería ser más sencillo. En base a sus características biológicas y ecológicas se diseñó y estableció un plan de manejo en el AMERB de Caleta Puerto Aldea (Bahía Tongoy), que debería haber generado una explotación sustentable. Pero fracasó por no lograr controlar el mercado

por una parte, y por otro, por ser una explotación que en la relación entre esfuerzo y beneficio que otorga, no compite favorablemente con otros recursos. Por eso los pescadores abandonaron su explotación. Sólo la explotan ocasionalmente, cuando no hay otras alternativas para generar ingresos.

La dinámica de los recurso y pesquerías asociadas generan problemas

La experiencia respecto a los intentos de manejar los recursos en un AMERB, mostrados en el texto previo, han permitido aprender que la dinámica propia de los recursos generan problema a los usuarios que buscan generarse un ingreso mediante su pesquería. La variabilidad en las producción natural tiene como consecuencia variabilidad en los ingresos que obtienen los pescadores. En el caso extremo, esa variabilidad genera años sin producción explotable. Como consecuencia puede resultar que un AMERB puede no tener ingresos por uno o más años, por lo que no puede sostener y no pueden depender de ella sus titulares (Fig. 1), debiendo buscar otras alternativas de ingreso en esos años. Pero aun cuando se logre mantener la pesquería en el tiempo, esta resultará variable por la dinámica propia de todos los recursos. Al respecto cabe preguntarse cuál es el nivel de variabilidad que resulta tolerable para los pescadores que

dependen de los ingresos que generan estas pesquerías.

Con base a información estadística publicada por el Servicio Nacional del Consumidor (SERNAC), se pudo determinar que los gastos en necesidades esenciales representan un 61% de los ingresos de una familia promedio en Chile. Esto significa que se pueden tolerar fluctuaciones en los ingresos por un máximo de 39% antes que se vean afectadas las necesidades básicas de la familia de los pescadores. Al comparar las fluctuaciones anuales que se generan en los ingresos en las AMERB se comprobó que son mucho mayores a ese límite, es decir se pueden calificar como no tolerables para más del 90% de las 109 AMERB de las Regiones de Coquimbo y Atacama para las cuales se hizo el análisis. Las fluctuaciones se atenúan en la medida que se unen entre si las AMERB, es decir se aumenta su tamaño. Las fluctuaciones de ingresos recién reducen su variabilidad por debajo del 39% cuando se consideran todas las AMERB de las Regiones de Atacama y Coquimbo en su conjunto. Es decir, un AMERB, para generar un ingreso con variabilidad tolerable requiere tener ese tamaño, que es un trecho de costa de aproximadamente 500 Km. Ello es coincidente con lo que representaba el área de pesca completa a lo largo de la cual migraban los pescadores de ambas regiones, antes del establecimiento del sistema AMERB.

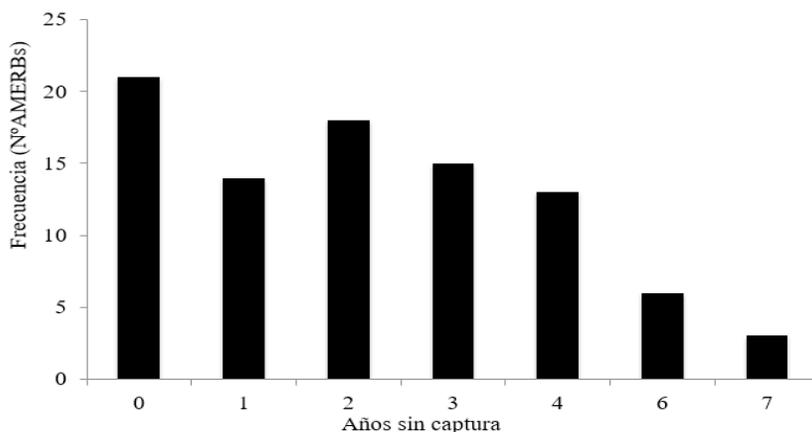


Fig. 1. Distribución de frecuencia de los años sin captura que han tenido las AMERB de las Regiones de Atacama y Coquimbo en los 20 años que lleva funcionando el sistema.

Conclusión respecto manejo de recursos en AMERB

Se concluye en general para el sistema AMERB, que en la gran mayoría de las áreas y pesquerías que se manejan bajo ese régimen, surgen problemas y no es posible lograr una pesquería estable y permanente en el tiempo (Arias 2016). La razón básica está en la variabilidad del sistema natural, la cual no es posible manejar en un espacio geográfico tan pequeño como lo que representa un AMERB. Eso obliga al pescador a moverse hacia nuevas áreas de pesca. Pero además de las AMERB, la legislación estableció regulaciones que restringen el movimiento de los pescadores a lo largo de la costa. Sólo se pueden mover dentro de cada región. Con ello el sistema regulatorio ya no permite un ajuste de la actividad pesquera a la variabilidad natural, generándose un desajuste en el sistema pesquero completo. Las escalas a la que ocurre el manejo no concuerdan con las escalas a la que ocurren los procesos naturales que determinan la dinámica de los recursos. Los intentos fallidos de manejar esa dinámica en las AMERB cuestionan nuestros supuestos respecto a las bases de la producción y como el manejo pesquero puede intervenir en ellos. La dinámica propia de los recursos, sus relaciones comunitarias y las particularidades de los usuarios y su relación con el mercado, generan un sistema muy complejo, con comportamientos a menudo diferentes a los esperados. El intervenir en un ámbito, por ejemplo el ambiental, incide en el otro ámbito del sistema, el social, y viceversa. Esto atenta contra los anhelos generalizados de sustentabilidad del sistema AMERB, el cual se ha evidenciado en general, con pocas excepciones, como poco sustentable (Arias 2016).

¿Cómo era antes de las AMERB?

Los pescadores aprendieron en el pasado a vivir con esa dinámica, migrando a lo largo de la costa, aprovechando los focos de abundancia de cada recurso que se daban en forma variable en el tiempo y en el espacio (Stotz y Aburto 2006, Thiel et al. 2007, Aburto et al.

2009). Con esas migraciones lograban mantener un sustento estable (Fig. 2). Esa migración además permitía que los sitios explotados en algún momento tenían periodos de “descanso”, sin pesca, en que las poblaciones se podían recuperar. A su vez, en el sistema pesquero existía un actor que se encargaba de traducir la incertidumbre de la oferta del pescador, en un flujo constante para satisfacer la demanda del mercado, que era el intermediario (Fig. 2). El supuesto de la implementación del sistema AMERB era de que mediante la regulación de la actividad extractiva se podía lograr manejar la pesquería del recurso, generando desembarques estables en el tiempo. A su vez, al controlar el pescador su oferta, podría evitar al intermediario y establecer convenios comerciales directamente con el mercado y así regular y/o mejorar sus ingresos (Fig. 2). Pero el funcionamiento del sistema después de 20 años muestra de que no es posible manejar los recursos y el pescador queda supeditado a su variabilidad natural (Fig. 2). Al estar impedido por las regulaciones de migrar, debe soportar las fluctuaciones, que implica irregularidad en sus ingresos y eventualmente pasar varios años sin ingresos de su AMERB (Fig. 1). El mercado se concentró en periodos cortos de compra durante el año, ajustando su compra a la demanda del mercado internacional, que no es regular durante el año. Eso genera que las AMERB se cosechan en periodos bien concentrados durante el año, generando ingresos para los pescadores sólo durante un corto periodo del año (Fig. 2). La consecuencia de todo fue el abandono de las pesquerías bentónicas tradicionales, las cuales se transformaron en un adicional muy ocasional. Muchos pescadores se tuvieron que dedicar a otras actividades, fuera de la pesca, y sólo vuelven a ella una vez al año, al cosechar su AMERB. Y para los que continúan en la pesca, el sustento lo dan hoy otras pesquerías, como son la del calamar gigante *Dosidicus gigas*, que aparece en forma muy irregular entre años, pero principalmente la explotación masiva de algas pardas, cuyo mercado ofrece actualmente buenos precios. Pero es una pesquería cuyo futuro es incierto, sobre todo porque se están cosechando bosques de algas que son hábitat

importante para muchos recursos pesqueros y/o área de cría de sus juveniles.

En síntesis, con las regulaciones pesqueras que se introdujeron en Chile se generó un sistema nuevo, con problemas nuevos (Gallardo et al. 2009, Aburto et al. 2010), que aparece poco sustentable (Arias 2016) y de futuro incierto. La consecuencia son demandas crecientes de inversiones y/o subvenciones del estado para buscar nuevas alternativas productivas y/o comerciales en la pesca o en actividades similares, como es la acuicultura. No obstante, una evaluación realizada respecto al resultado de esas inversiones, que en un período de 10 años alcanzaron 25,5 millones de US\$ para la Región de Coquimbo, no tuvieron efecto alguno (Mondaca-Schachermayer et al. 2011).

Análisis de dinámica causal ;Cuáles son las forzantes del sistema pesquero? ;cómo se explican los resultados tan poco favorables a pesar de la implementación de un sistema de manejo y administración que incorpora los avances científico-teóricos en el tema?

Mediante un análisis de dinámica causal sencillo (Chevalier y Buckle, 2008) se descubren algunas características del sistema pesquero artesanal y lo que generan en él las regulaciones, lo cual puede explicar en parte los problemas de sustentabilidad descritos en el texto anterior (Fig. 3):

- Las principales forzantes del sistema son la dinámica del ambiente y de los recursos. Ambas no pueden ser manejadas.

- Los pescadores, sus dirigentes y sus actividades, lo que incluye el desembarque y la sobreexplotación, aparecen como causas o forzantes, pero también como consecuencia de las principales forzantes del sistema que es la dinámica ambiental y de recursos. Quiere decir que explotan y/o dependen de recursos cuya dinámica no manejan. Su actividad en general y la eventual sobreexplotación es producto de esa dinámica, pero su efecto influye fuertemente en el sistema.

- La autoridad, las leyes y los técnicos

de la autoridad (técnico subpesca = profesionales que trabajan en la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura) también aparecen como influyentes, pero igual a los anteriores, también supeditados a la dinámica del ambiente y los recursos. Quiere decir, ellos administran recursos, cuya dinámica no manejan. Pero lo que deciden e instruyen influye fuertemente en el funcionamiento del sistema.

- El mercado con sus demandas influye fuertemente en el sistema, pero la satisfacción de esas demandas dependen de la dinámica del ambiente y los recursos.

- Los consultores y técnicos IFOP (Instituto de Fomento Pesquero, institución de investigación que monitorea la mayoría de las pesquerías para la autoridad) aparecen más bien como consecuencia – su trabajo es producto del funcionamiento del sistema. Lo que ellos investigan y recomiendan no resulta muy determinante para el sistema, pues deben pasar por las decisiones de la autoridad. Recién si la autoridad adopta la recomendación, sobre lo cual los consultores y técnicos IFOP no pueden influir mayormente, las recomendaciones pueden adquirir importancia en el funcionamiento del sistema.

- Los científicos y la familia de los pescadores no participan mayormente del sistema, son más bien observadores de lo que sucede en el sistema, sin influir mayormente, y también relativamente aislados de sus consecuencias. La familia participa a través del sustento que le aporta y los científicos a través de las preguntas que le plantea para sus investigaciones y publicaciones.

- Por definición de este tipo de análisis, el intervenir los elementos del sistema localizados en el cuadrante “causas/efectos” puede tener consecuencias impredecibles. Esto, porque la intervención que se haga se suma al efecto de las variables en el cuadrante de las causas, en este caso la dinámica del ambiente y del recurso, en las variables de ese cuadrante. Así por ejemplo, al buscar regular al pescador o restringir el desembarque para reducir la sobre-

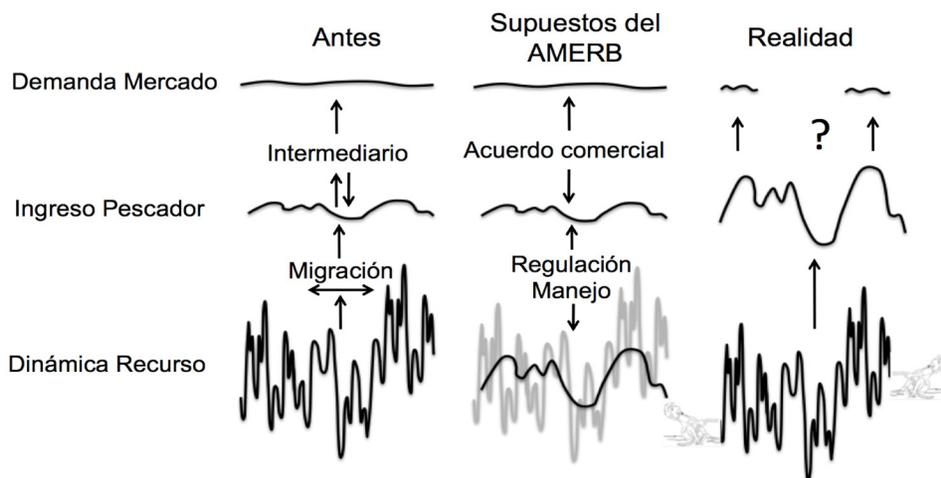


Fig. 2. Los supuestos de la implementación del sistema de Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB) y su realidad, en comparación a cómo funcionaba la pesca en el pasado en cuanto a dinámica del recurso, desembarque e ingreso del pescador y el comportamiento de la demanda del mercado.

explotación, no necesariamente tendrá ese efecto, porque ellos necesitan responder a la dinámica del sistema para mantener sus ingresos. La consecuencia habitual de una restricción decretada por la autoridad es el traslado del esfuerzo a otro recurso dentro del mismo sistema. Pero todos los recursos tienen sus propios usuarios, por lo que solo se traslada la eventual sobreexplotación de un recurso a otro. O los pescadores siguen con su recurso u otro al cual legalmente no tienen acceso, en forma clandestina. Como sea, el efecto siempre será impredecible, rara vez positivo. A menos que el pescador abandone la actividad pesquera, buscando ingresos en otra actividad fuera del sistema. Lo mismo se puede decir respecto al mercado, en cuanto a que cualquiera intervención en él, o de él sobre el sistema, genera efectos impredecibles.

La principal conclusión de este análisis es de que nuestra pretensión de lograr manejar el sistema aparece como una misión imposible. No tenemos como influir en el sistema para generar resultados predecibles. Y la experiencia y observación de las crisis en pesquerías alrededor del mundo parecieran ser la mejor evidencia de ello (ver por ej. Worm et al. 2006).

Cuando los principales elementos de un sistema quedan mayoritariamente en uno de los cuadrantes, como es el caso del análisis realizado, se puede volver a subdividir ese cuadrante para identificar los elementos más influyentes o dependientes de entre ellos (Fig. 4). El análisis de ese arreglo del sistema muestra lo siguiente:

- El mercado y las leyes son lo que impulsan principalmente el sistema.
- Los pescadores y desembarques aparecen como resultado, ellos responden a la dinámica del sistema, y de lo que el mercado o las autoridades les impongan.
- Y lo que se resalta en el sistema es lo que ocurre en la práctica: las leyes buscan regular a las actividades de los pescadores, para que estos, a través de su oferta restrinjan el producto que va al mercado, y así lo regulen indirectamente, cuando la regulación (la autoridad) así lo determina. Es decir se está esperando que un elemento que es el resultado del funcionamiento del sistema, sea el que determine el comportamiento de un elemento que es forzante.

La principal conclusión de esto es que se está esperando algo imposible. Los pescadores no pueden regular el mercado, sino siempre ocurre al revés. Ellos responden a

la demanda del mercado, y eso los termina llevando a los extremos que generan sobreexplotación. El análisis pone en evidencia algo que curiosamente se ignora o quiere ignorar, que en un sistema económico de libre mercado, como el que opera en Chile, es el mercado el que regula a las actividades económicas, y no resulta diferente esto en la pesca. Y en ese marco pretender regular indirectamente el mercado a través de la regulación de quien le provee, no está resultando. Habiendo un mercado que demanda, la respuesta siempre será buscar satisfacerlo, independiente de la regulación -eso es- con pesca clandestina cuando esa resulta ser la única opción. Recién cuando se llega al límite, que en el sistema global lo determina la dinámica del ambiente y de los recursos, el mercado termina siendo regulado. Pero la regulación en ese caso significa el colapso de la pesquería. Y es lo que se está observando.

A menudo se escucha que el principal problema del no funcionamiento de las regulaciones es la incapacidad de hacerlas cumplir, es decir debilidades en su fiscalización. De hecho, en Chile se está impulsando lo que se denomina la “modernización del Servicio Na-

cional de Pesca”, la institución encargada de la fiscalización, para dotarla de mejores herramientas para hacer cumplir las regulaciones. Aparte de que, con una población de más de 40,000 pescadores, que trabajan a lo largo de una costa de más de 4,000 Km, muy heterogénea y de difícil acceso en muchos lugares, lo hacen una tarea difícil de lograr, se desconoce un hecho muy determinante. Y es que los pescadores no pueden cumplir las regulaciones cuando estas significan una restricción. Porque no tienen como absorber la disminución de ingresos, o a veces ausencia de ingresos por algún período, que eso significa cuando se trata de una veda o cuota. El supuesto de la eficiencia de ese tipo de regulaciones proviene de la experiencia de la pesca industrial, la cual se puede adaptar a fluctuaciones en el desembarque que imponen las regulaciones (al implementar vedas, establecer cuotas que varían entre años, etc.) mediante empleo o despido de operarios. O en caso extremo, traslado del capital a otra inversión. En cambio, un pescador artesanal no tiene como absorber esas fluctuaciones, porque afecta sus necesidades esenciales y los de su familia. Y como se señaló anteriormente, cuando las fluctuaciones

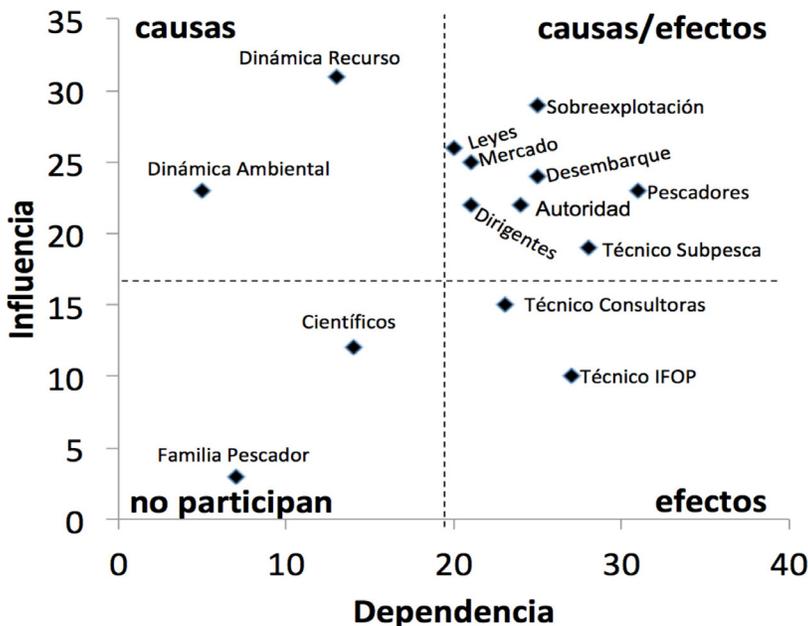


Fig. 3. Análisis de dinámica causal del sistema pesquero artesanal.

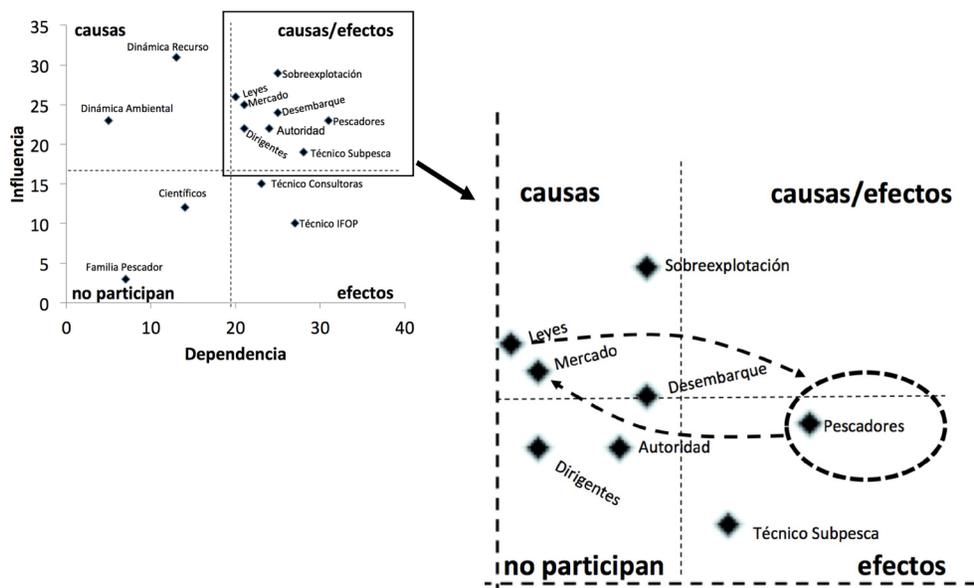


Fig. 4. Subdivisión del cuadrante “causa/efecto” de la Figura 3, para determinar los elementos más influyentes y más dependientes en él.

exceden el 39%, es decir una veda o una cuota hace disminuir el ingreso por más de un 39%, ellos están imposibilitados de cumplir. Entonces la regulación fuerza a los pescadores a buscar otras alternativas de ingreso, las cuales a menudo, a falta de alternativas, es la pesca clandestina de sus mismos recursos u otros. Y aun los mayores esfuerzos de fiscalización no pueden contra la fuerza que implica la necesidad de generarse un ingreso para simplemente vivir y sustentar a su familia.

¿Qué aprendemos con estos análisis?

Todo el análisis anterior hace ver que hace falta avanzar hacia una comprensión y enfoque más integral de los sistemas de pesca, tal como lo considera el Enfoque Ecosistémico de Pesquerías (EAF) impulsado por FAO (García et al. 2008). Esto debe ser previo al diseño e implementación de nuevas regulaciones para el sistema, que en Chile requiere urgentemente de una reforma general. No obstante, todo intento de reforma resulta difícil de lograr, pues tanto en el ámbito de los profesionales en la administración pesquera, como en el de sus asesores técnico y/o científicos existen visiones teóricas y/o anhelos muy arraigadas respecto al sistema, a veces no muy

coherentes con la realidad, que dificultan los cambios necesarios. Sobre todo, cuando el sistema se ve aparentemente ordenado y se da el no cumplimiento de normativas como razón para los eventuales problemas, deterioros o colapsos de pesquerías. Para avanzar en una reforma del sistema pesquero artesanal en Chile es necesario desprenderse de visiones o desarrollos teóricamente ejemplares (ver por ej. Gelcich et al. 2010) y volver a mirar con nuevos ojos lo avanzado. Como lección para otras realidades o resolución de nuevos problemas pesqueros, la recomendación sería evitar y retrasar al máximo la intervención, y estudiar el sistema en forma integral antes de tomar cualquier determinación. Tratar de diferenciar cuales son síntomas y cuales son causas, reconociendo por ejemplo que la sobrepesca, cuando ocurre, por lo general es un síntoma y no la causa del problema productivo que se detecta. En ese contexto, hay que avanzar desde el prejuicio de que la sobrepesca ocurre por falta de regulación y por tanto implementar aquellas, a la comprensión de que los sistemas pesqueros tienen generalmente sistemas de autorregulación, y si esos fallan, ha ocurrido por algún perturbador externo que hemos introducido en el sistema, al cual hay que identificar y regular. Por tanto,

más que regular la actividad pesquera como tal, es necesario comprender como funciona integralmente el sistema pesquero en el presente y cómo funcionaba en el pasado y en base a ello analizar el cómo se puede proteger. Es necesario buscar estrategias que aislen los factores perturbadores y que están afectando su equilibrio y capacidad de auto-regulación. Y generalmente se descubrirá que el regular al pescador y/o su actividad no resuelve el problema.

RECOMENDACIONES

En ese contexto, la recomendación para abordar un problema pesquero sería, primero observar lo que hacen los usuarios, porque lo hacen, su relación con la dinámica productiva del sistema natural y las forzantes en aquel. Aquello implica establecer un sistema de monitoreo y de interacción cercana con los usuarios en un marco de confianza y libertad de acción, que permita estudiar y comprender el funcionamiento real del sistema sin que este se vea forzado a ocultar parte de sus prácticas por estar sometidas a regulaciones que no se cumplen. Y ahí está la labor de la ciencia, estudiar en forma integrada y multidisciplinar (importante las ciencias sociales en este contexto) el sistema, describiendo, modelando, y mediante técnicas participativas no invasivas, ayudar a los actores a realizar sus propios diagnósticos y buscar sus propias regulaciones para abordar los factores perturbadores que se logren identificar en el funcionamiento del sistema. Y sobre todo tener presente que en relación al manejo pesquero artesanal no pueden existir formulas universales – cada país, su gente y sus recursos generan un sistema que es único y requiere ser comprendido previo a cualquier intervención.

REFERENCIAS

Arias N. 2016. Análisis de la sustentabilidad de las pesquerías bentónicas manejadas en el sistema de AMERB de las regiones de Atacama y Coquimbo. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias del Mar, Mención Recursos Costeros, Facultad de

Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Sede Coquimbo. 71 pp.

Aburto J, Gallardo G, Stotz W, Cerda C, Mondaca-Schachermayer C, Vera K. 2013. Territorial user rights for artisanal fisheries in Chile - intended and unintended outcomes. *Oc. Coast. Manag.* 71: 284-295.

Aburto J, Stotz W. 2003 Una experiencia de co-manejo de bivalvos en el marco de una nueva herramienta de administración pesquera en Chile: las áreas de manejo. *Pol. Mat.* 12 : 200-204.

Aburto J, Stotz W. 2013. Learning about TURFs and natural variability: Failure of surf clam management in Chile. *Oc. Coast. Manag.* 71: 88-98.

Aburto JA, Stotz WB, Cundill G. 2014. Social-ecological collapse: turf governance in the context of highly variable resources in Chile. *Ecol. Soc.* 19(1): 2.

Aburto J, Thiel M, Stotz M. 2009. Allocation of effort in artisanal fisheries: The importance of migration and temporary fishing camps. *Oc. Coast. Manag.* 52: 646-654.

Bandin R, Quiñones R. 2014. Impacto de la captura ilegal en pesquerías artesanales bentónicas bajo el régimen de co-manejo: el caso de Isla Mocha, Chile. *Lat. Amer. J. Aquat. Res.* 42(3): 547-579.

Chevalier JM, Buckle DJ. 2008. *A Guide to Collaborative Inquiry and Social Engagement.* Sage, IDRC. 316 pp. (www.sas2.net)

Gallardo G, Stotz W, Aburto J, Mondaca C, Vera K. 2011. Emerging commons within artisanal fisheries. The Chilean territorial use rights in fisheries (TURFs) within a broader coastal landscape. *International J. Comm.*5(2): 459-484.

Mondaca-Schachermayer C, Aburto J, Cundill G, Lancellotti D, Tapia C, Stotz W. 2011. An empirical analysis of the social

- and ecological outcomes of state subsidies for small scale fisheries: A case study from Chile. *Ecol. Soc.* 16(3): 17.
- García SM, Zerbi A, Aliaume C, Do Chi T, Lasserre G. 2003. The ecosystem approach to fisheries. Issues, terminology, principles, institutional foundations, implementation and outlook. FAO Fish. Tech. Pap. No. 443. Rome, FAO. 71 p.
- Gelcich S, Hughes T, Olsson P, Folke C, Defeo O, Fernández M, Foale S, Gunderson L, Rodríguez-Sickert C, Scheffer M, Steneck R, Castilla J. 2010. Navigating transformations in governance of Chilean marine coastal resources. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 107: 16794–16799.
- Jesse S, Stotz WB. 2002. Spatio-temporal distribution patterns of the crab assemblage in the shallow subtidal of the North Chilean Pacific Coast. *Crustaceana* 75(10): 1161-1200.
- León R, Stotz WB. 2004. Prey and prey selection dynamics of *Cancer polyodon* Poeping 1836 in three different habitat types in Tongoy Bay, Chile. *J. Mar. Biol. Assoc.* 84: 751-756.
- Meltzoff S, Lichtensztajn YG, Stotz W. 2002. Competing visions of marine tenure and co-management: Genesis of a Marine Management Area System in Chile. *Coast. Manag.* 30:85-99.
- Mondaca-Schachermayer C, Aburto J, Cundill G, Lancellotti D, Tapia C, Stotz W. 2011. An empirical analysis of the social and ecological outcomes of state subsidies for small scale fisheries: A case study from Chile. *Ecol. Soc.* 16(3): 17.
- Ortiz M, Jesse S, Stotz W, Wolff M. 2003. Feeding behaviour of the asteroid *Meyenaster gelatinosus* in response to changes in abundance of the scallop *Argopecten purpuratus* in northern Chile. *Arch. Hydrobiol.* 157(2):213-225.
- Oyanedel R, Keim A, Castilla JC, Gelcich S. 2018. Illegal fishing and territorial user rights in Chile. *Conserv. Biol.* 32(3), 619-627.
- Pérez EP, Stotz W. 1992. Comparaciones múltiples de parámetros gravimétricos entre poblaciones submareales de *Concholepas concholepas* (Bruguière, 1789) en el Norte de Chile. *Rev. Biol. Mar.* 27(2):175- 186.
- Stotz W. 1997. Las áreas de manejo en la Ley de Pesca y Acuicultura: Primeras experiencias evaluación de la utilidad de esta herramienta para el recurso Loco. *Estud. Ecol.* 16: 67-86.
- Stotz W, Aburto J. 2006. Diseño de plan piloto de ordenamiento para pesquerías bentónicas en la IV Región. Informe Final Proyecto FIP N° 2003-15. Valparaíso, Chile (www.subpesca.cl/fipa).
- Stotz W, Aburto J, Parma A, Orensanz JL, Tapia C, Schneider F, Loto L, Moraga C, Vera K, Schachermayer C, Cerda C, Araya P, Ruiz F. 2010. Evaluación del stock del recurso loco en áreas de libre acceso (ALA) y propuesta de manejo en el norte de Chile (Regiones XV, I y II). Informe final Proyecto FIP N° 2008-51, Valparaíso, Chile. (www.subpesca.cl/fipa).
- Stotz W, Caillaux L, Cecchi F, Escobar M, Garay R, Lancellotti D, Valdebenito M, Zúñiga S. 2008. Evaluación del proceso de implementación de la medida de administración Áreas de Manejo y Explotación de recursos Bentónicos (AMERB) en la regiones III y IV y elaboración de una propuesta de mejoramiento de la medida. Informes Fina Proyecto FIP N° 2005-34, Valparaíso, Chile. (www.subpesca.cl/fipa).
- Stotz W, González S. 1997. Abundance, growth, and production of the sea scallop *Argopecten purpuratus* (Lamarck 1819): bases for sustainable exploitation of natural scallop beds in north-central Chile. *Fish.*

Res. 32 :173-183.

Services. Science 314: 787-790.

- Stotz W, Mendo J. 2002. Pesquerías, Repoblamiento y Manejo de Bancos Naturales - su interacción con la Acuicultura, pp 357-374. En: A.N. Maeda-Martínez (ed.). Los moluscos pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura. Editorial Limusa, México.
- Stotz W, Pérez E. 1992. Crecimiento y productividad del loco *Concholepas concholepas* (Bruguière, 1789) como estimador de la capacidad de carga en áreas de manejo. Inves. Pes. (Chile) 37: 13-22.
- Thiel, M, Macaya EC, Acuña E, Arntz WE, Bastias H, Brokordt K, Camus PA, Castilla JC, Castro LR, Cortés M, Dumont CP, Escribano R, Fernandez M, Gajardo JA, Gaymer CF, Gomez I, González AE, González HE, Haye PA, Illanes JE, Iriarte JL, Lancellotti DA, Luna-Jorquera G, Luxoro C, Manriquez PA, Marín V, Muñoz P, Navarrete SA, Perez E, Poulin E, Sellanes J, Sepúlveda HH, Stotz W, Tala F, Thomas A, Vargas CA, Vasquez JA, Vega A. 2007. The Humboldt current system of northern-central Chile: oceanographic processes, ecological interactions and socio-economic feedback. Ocean. Mar. Biol. Ann. Rev.. 45: 195-344.
- Wolff M. 1987. Population dynamics of the Peruvian scallop *Argopecten purpuratus* during the El Niño phenomenon of 1983. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science 44, 1684-1691.
- Wolff M, Mendo J. 2000. Management of the Peruvian bay scallop (*Argopecten purpuratus*) metapopulation with regard to environmental change. Aquat. Conserv. Mar. Freshwat. Ecosyst. 10, 117-126.
- Worm B, Barbier E, Beaumont N, Duffy E, C Folke, Halpern B, Jackson J, Lotze H, Micheli F, Palumbi S, Sala E, Selkoe K, Stachowicz J, Watson R. 2006. Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem

Aplicaciones de metodologías en la reconstrucción de historia de vida de los organismos marinos

Guido Plaza Pastén¹

¹ Escuela de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Altamirano 1424, Región de Valparaíso, Chile, tel. 56-32-2274272, guido.plaza@ucv.cl

El océano es una fuente muy importante de recursos naturales vivos, cuya explotación en los últimos 50 años ha producido una expansión de la actividad pesquera como nunca antes se había producido. Actualmente la pesquería de recursos marinos produce alrededor de 90 millones de toneladas por año, lo que corresponde a más del 80% de la producción pesquera global. Las capturas han incrementado debido a la creciente demanda de alimento de una población humana que crece en forma acelerada, sumado al proceso de mejoramiento tecnológico en las capacidades de captura. En algunos casos este proceso ha conducido al colapso de muchas pesquerías, generando reducción de empleo. Para soslayar esta problemática, los gobiernos han comenzado a intervenir para regular las pesquerías orientando sus esfuerzos a obtener un desarrollo sustentable en los aspectos biológicos, económicos y sociales que rodean una actividad pesquera productiva. El desarrollo sustentable de los recursos marinos ha demandado la creación de una institucionalidad pesquera en los países que los explotan comercialmente. Esta institucionalidad se compone de una arista de investigación científica y otra de administración pesquera, donde se hace necesario también la formación permanente de recursos humanos calificados que contribuyan a mejorar la toma de decisiones para garantizar la sustentabilidad. Dentro del componente de investigación se ha hecho imprescindible contar con información en tiempo real del estado de situación de los recursos y conocer sus ciclos de vida, en muchos casos complejos, debido

a su adaptación a forzantes ambientales cambiantes y al rol ecológico que cumplen en los ecosistemas en que habitan. En la presente revisión, se resumen algunas metodologías que se utilizan en el estudio de la historia de vida de recursos marinos, haciendo hincapié en peces de importancia comercial, sobre algunas investigaciones llevadas a cabo en Chile.

Estrategias reproductivas

Uno de los aspectos biológico-pesqueros claves para el manejo de un determinado recurso es conocer su estrategia reproductiva. En primera instancia, se debe monitorear el ciclo reproductivo de un recurso particular, con el fin de identificar la época del año en que una especie se reproduce y determinar los periodos de veda (prohibición de pesca). El método más simple para este efecto es la utilización de índices de madurez, que permiten cuantificar los cambios en el desarrollo de las gónadas, utilizando una muestra aleatoria de la población, mediante muestreos realizados a frecuencias regulares, que pueden ser semanales y/o mensuales dependiendo de las capacidades logísticas de investigación. Hasta la fecha el índice de madurez más utilizado es el IGS (índice gonadosomático), el cual se define como un porcentaje del peso de la gónada en relación al peso total, "IGS= (Peso ejemplar Peso Gonada-1)/100. Aunque el IGS ha sido ampliamente usado para identificar a la época de desove en peces de importancia comercial, también ha sido de gran utilidad en otros organismos marinos, principalmente

cefalópodos y otros invertebrados.

Conjuntamente con el IGS, también es altamente recomendable caracterizar los cambios micro-y macroscópicos que experimentan las gónadas a través de la época reproductiva, porque por una parte proveen información de mayor resolución para validar los índices de madurez y por otra parte proveen información adicional, para dilucidar otros aspectos de la estrategia reproductiva de una especie determinada. El estudio histológico gonadal se aborda a través de técnicas histológicas convencionales, pero que han sido adaptadas para el estudio gonadal de organismos marinos. Estas técnicas comprenden la creación de finas secciones de tejido gonadal, de entre 0.3-0.6 micrones, a través de un proceso de embebido (bloques de parafina), seccionamiento (a través de micrótopo) y posterior tinción con hematoxilina-eosina, que permite la adecuada identificación los ovocitos en sus diferentes estados de desarrollo. El análisis histológico también permite contrastar la información con el análisis macroscópico, a fin caracterizar los diferentes estados de desarrollo gonadal, los cuales pueden ser usados posteriormente para propósitos de monitoreo.

En el caso particular de los peces, es importante avanzar en comprender las diferentes modalidades de reproducción, en términos de tipo de fertilización (externa vs interna), las veces que se reproducen (semélparos vs iteróparos) y presencia y/o ausencia de cuidado parental, entre otros aspectos. En el caso particular de los peces de importancia comercial, que en la mayoría de los casos poseen fertilización externa, es muy importante dilucidar si son desovadores totales o parciales. Los peces que desovan una vez, desarrollan sus ovocitos de forma sincrónica desde oogonias, pasando por los procesos de vitelogenénesis, hidratación y finalmente ovulación. Otros peces, pueden desovar repetidamente durante una estación reproductiva liberando tandas parciales de huevos a intervalos discretos (Wallace y Selman 1981, Maddock y Burton 1999). Estos peces son denominados “desovadores parciales o seriales”, los cuales pueden ser

clasificados a su vez como desovadores con fecundidad determinada e indeterminada. La existencia de un intervalo bien definido entre los ovocitos inmaduros y los ovocitos vitelados más avanzados es indicativo de fecundidad determinada, i.e., todos los ovocitos en la moda más avanzada serán liberados en una estación de desove, ya sea en un simple evento o en tandas sucesivas (Horwood y Walker 1990, Kjesbu et al. 1990, Fig. 1a). En estos casos la fecundidad anual puede ser estimada al inicio de la estación de desove a partir del stock de ovocitos vitelados avanzados. Por otro lado, los desovadores parciales con fecundidades indeterminadas, muestran distribuciones de ovocitos que se sobrepone con un reclutamiento continuo de un estado de desarrollo al siguiente (i.e., presentan una organización ovárica asincrónica). Para ambos tipos de organización ovárica (i.e., asincrónico o sincrónico por grupo) la fecundidad anual solamente puede ser estimada como el producto de la fecundidad parcial y el número de desoves por estación reproductiva. (Lowerre-Barbieri et al. 1996, Fig. 1b).

La aproximación metodológica que se utiliza para determinar el patrón de desove (asincrónico vs sincrónico) y el tipo de fecundidad (determinada vs indeterminada) corresponde al análisis de distribución de frecuencia de diámetros de ovocitos, el cual puede ser efectuado analizando macroscópicamente una sub-muestra de algún lóbulo de un ovario maduro. Los ovocitos son disgregados del tejido adherente y posteriormente el material es digitalizado utilizando analizadores de imágenes, los que permiten medir las dimensiones de los ovocitos de forma automática y/o semi-automática con elevada precisión, para posteriormente construir las distribuciones de frecuencia de diámetro de ovocitos (Fig. 1c, d). Esta aproximación permite también determinar la fecundidad parcial, al cuantificar el número de ovocitos de la última moda de la distribución y ser posteriormente complementada con información histológica, para determinar la frecuencia de desove y la fecundidad total anual. Ambos indicadores

son utilizados en la estimación de la producción total de huevos.

Reconstrucción de la historia de vida

Otro de los aspectos de monitoreo rutinario en la investigación pesquera es la determinación de edad y crecimiento. Ambos rasgos de la historia de vida son utilizados en modelos para determinar la abundancia de un determinado recurso y fijar una cuota de captura (i.e., cuántos individuos es recomendable capturar en un año particular). En el caso de los peces, la determinación de edad y crecimiento normalmente se realiza mediante la exanimación de estructuras calcificadas que forman un anillo por cada año transcurrido. Dentro de las estructuras calcificadas, los otolitos de peces han sido las más usadas, los cuales están compuestos mayoritariamente de carbonato de calcio, algunas proteínas estructurales, elementos mayores y metales trazas que se depositan

en pequeñas concentraciones. Los tres pares otolitos (sagittae, lapillus y asteriscus, Fig. 2i) se encuentran en el oído interno de peces óseos y su función es actuar como receptor mecánico de las señales transmitidas por el nervio auditivo, a fin de mantener el balance del pez en el medio acuático. Estas estructuras crecen por deposición de capas concéntricas (denominados anillos de crecimientos), las cuales son depositadas a intervalos regulares que pueden ser diarios o estacionales. Los anillos de crecimiento estacionales están formados a su vez por una zona translúcida y otra opaca, constituyendo entre ambas un anillo anual (denominado anulo), cuyo crecimiento registra la cronología histórica desde el nacimiento hasta la fecha de muerte del pez (Fig. 2ii). Alternativamente, los anillos de crecimiento diario (Panella 1971) son solamente visibles a través de un microscopio durante el primer año de vida del pez, debido a que su crecimiento es mayor durante dicho periodo (Fig. 2iii).

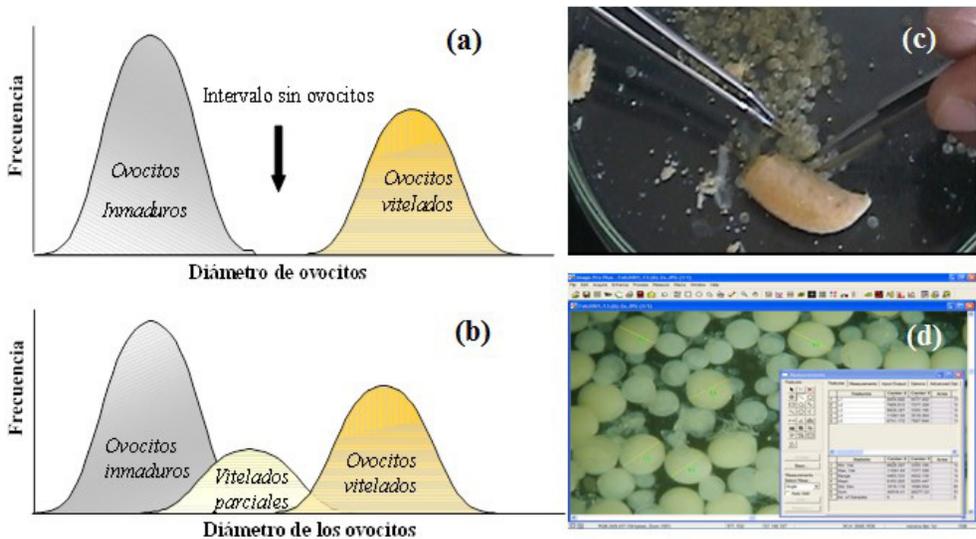


Fig. 1. Fotografía ilustrativa de una distribución de frecuencia de tamaño de los ovocitos para especies con desove parcial y desarrollo ovárico sincrónico por grupo (a) y asincrónico (b). Se ilustra también el proceso de separación de ovocitos (c) y medición de su diámetro utilizando un analizador de imágenes (d).

Los otolitos poseen la capacidad para registrar en su micro y macro estructura, no sólo información sobre edad y crecimiento, sino también permite reconstruir los

patrones de movimientos, y/o interacción de hábitat a diferentes escalas temporales. Dicha información puede ser interpretada a nivel poblacional en términos de ecología y

demografía con el fin de asegurar su manejo y conservación. Más específicamente, a nivel micro-estructural los otolitos también registran transiciones ontogénicas que

ocurren durante las fases tempranas del desarrollo de los peces, tornándose en una herramienta potencial para estudios ecológicos de peces marinos y dulceacuícolas.

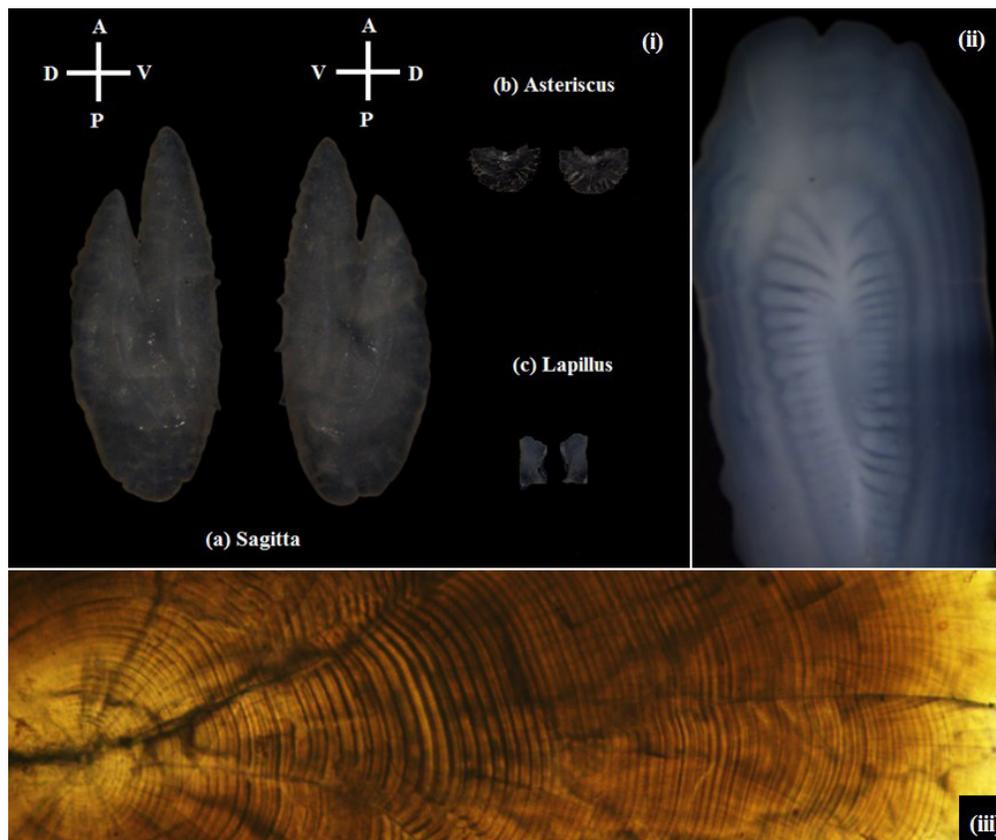


Fig. 2. (i). Fotografía ilustrativa de los tres pares de otolitos de un ejemplar de 11 cm LT de anchoveta *Engraulis ringens*. (a) Sagitta; (b) asteriscus y (c) lapillus: A: Anterior; P: Posterior; V: Ventral; D: Dorsal. (ii) Otolito sagital de tres aletas (*Micromesistius australis*) ilustrado la presencia anillos anuales (ánulos). (iii) Sección de un otolito sagital de juvenil de 10 cm de LT de la anchoveta (*E. ringens*), donde es posible observar micro-incrementos diarios utilizando microscopía óptica.

Aplicaciones de la otolimetría

Actualmente la otolimetría se proyecta como una disciplina interdisciplinaria con diversas aplicaciones en el estudio de la historia de vida de peces, experimentando un notorio incremento en los últimos años en países industrializados, particularmente en aquellos que explotan comercialmente sus recursos acuáticos. En las últimas dos décadas cinco congresos internacionales han sido organizados exclusivamente en este campo

(Begg et al. 2005) y el próximo evento se realizará en la ciudad de Taiwan en abril de 2018. A continuación, se describen algunos ejemplos de aplicaciones de otolimetría en Chile.

Un caso de estudio: La anchoveta *E. ringens*

La anchoveta (*E. ringens*) es una especie de forraje para mamíferos marinos, aves marinas y peces, transfiriendo energía del plancton a depredadores de mayor tamaño (Alder et al.

2012). Esta especie, cuyas longitudes máximas fluctúan entre 18 y 20 cm, se distribuye desde el norte de Perú (4°30'S) al sur de Chile (42° 30'S), donde se han identificado dos grandes stocks principales: una en la zona centro-norte del Perú y la otra en el sur de Perú y el norte de Chile. En el norte de Chile, la pesquería se localiza entre los 18° 21'S y 24° S y se inició a principio de la década sesenta sobre la base del recurso anchoveta con destino de las capturas a la reducción a harina y aceite. A comienzos de la década 1970 este recurso disminuyó de manera importante, en contraposición a la abundancia de la sardina española (*Sardinops sagax*) que aumentó considerablemente, constituyéndose en el recurso principal de esta pesquería desde mediados de los setenta. La anchoveta permaneció en un régimen de baja abundancia hasta 1985, cuando la situación se invirtió y nuevamente la anchoveta se transformó en el recurso pesquero principal de la zona norte.

A pesar de la importancia ecológica y pesquera de la anchoveta, aún hay muchos aspectos de su historia de vida que aún no han sido revelados en esta especie. En este contexto, el Laboratorio de Esclerocronología de la Escuela de Ciencias del Mar de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso y la Sección de Edad y Crecimiento del Instituto de Fomento Pesquero, iniciaron a partir del año 2009 una línea de investigación en edad y crecimiento de la anchoveta en la zona norte de Chile, utilizando análisis del micro-incremento diario de sus otolitos (Plaza y Cerna 2015, Cerna y Plaza 2016). A través de estas investigaciones se ha demostrado que la anchoveta maximiza gran parte de su crecimiento durante el primer año de vida, alcanzando los talla media de reclutamiento y madurez (12 cm) a los primeros 5 meses de vida, donde las mayoría de los ejemplares que aparecen por primera vez en la pesquería han sido originados de eventos de desove de la estación anterior (Cerna y Plaza 2016, Fig. 3).

Identificación de stock

Un stock pesquero corresponde a un grupo semi-discreto de peces con algunos

atributos característicos que son de interés para la administración, con el fin de fijar cuotas de captura de manera de asegurar la sustentabilidad de un determinado recurso en el tiempo (Begg et al. 1996). El análisis de otolitos ofrece tres herramientas alternativas para identificación de stock de peces: (a) análisis de la morfología, micro-química y micro-estructura de los otolitos. La primera se basa en el hecho de que la morfología de los otolitos es altamente especie-específica e incluso puede variar entre sub-poblaciones o unidades de stock (Fig. 4). Por su parte, la micro-química está basada en el principio de que el otolito al ser metabólicamente inerte (i.e. su material no es reabsorbido) y crecer continuamente a través de la vida del pez, mantiene la composición química del ambiente al cual el pez estuvo expuesto (Campana 1999). La micro-estructura se puede transformar en un marcador natural debido a que los controladores del crecimiento temprano pueden fluctuar entre áreas geográficas (Clausen et al. 2007).

Hasta la fecha algunas de estas aproximaciones han sido aplicadas en el estudio de recursos pesqueros chilenos. Por su parte, Niklitschek et al. (2010) reportó diferencias significativas en la macroquímica de los otolitos, específicamente en las tasas Sr:Ca, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ de la merluza de tres aletas (*M. australis*) entre ejemplares recolectados en zonas de desove del océano Atlántico, surgiendo la existencia de dos sub-poblaciones. Complementariamente, Legua et al. (2013) reportó diferencias significativas en la forma del otolito entre ejemplares adultos provenientes del océano Atlántico y Pacífico, mediante el uso de descriptores básicos de forma y descriptores elípticos de Fourier. En otro estudio Ashford et al. (2011) utilizó la micro-química de otolitos para evaluar la estructura poblacional del jurel (*Trachurus murphy*) a lo largo de su área de distribución. En este estudio se demostró la existencia de una heterogeneidad espacial fuerte durante la fase adulta de esta especie, con un elevado nivel de conectividad y suministro de las áreas de desove frente a Chile.

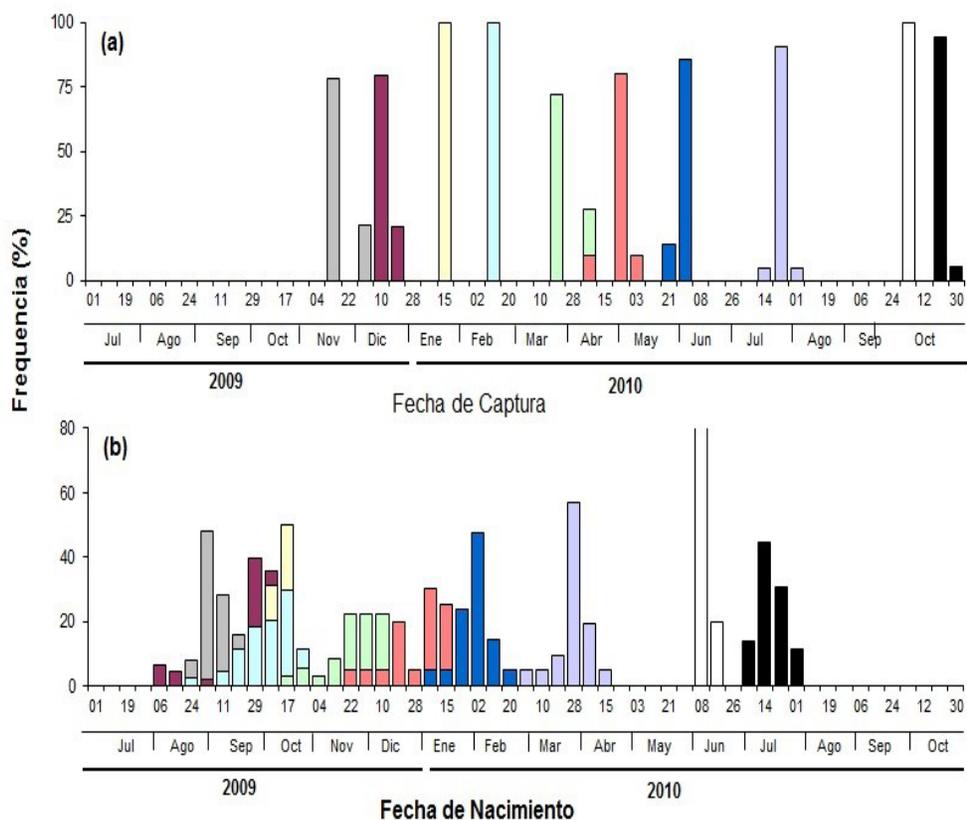


Fig. 3. Ilustración de la relación entre fecha de captura y fecha de nacimiento, estimada a través de análisis de la micro-estructura de otolitos sagitales de la anchoveta *E. ringes* en el norte de Chile. Figura modificada de Cerna & Plaza (2016).

Historia de vida durante los estadios tempranos

Hasta la fecha en Chile, algunos estudios han utilizado la micro-estructura de los otolitos para reconstruir aspectos de la historia de vida durante los estadios tempranos de peces. Por ejemplo, para algunos peces litorales de la zona central se ha podido determinar con extraordinaria precisión tasas de crecimiento larval y otros procesos como la reconstrucción de sus tiempos de eclosión y sincronía con ciclos linareos y/o mareales (Palacios-Fuentes et al. 2014, Rodríguez-Valentino et al. 2014, Castillo-Hidalgo et al. 2017). En otros casos ha sido posible determinar la duración del periodo en que las larvas permanecen en el plancton y los

tamaños que ellos alcanzan cuando reclutan a pozas intermareales, de forma transitoria o permanente. Estos estudios han reportado tasas de crecimiento < a 2 mm/día para las fases larvales de algunos peces litorales, duraciones planctónicas extensas de más de tres meses en la mayoría de las especies estudiadas hasta la fecha y patrones de asincronía y/o sincronía a los ciclos lunares, dependiendo de la especie (Palacios-Fuentes et al. 2014, Mansur et al. 2014). Consecuentemente se ha inferido que la existencia de periodos planctónicos largos y flexibles pueden ser el resultado de la influencia de las condiciones hidrográficas asociadas con la corriente de Humboldt, los que, combinado a una estrategia de tamaño competente, puede incrementar sustantivamente las probabilidades de reclutar

con éxito a las a ambientes costeros muy conspicuos, como son las pozas intermareales.

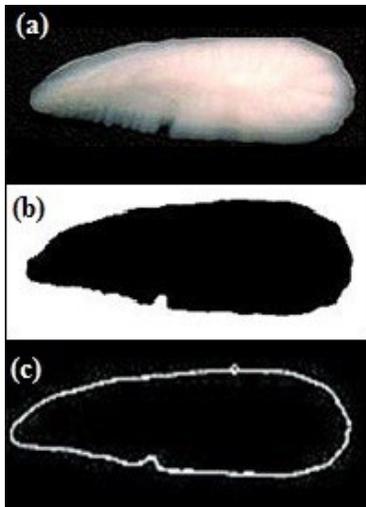


Fig. 4. Ilustración del proceso de digitalización, binarización y extracción del contorno de un otolito sagital de un ejemplar adulto de la merluza de tres aletas (*M. australis*), mediante el uso de coeficientes normalizados de Fourier, utilizando el programa SHAPE 1.3.

Reconstrucción de la historia de vida en otros organismos

En la última década se han incrementado las publicaciones científicas con aplicaciones de esclero-cronología en otros organismos marinos. Dentro de estas aplicaciones se puede mencionar la “reconstrucción paleoclimática”, donde se utiliza la información registrada en corales e invertebrados marinos, fundamentalmente bivalvos. El principio de esta aplicación es que las bandas anules presentes en fósiles de ambos tipos de organismos registran también marcas isotópicas (^{14}C , $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$), las que pueden ser usadas para reconstruir la circulación del océano, cambios hidrográficos y la dinámica del sistema (Scourse et al. 2006). Hasta la fecha, la mayoría de las aplicaciones utilizando corales han estado restringidas a áreas tropicales, pero el desarrollo de la esclero-cronología en bivalvos proyecta estas aplicaciones a ambientes templados, sub-polares y polares. Otras aplicaciones de esclero-cronología contempla la

reconstrucción de parámetros de historia de vida en cefalópodos, a través del estudio de sus otolitos y más recientemente en crustáceos, a través del estudio de bandas de crecimiento en el molinillo gástrico y el pedúnculo ocular.

AGRADECIMIENTOS

Manifiesto mi agradecimiento a la Secretaría Técnica y de Planificación de la Presidencia (SETEPLAN), al Ministerio de Educación (MINED), a la Universidad de El Salvador a través del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMARES) y al Ministerio de Relaciones Exteriores (RREE) por el financiamiento otorgado para participar en el Primer Simposio en Ciencias del Mar de El Salvador. Algunas de las aplicaciones de Esclero-cronología descritas en este documento han sido financiadas por diversos proyectos de investigación, entre las cuales se incluyen: SUBPESCA No 4728-31-LP11; FIP 2009-17; FIP 2014-31; FONDECYT 1100895; 1100424; FONDECYT 1140740; FONDECYT 1150296.

REFERENCIAS

- Alder J, Campbell B, Karpouzi V, Kaschner K, Pauly D. 2008. Forage fish: from ecosystems to markets. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 33, 153–166.
- Ashford. J, Serra R, Saavedra JC, Letelier J. 2011. Otolith chemistry indicates large-scale connectivity in Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*), a highly mobile species in the Southern Pacific Ocean. *Fish. Res.*, 107 (2011):291-299
- Begg GA, Friedland KD, Pearce JB. 1999. Stock identification and its role in stock assessment and fisheries management: An Overview. *Fish. Res.* 43; 1-8.
- Campana S. 1999. Chemistry and composition of fish otoliths: Pathways, mechanisms and applications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 9: 263-297.

- Castillo-Hidalgo G, Plaza G, Díaz-Astudillo G, Landaeta MF. 2017. Seasonal variations in early life traits of *Sindoscopus australis* (Blennioidei: Dactyloscopidae): hatching patterns, larval growth and bilateral asymmetry of otoliths. *J. Mar. Biol. Assoc. UK*.
- Clausen LA, Bekkevold W, Hatifield D, Mosegard H. 2007. Application and validation of otolith microstructure as a stock identification method in mixed Atlantic herring (*Clupea harengus*) stocks in the North Sea and western Baltic. – *ICES J.Mar. Sci.* 64: 377-385.
- Cerna F, Plaza G. 2016. Daily growth patterns of juveniles and adults of the Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) in northern Chile. *Mar Freshwater Res* 67: 899-912.
- Fossum P, Kalish J, Mokness E. 2000. Editorial foreword. In “Special Issue”: 2nd International Symposium of Fish Otolith Research and Application, Bergen, Norway, 20-25 June 1998. *Fish. Res.* 46: 1-2.
- Horwood JW, Walker MG. 1990. Determinacy of fecundity in sole (*Solea solea*) from the Bristol Channel. *J. Mar. Biol. Assoc. UK*. 70: 803-813.
- Kjesbu OS, Witthames PR, Solemdal P, Walker MG. 1990. Ovulatory rhythm and a method to determine the stage of spawning in Atlantic Cod (*Gadus morhua*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47: 1185-1193
- Legua J, Plaza G, Pérez D, Arkhiokin A. 2013. Otolith shape analysis as a tool for stock identification of the southern blue whiting, *Micromesistius australis*. *L. Amer. J. Aquat. Res.* (41): 479-489.
- Maddock DM, Burton MPM. 1998. Gross and histological observations of ovarian development and related condition changes in American plaice. *J. Fish. Biol.* 53: 928-944.
- Mansur L, Plaza G, Landaeta MF, Ojeda FP. 2014. Planktonic duration in fourteen species of intertidal rocky fishes from the south-eastern Pacific Ocean. *Mar. Freshwat. Res.* 65: 901-909
- Niklitschek EJ, Secor DH, Toledo P, Lafon A, George- Nascimento M. 2010. Segregation of SE Pacific and SW Atlantic southern blue whiting stocks: integrating evidence from complementary otolith microchemistry and parasite assemblage approaches. *Environ. Biol. Fish.* 2010: 399-413.
- Palacios-Fuentes P, Landaeta MF, Jahnsen-Guzmán, Plaza G, Ojeda FP. 2014. Hatching patterns and larval growth of a triplefin from central Chile inferred by otolith microstructure analysis. *Aquat. Ecol.* 48: 259-266.
- Panella G. 1971. Fish otoliths: daily growth layers and periodical patterns. *Science* 173: 1124-1127
- Plaza G, Landaeta MF, Espinoza CV, Ojeda FP. 2013. Daily growth patterns of six species of young-of-the-year of Chilean intertidal fishes. *J. Mar. Biol. Assoc. UK*. 93: 389-395.
- Plaza G, Cerna F. 2015. Validation of daily microincrement deposition in otoliths of juvenile and adult Peruvian anchovy *Engraulis ringens*. *J. Fish. Biol.* 86: 203-216.
- Scourse J, Richardson C, Forsythe G, Harris I, Heinemeier J, Fraser N, et al. 2006. First cross-matched floating chronology from the marine fossil record: data from growth lines of the long-lived bivalve mollusc *Arctica islandica*. *The Holocene.* 16: 967-974.
- Wallace RA, Selman K. 1981. Cellular and dynamic aspects of oocyte size in teleosts. *Amer Zool* 21:325-343.

ARTÍCULO DE REVISIÓN

El rol de las universidades en el proceso de macro-zonificación del borde costero en la región de Valparaíso, Chile.

Guillermo Martínez¹, Ricardo Figueroa², Antonio Ugalde³

1 Escuela de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Avenida Altamirano 1480, Valparaíso, Chile, guillermo.martinez@pucv.cl

2 Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Avenida Brasil 2241, Valparaíso, Chile.

3 Vicerrectoría de Desarrollo, Universidad de Playa Ancha, Avenida Gran Bretaña 40, Playa Ancha, Valparaíso, Chile.

Palabras clave: planificación territorial, zonificación, universidades, gobernanza.

INTRODUCCIÓN

Macro-zonificación del borde costero

La Política Nacional de Uso del Borde Costero, PNUBC (Decreto Supremo 475 de 1994 del Ministerio de Defensa. Política Nacional de Borde Costero), plantea la necesidad de compatibilizar los usos y actividades del borde costero, considerando la realidad geográfica de cada zona, asegurando la conservación de sus recursos y protegiendo el ambiente, para lograr un desarrollo equilibrado de estas diferentes actividades. Para ello es necesario determinar los diferentes objetivos y propósitos específicos posibles, para las diversas áreas del litoral, y al mismo tiempo evaluar las aptitudes naturales de los diferentes espacios territoriales presentes, a fin de proponer una zonificación de los usos preferentes para cada uno de estos espacios.

La zonificación del borde costero corresponde a un proceso de planificación territorial participativo del que se obtiene una propuesta consensuada entre los actores públicos, privados y la sociedad organizada, respecto de los usos preferentes para cada una las unidades geográficas que se identifiquen en el litoral regional. Esta propuesta, se traduce en una cartografía donde se grafican los límites de extensión de estos usos preferentes, su zonificación general y las condiciones y restricciones para su administración conforme

a lo dispuesto por la Política Nacional de Uso del Borde Costero. Constituye finalmente un instrumento de planificación indicativo para el otorgamiento de concesiones marítimas y de consulta para las actualizaciones de los planes reguladores de las comunas costeras de la Región de Valparaíso.

En el marco del “Convenio de cooperación para la ejecución de los procesos de zonificación regional del Borde Costero de la Región de Valparaíso”, suscrito entre la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo del Ministerio del Interior, la Subsecretaría de Marina del Ministerio de Defensa Nacional y el Gobierno Regional de Valparaíso, se llevó a cabo el programa de Zonificación del Borde Costero Regional, ejecutado por la División de Planificación y Desarrollo del Gobierno Regional de Valparaíso, a través del Departamento de Planificación y Ordenamiento Territorial.

A partir de los antecedentes descritos, es posible extraer que el objetivo general de la zonificación del borde costero se desprende de la Política Nacional de Uso del Borde Costero, la cual plantea la necesidad de compatibilizar los usos y actividades del borde costero, considerando la realidad geográfica de cada zona, asegurando la conservación de sus recursos y protegiendo el ambiente, para lograr un desarrollo equilibrado de estas diferentes actividades.

Las etapas contempladas en el proceso

de macro-zonificación fueron: diagnóstico, mapa de intereses de actores públicos y privados, matriz de compatibilidad, mapas de superposición, mapa semáforo y mapa de zonificación (Fig. 1).

Ámbito de aplicación

El instrumento en desarrollo se aplica al borde costero, entendido como aquella franja del territorio que comprende los terrenos de playa fiscales situados en el litoral, la playa, las bahías, golfos, estrechos y canales interiores, y el mar territorial de la República, que se encuentran sujetos al control, fiscalización y supervigilancia de la Subsecretaría de las Fuerzas Armadas. Su extensión puede ser:

frente a predios privados, en donde el borde costero abarca el mar territorial hasta la línea de la más alta marea (incluyendo la superficie denominada “playa de mar”, entre las líneas de la más alta y la más baja marea); frente a predios públicos, donde el borde costero abarca el mar territorial, hasta la línea de más alta marea (lo que incluye la superficie denominada “playa de mar” entre las líneas de la más alta y la más baja marea), más las áreas de protección para menesteres de la pesca, incorporadas en los terrenos de playa y 80 m de playa (sobre la línea de más alta marea). La segunda etapa del proceso, consistió en la confección de un mapa de intereses de actores públicos y privados.

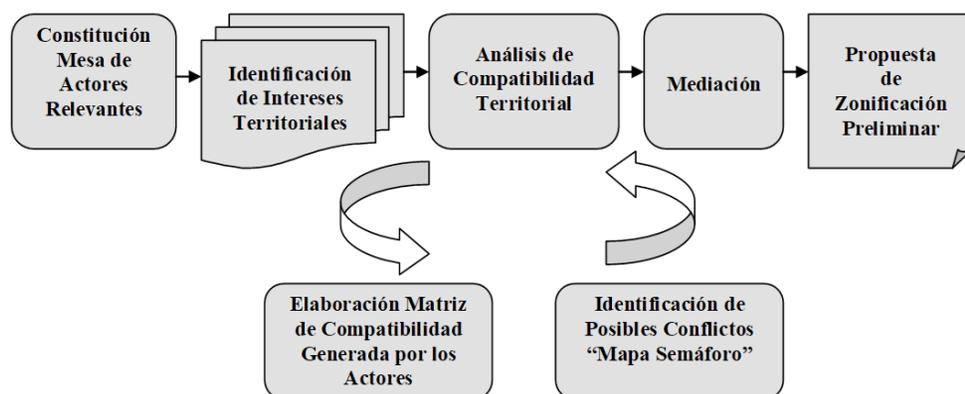


Fig. 1. Mesa público privada en el proceso de macro-zonificación regional.

RESULTADOS

Participación de las universidades en el proceso de macro-zonificación

En el marco de la definición de la zonificación como un proceso participativo, durante el mes de septiembre del año 2010 la Comisión Regional de Uso del Borde Costero y la Oficina Técnica de Apoyo dependientes del Gobierno Regional, invitaron a distintos actores a manifestar sus intereses respecto a los usos preferentes en el territorio costero. Entre los sectores invitados al proceso de

zonificación se incluyó a las universidades regionales, representadas por las cuatro universidades del Consejo de Rectores de Valparaíso: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Universidad de Playa Ancha, Universidad Técnica Federico Santa María y Universidad de Valparaíso; junto a la Estación Costera de Investigaciones Marinas “Las Cruces” de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Como documento de apoyo para esta etapa, se entregó en forma previa a los actores un “Manual para la Confección de Mapas de Interés y de la Matriz de Compatibilidad”, que sustentaba el proceso de zonificación.

Vacíos conceptuales y procedimentales detectados

Los representantes de las universidades, manifestaron a la Oficina Técnica de Apoyo su preocupación respecto al Manual y al procedimiento utilizado al momento de manifestar sus intereses en el borde costero, destacando algunos vacíos tanto conceptuales como metodológicos del documento, como también la carencia de algunos “principios rectores” explícitos que orientaran todo el proceso de macro-zonificación. Para abordar esta problemática, y sobre todo dadas las implicancias para la Región de los resultados del proceso del cual formaban parte, los representantes de las universidades se auto convocaron a desarrollar un trabajo conjunto, para lo cual se conformó un grupo de trabajo, posteriormente denominado “Grupo Interuniversitario para el Desarrollo Sustentable de Zonas Costeras GIZC” (ver Anexo). Este grupo utilizó como metodologías la sistematización de las reflexiones de un panel de expertos, como también talleres de análisis prospectivo, con el objeto de identificar y analizar las estrategias y las actuaciones a materializar en el proceso de macro-zonificación, cautelando la sustentabilidad ambiental y el patrimonio cultural.

Se plantearon posturas teóricas que se consideró necesario revisar, ante lo cual se hizo entrega de un documento, para aportar una mirada sistémica sobre el territorio y su complejidad, contribuyendo a ponderar los usos que son más importantes en un borde costero de una fragilidad inconmensurable, dejando expresa constancia que resulta fundamental ahondar en la importancia de definir un marco regulatorio adecuado que proteja la diversidad que cohabita en el borde costero. Junto a los alcances, se incluyó un análisis fundamental del llamado borde costero, entendido tradicionalmente solo como un límite administrativo que no da cuenta de la complejidad de interacciones con su entorno. Ante ello, se manifestó la necesidad de considerar que el borde costero está incluido en la zona costera, –entendida

desde una perspectiva físico territorial- como el espacio delimitado por la interrelación entre: a) la plataforma continental hasta el límite exterior de la soberanía nacional (12 mn), en el medio acuático; b) las cuencas hidrográficas hasta el límite administrativo de la unidad de decisión más descentralizada del mismo Estado (límite comunal), en el medio terrestre y; c) el límite superior de la celda de circulación de la brisa marina superficial, en el medio aéreo. Asimismo, se consideró necesario que para enfrentar adecuadamente la zonificación de la zona costera y las incertidumbres que puede implicar este proceso, se deben incluir ciertos “principios” en el marco general del proceso de macro-zonificación.

Principios generales en el proceso de macro-zonificación

Principio del bien común. Principio rector a nivel Regional respecto de lo que la sociedad “quiere” de su zona costera, teniendo como fin último el bien común, bajo los criterios del desarrollo sustentable. Principio de simetría. La información relacionada con la zona costera, debe ser comprensible y transparente para los distintos actores o “interesados”.

Principio de aptitud y sensibilidad. Generar en los procesos de toma de decisiones, implementación y gestión territorial; instancias previas que permitan evaluar la aptitud del ambiente para soportar los usos preferentes y secundarios propuestos, para utilizarlos como criterios en este ámbito.

Principio precautorio. Este principio se establece ante la amenaza de potenciales daños que pudiesen generar decisiones en áreas o temas con fuertes incertidumbres o que puedan tener efectos negativos sobre la salud o el medio ambiente; desde esta perspectiva, el principio precautorio es especialmente apropiado para el tratamiento de los temas relacionados con la biodiversidad, porque la complejidad de éstos y el amplio campo geográfico que cubren aumenta la incertidumbre científica, y porque cualquier error puede tener consecuencias devastadoras e irreversibles.

Principio de objetivación. Una vez definidos los usos, para poder dirimir entre usos preferentes y secundarios, es necesario evaluar las implicancias, demandas y requerimientos al ambiente y a los otros usos relacionados.

Principio sistémico. Considerar que la zona costera es un sistema abierto y conectado, que comprende territorio y maritorio en el que ocurren procesos con diferentes escalas y patrones espaciales y temporales.

Principio de complejidad. Considerar que en la zona costera interactúan en cambio permanente, múltiples dimensiones (biótica, socio-cultural, temporal, terrestre, marítima y atmosférica, entre otras), usos e intensidades de uso, lo que obliga a tener puntos de vista multi y transdisciplinarios.

Principio de accesibilidad al bien de uso público. La zona costera contiene un bien nacional de uso público, por lo cual es necesario asegurar el acceso, uso y goce continuo del borde costero.

En función de estos principios, surge el deber de decidir -con criterios flexibles- en base a visiones sistémicas, sustentables y participativas; que se traduzcan en intervenciones que sean monitoreadas e investigadas permanentemente para evitar su obsolescencia, y difundidas públicamente en pos del bien común. Al incluir estos principios se buscaba reforzar el proceso de zonificación bajo el paradigma del desarrollo sustentable tomando en cuenta la enorme riqueza medioambiental de la Región de Valparaíso, su fragilidad, las consideraciones éticas e intergeneracionales, la diversidad de usos y nichos culturales validados por prácticas con una fuerte carga histórica.

Participación y aportes del Grupo Interuniversitario al proceso de macro-zonificación

A la luz del marco conceptual y los principios antes señalados, las universidades participaron del proceso de identificación de áreas de interés y en la definición de criterios para establecer las condiciones necesarias que se deben cumplir para permitir la

compatibilización y coexistencia de dos o más actividades respecto del uso preferente asignado y, posteriormente, se construyó la matriz semáforo de usos compatibles. Durante las siguientes etapas del proceso de macro-zonificación que permitió confeccionar la matriz de compatibilidad, mapas de superposición, mapa semáforo y mapa de zonificación; se detectaron nuevas falencias tanto en el proceso como en los instrumentos utilizados, como por ejemplo la falta de algunas funciones territoriales y subcategorías en la matriz de compatibilidad, lo que dificultó el trabajo de la Comisión. Frente a ello, el GIZC recomendó incorporar nuevos criterios, como también -para futuras zonificaciones- realizar un análisis comparado con criterios utilizados en otras Regiones del país.

Por otro lado, al socializar el principio sistémico entre todos los actores participantes en el proceso, fue posible homologar áreas de conservación en tierra y extenderlas al mar, incorporar zonas de amortiguación, ampliar las zonas de conservación, aplicar el concepto de uso preferente y compatible, para mostrar alianza entre zonas de conservación y turismo de intereses especiales, entre otros. Si bien el GIZC tuvo aciertos, su participación no estuvo ajena a dificultades. El manejo de un lenguaje técnico y dominio conceptual generó grandes asimetrías entre los actores, provocando algunos problemas en la comunicación entre ellos, principalmente al intentar incorporar a la discusión algún concepto o aspecto relevante del proceso. En efecto, se generó una brecha que restringió la participación efectiva, ya que el peso conceptual y la fundamentación de algunos planteamientos o posiciones durante la discusión, quedó en manos de los representantes de las universidades, sin tener oposición respecto a algunos planteamientos. No obstante, en otros casos impidió hacer prevalecer ciertas posiciones, que a juicio de los representantes de las universidades -acorde al principio precautorio- era una postura más sensata o adecuada en algunas zonas de interés, especialmente porque el resto de los participantes no entendió la fundamentación técnica, al no comprender los conceptos

teóricos involucrados.

DISCUSIÓN

Considerando la fragilidad de la riqueza medioambiental de la región de Valparaíso, junto a las consideraciones éticas que siempre deben acompañar las decisiones sobre los bienes comunes en este territorio, donde además está la presencia de zonas industriales, portuarias, turísticas y recreacionales, pesqueras y de acuicultura, urbanas y de desarrollo inmobiliario, entre otras, junto a la existencia de nichos culturales validados por prácticas con una fuerte carga histórica; obliga a pensar que es imperioso impulsar un proceso de zonificación bajo el paradigma del desarrollo sustentable y una visión sistémica.

En el marco del proceso de macro-zonificación, las universidades de la Región de Valparaíso se constituyeron como un referente que permitió aportar una mirada integral sobre el territorio, su complejidad y futuro, contribuyendo así a ponderar los usos que son más importantes en una zona costera de alta fragilidad, remarcando intereses ligados a la protección y el desarrollo del patrimonio socio-cultural, ambiental y productivo de la Región pero fundamentalmente con una óptica que prioriza el bien común y la sustentabilidad como parte de los ejes centrales que debe tener toda política pública.

La zonificación no puede considerarse como algo estático, sino que, como un proceso continuo y permanente, tanto como el conocimiento y valoración de las capacidades desplegadas por el trabajo conjunto de las cuatro universidades del Consejo de Rectores de Valparaíso. Al interior del GIZC, fue surgiendo el convencimiento que era necesario ir más allá de la coyuntura expresada en la invitación del Gobierno Regional y complementar el interés en el bien común, con capacidades para generar conocimiento cabal del territorio. Ello permitirá abrir espacios de diálogo e intercambio de enfoques y metodologías, entre las disciplinas científicas y los distintos agentes sociales e institucionales que intervienen en la zona costera. Estas acciones integradoras, aportarán sus hallazgos

para realizar una gestión pública más eficiente en el ordenamiento territorial, como también abriendo nuevos caminos y perspectivas para el desarrollo científico en la materia.

En este sentido, el GIZC tiene presente que en la gestión de los bienes comunes subyacen los postulados de Hardin (1968), quien señala que “la ruina es el destino hacia el cual todos los hombres se precipitan, persiguiendo cada uno su propio interés en una sociedad que cree en la libertad de los bienes comunes”. Independiente de tales postulados, que han dado cuerpo a una serie de políticas públicas para entregar bienes comunes a privados, el GIZC considera que el aporte de Ostrom (1990) ha demostrado que las personas pueden de hecho, desarrollar sistemas de comunicación y coordinación para trabajar juntas en la gestión de la riqueza colectiva; pueden cultivar confianza recíproca y generar normas sociales necesarias para asignar los recursos escasos con justicia y pueden elaborar reglas efectivas y sanciones graduales para quienes no las cumplan. La “tragedia”, aunque siempre posible, no es inevitable. Esta autora constata en sus investigaciones que “aún no se ha encontrado un ejemplo de un bien común que no haya sufrido un deterioro ecológico cuando todavía era común”.

Ostrom (1990) establece una serie de principios y condiciones para que la autogestión de los bienes comunes funcione con eficacia y sea duradera; como también le da gran importancia al rol que deben jugar las instituciones; destacando que la complejidad de muchos recursos naturales impone que se requieran sistemas de gobernanza que sean sofisticados y de varios niveles o policéntricos, en vez de confiarlos a un solo tipo o nivel de gobierno. Quienes tratan de gobernar los recursos complejos se enfrentan a diferentes tipos de incentivos, que a menudo complican los esfuerzos colectivos, y los subsecuentes resultados. Entre más complicado es un recurso en términos del tipo de bienes y servicios que da, más retador es crear un conjunto de disposiciones institucionales bien diseñadas que compensen los incentivos de sobreexplotar. Un sistema robusto de gobernanza reconoce el aspecto multiescalar

de la gobernanza de los recursos naturales, al igual que la presencia de los incentivos individuales, y busca corregirlos.

Finalmente, considerando la singularidad biótica -que evoluciona en el tiempo- junto a la dinámica de los cambios territoriales, y la gran carga de ocupación y el uso productivo y social de la zona costera, el GIZC plantea la necesidad de reconocer que la zonificación no es estática, sino que es un proceso continuo y permanente; razón por la cual debe contemplar la generación, revisión y actualización sistemática, mediante la observación y monitoreo de los procesos territoriales y su sustentabilidad. Para tal efecto, más allá del motivo coyuntural de este requerimiento del Gobierno Regional, surge la necesidad de implementar un observatorio de zonas costeras, con el propósito de acompañar el proceso de zonificación y facilitar la planificación y gestión estratégica de la región. El GIZC considera que es un deber ético el generar, disponer y difundir información científica permanentemente, con el propósito de potenciar el bien común de la Región; para ello posee capacidades de trabajo inter y transdisciplinario, con reconocimiento ciudadano, independencia en su quehacer, donde “lo observado” tendría la pertinencia y veracidad requerida para este propósito.

REFERENCIAS

Hardin G. 1968. The Tragedy of the Commons, *Science*, 162, 1243-1248.

Ostrom E. 1990. *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*, Cambridge University Press, England, 298 p.

Experiencias de zonificación y uso del borde costero en Costa Rica

Celeste Sánchez-Noguera¹, Alvaro Morales-Ramírez^{1,2}

1 Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. celeste.sancheznoguera@ucr.ac.cr

2 Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Resumen: El acelerado crecimiento en las zonas costeras conlleva al deterioro del espacio físico y el agotamiento de los recursos, por lo tanto, los modelos actuales de desarrollo deben regirse por los principios del Manejo Costero Integrado. Recientemente Costa Rica está gestando esfuerzos para implementar una “Agenda Azul”, que promueva el desarrollo socioeconómico de las zonas costeras sin afectar la integridad de los ecosistemas. Algunas acciones concretas incluyen la formación de recurso humano, la creación de legislación específica y categorías de manejo, programas de educación y la implementación de proyectos con participación ciudadana. No obstante, quedan retos pendientes para la adecuada gestión de los recursos marinos, principalmente mejorar la coordinación interinstitucional y generar información científica para subsanar los vacíos de información.

Palabras clave: recursos marinos, manejo costero integrado, legislación, categorías de manejo.

INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras son importantes regiones en términos espaciales, económicos, demográficos y ecológicos, donde se presentan distintos grados de desarrollo y crecimiento urbano. Los cambios asociados al proceso de desarrollo costero conllevan impactos para los ecosistemas, tanto a nivel geomorfológico como biológico. Por tanto, resulta indispensable gestionar este desarrollo bajo modelos de Manejo Costero Integrado (MCI), que mejoren la calidad de vida de las comunidades costeras y a su vez garanticen que se conserve la diversidad y productividad de los ecosistemas (Barragán 2001).

Costa Rica cuenta con dos franjas litorales, Pacífico y Caribe, las cuales albergan una amplia variedad de ecosistemas marino-costeros (e.g. arrecifes coralinos, praderas de pastos marinos, manglares, playas, zonas rocosas) y aproximadamente el 3.5% de la diversidad marina del planeta (Wehrtmann y Cortés 2009). Su riqueza biológica y el acelerado crecimiento en las últimas décadas, justifican la urgente necesidad de gestionar el desarrollo de las zonas costeras en Costa Rica. La gestión costera debe velar porque el desarrollo econó-

mico en dichas zonas no ponga en riesgo la funcionalidad de los ecosistemas, promoviendo acciones para regular las actividades y los usos e implementando estrategias de conservación. En la Política Nacional del Mar (Comisión Nacional del Mar 2013) se expuso que una de las principales problemáticas en Costa Rica reside en la carencia de coordinación de los espacios marinos y costeros, gobernada por una visión parcial y fragmentada, acompañada de una falta de coordinación entre instituciones. Esto conlleva al planteamiento de si ¿cuenta el país con las herramientas necesarias para ejecutar un adecuado proceso de MCI?. De acuerdo a lo expuesto por Morales-Ramírez et al. (2010), en la siguiente sección se resumen los puntos clave en la creación de capacidades para el MCI a nivel nacional.

Construcción de capacidades

Formación de recurso humano: el país ha invertido esfuerzos, a través de la academia, en la formación de gestores profesionales. En 2002 la Universidad de Costa Rica (UCR) abrió el programa de Posgrado en Gestión Integrada de Áreas Costeras Tropicales

(GIACT), del cual se han egresado seis generaciones. El Viceministro de Aguas, Mares, Costas y Humedales durante el periodo 2014-2018 fue un egresado del GIACT. Actualmente este programa académico se encuentra en un proceso de reestructuración, con miras al mejoramiento del currículum. Otro programa nacional enfocado en la formación del recurso humano es la maestría Interdisciplinaria en Gestión Ambiental y Ecoturismo de la UCR.

Voluntad política: en los últimos años el gobierno costarricense comenzó a establecer una “Agenda Azul” mediante acciones concretas como la creación de normativa, recursos, instancias estatales y herramientas que promueven la adecuada gestión de las zonas costeras. Esto incluye la instauración de la Comisión Interinstitucional de la Zona Económica Exclusiva de Costa Rica (CIZEE-CR) en el 2004, la cual estuvo a cargo de redactar la Estrategia Nacional para la Gestión Integrada de los Recursos Marinos-Costeros de Costa Rica (CIZEE-CR 2008). También destaca la creación del Viceministerio de Aguas, Mares, Costas y Humedales en el año 2012. No obstante, todavía existe fragmentación de competencias y traslape de funciones entre las instituciones estatales, situación que dificulta las labores de ordenamiento espacial marino-costero.

Normativa: el país cuenta con normas, regulaciones y otros recursos adicionales que buscan salvaguardar y promover el desarrollo de las zonas costeras bajo los principios del MCI. Entre los más importantes destacan: a) la Constitución política (artículo 50), b) los convenios internacionales, c) leyes específicas (Ley sobre la Zona Marítimo-Terrestre para definir los límites y usos de esta zona, Ley de Biodiversidad, Ley Orgánica del Ambiente que establece los principios básicos de ordenamiento territorial, Ley de Pesca y Acuicultura, Ley de Marinas y Atracaderos Turísticos, Servicio Nacional de Guardacostas, Ley de Planificación Urbana, Leyes) y d) otros recursos, incluidos la Estrategia Nacional para la Gestión Integral de los Recursos Marinos y

Costeros de Costa Rica, Política Nacional del Mar 2013-2028, los planes reguladores costeros (son unidades de manejo costero, planificación sectorial), los estudios de impacto ambiental para proyectos y las categorías de protección.

Información de calidad como insumo: la generación de información científica de calidad es indispensable para la gestión adecuada de las zonas marino-costeras. En este sentido, la academia desempeña un papel fundamental junto con diversas ONG's, las cuales lideran y financian proyectos para identificar y subsanar vacíos de información. Un proyecto del Observatorio del Desarrollo de la UCR fue la “Determinación de líneas base e indicadores para evaluar el manejo integrado de los recursos marino-costeros de Costa Rica”, con el cual se determinaron 27 indicadores (biológicos, socioeconómicos y de gobernanza) a partir de la revisión bibliográfica y un proceso de consultación en comunidades costeras (Morales-Ramírez et al. 2014, Sánchez-Jiménez et al. 2014). Así mismo, el Observatorio Cousteau para las Costas y Mares de Centroamérica también es una plataforma importante para la gestión del conocimiento.

Educación: a finales de la década de 1990 se conforma la Asociación Nacional de Educadores Marinos (EDUMAR) con el objetivo de promover una “cultura de mar”, mediante un programa de educación para docentes y usuarios de los recursos marino-costeros. Los procesos de alfabetización marina son una herramienta fundamental para desarrollar el grado de consciencia en la población, respecto a la importancia de los ecosistemas marino-costeros y su adecuada gestión, la cual debe iniciar desde las cuencas.

Participación ciudadana: para garantizar un mayor éxito del MCI, es importante que se involucre activamente a las comunidades desde las primeras etapas del proceso. Esto favorecerá una apropiación de los proyectos y garantizará una mayor vigencia en el tiempo, incluso cuando las instituciones facilitadoras

ya no puedan continuar dando acompañamiento. Dos ejemplos son el manejo y aprovechamiento sostenible de los huevos de tortugalora (*Lepidochelys olivacea*) en playa Ostional (Chaves et al. 2004) y del manglar de Playa Blanca en La Palma de Jiménez (Morales-Ramírez et al. 2010).

Estudios de caso

Asociación Mixta de Piangueros de Purruja (APIAPU): el manglar de Purruja se localiza en Golfito, en el Pacífico Sur de Costa Rica. Este es un ejemplo exitoso de participación ciudadana, donde un grupo organizado de la comunidad y con acompañamiento por parte de instituciones académicas, generó información científica sobre la población de “pianguas” (*Anadara* sp.) en un sistema controlado. Dicho conocimiento favoreció el aprovechamiento sustentable del recurso y permitió la recuperación de las poblaciones, las cuales se encontraban sobre-explotadas. Esto se tradujo en un beneficio económico directo sobre las familias involucradas en la extracción del recurso, lo cual sirve de motivación para la protección del ecosistema y para darle continuidad al proyecto (Silva y Carrillo 2004).

Conservación y administración de las Áreas Marinas Protegidas (AMPs): Costa Rica está dividido en 11 Áreas de Conservación y posee nueve Categorías de Manejo, dos de ellas estrictamente marinas como son las Reservas Marinas y Áreas Marinas de Manejo (Poder Ejecutivo 2009). Un ejemplo es el Área Marina de Manejo Montes Submarinos, creada en 2011, la cual abarca el 1.6% de las aguas jurisdiccionales y constituye el AMP más extensa del país (Salas et al. 2012). Existen dos figuras adicionales dentro del esquema de MCI, que no constituyen categorías de manejo, pero sí promueven el ordenamiento espacial marino y el aprovechamiento regulado de los recursos, las Áreas Marinas de Uso Múltiple (AMUM) y las Áreas Marinas de Pesca Responsable (AMPR) (Cajiao et al. 2010). A la fecha se han implementado en el país dos AMUM (Golfo de Nicoya y Golfo Dulce) y

tres AMPR (Tárcoles, Palito-Isla Chira y Golfo Dulce) (Salas et al. 2012).

CONCLUSIONES

Aproximadamente hace casi tres décadas en Costa Rica se comenzó a trabajar para impulsar un modelo de desarrollo costero bajo el concepto del MCI, que no se limita al ordenamiento espacial marino, sino que también promueve la formación de profesionales en el tema. Actualmente el país experimenta un proceso de creciente sensibilización sobre la importancia de los recursos marinos, además cuenta con un marco legal adecuado, lo cual resulta altamente ventajoso. Sin embargo, todavía existen vacíos de información los cuales deben ser subsanados mediante la inversión en investigación. Así mismo, se debe promover y fortalecer la coordinación entre las instituciones estatales, para que los programas y acciones futuras se planteen bajo un esquema integral y participativo.

ABSTRACT

The accelerated growth in coastal areas leads to the deterioration of the physical space and the depletion of resources, therefore the current development models must be governed by the principles of Integrated Coastal Management. In recent years, Costa Rica is developing efforts to implement a “Blue agenda” that promotes the socioeconomic development of coastal areas without affecting the integrity of the ecosystems. Concrete actions include the formation of human resources, the creation of special legislation and management categories, education programs and the implementation of projects with citizen participation. However, there are remaining challenges for an adequate coastal management, mostly in terms of coordination between institutions and filling the gaps of knowledge.

Key words: marine resources, integrated coastal management, legislation, management categories.

REFERENCIAS

- Barragán JM. 2001. The coast of Latin America at the end of the century. *J. Coast. Res.* 17: 885-899.
- Cajiao MV, Rodríguez Chaves M, Lobo Calderón AM. 2010. Manual de legislación marino costera y pesquera de Costa Rica. Fundación MarViva. San José, Costa Rica.
- Chaves G, Morera R, Rodríguez N. 2004. Plan de aprovechamiento para la utilización racional, manejo y conservación de los huevos de la tortuga marina lora, *Lepidochelys olivácea*, en el Refugio de Vida Silvestre de Ostional, Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica. Universidad de Costa Rica, Informe técnico. 31pp.
- Comisión Interinstitucional de la Zona Económica Exclusiva de Costa Rica (CI-ZEE-CR). 2008. Estrategia Nacional para la Gestión Integral de los Recursos Marinos y Costeros de Costa Rica. San José, Costa Rica, 74.
- Comisión Nacional del Mar, 2013. Política Nacional del Mar: Costa Rica 2013-2028. San José, Costa Rica. 50.
- Morales-Ramírez A, Silva-Benavides M, González-Gairaud C. 2010. La gestión integrada de la zona costera en Costa Rica: experiencias y perspectivas. En: Barragán-Muñoz JM (coord.). Manejo costero integrado y política pública en Iberoamérica: un diagnóstico. Necesidad de cambio. Red IBERMAR (CYTED) (p. 41-70). España: Cádiz.
- Morales-Ramírez A, Samper-Villarreal J, Sánchez-Noguera C, Sánchez-Jiménez A. 2014. Percepción comunitaria sobre el uso y manejo de los recursos marino costeros de Costa Rica: el caso de Cabo Blanco y zonas aledañas. *Biocenosis* 28(1-2): 1-7.
- Poder Ejecutivo. 2009. Decreto Ejecutivo N° 35339: Regulación de las nuevas categorías de manejo para la Áreas Marinas Protegidas, conforme al Reglamento a Ley de Biodiversidad. La Gaceta N° 139 del 20 de Julio del 2009.
- Salas E, Ross Salazar E, Arias A, editores. 2012. Diagnóstico de áreas marinas protegidas y áreas marinas para la pesca responsable en el Pacífico costarricense. Fundación MarViva. San José, Costa Rica.
- Sánchez-Jiménez A, Morales-Ramírez A, Samper-Villarreal J, Sánchez-Noguera C. 2014. Percepción comunitaria y procesos de Gestión Integrada de Zonas Costeras en el Pacífico Norte de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 62: 139-149.
- Silva M, Carrilo RNN. 2004. El manglar de Purruja, Golfito, Costa Rica: un modelo para su manejo. *Rev. Biol. Trop.* 52 (Suppl. 2): 195-201.
- Wehrtmann IS, Cortés J, editores. 2009. Marine Biodiversity of Costa Rica, Central America.
- Monogr. Biol. 86. Springer + Business Media B.V., Berlín.

Factores que provocan la erosión de playas en Baja California Sur, México

Enrique H. Nava-Sánchez¹, Guillermo Martínez-Flores¹, Janette Magalli Murillo-Jiménez¹

¹ Instituto Politécnico Nacional – Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Apdo. Postal 592, Código Postal 23096, La Paz, BCS, México. enava@ipn.mx

Resumen: México cuenta con un litoral de 11,122 km de longitud, en donde las playas son el elemento dominante y uno de los más importantes, ya que por su posición geográfica y belleza son de las más atractivas del mundo para el turismo. Sin embargo, la erosión de las playas amenaza a este patrimonio. El objetivo de este trabajo fue determinar y entender los factores responsables de la erosión de las playas. Con tal objetivo, se hizo una selección de playas que fueran representativas de las condiciones ambientales de las costas del estado de Baja California Sur. Se visitaron 39 playas en la costa del Océano Pacífico y 68 en la costa del Golfo de California, en cada una de ellas se levantaron perfiles topográficos, se tomaron muestras de sedimento y del material biógeno, y se anotaron los rasgos geomorfológicos, los tipos de estructuras civiles y las condiciones oceanográficas. Se realizó un análisis de las investigaciones en el área de estudio y de los procesos globales que impactan las playas. Se encontró que los factores de erosión de las playas de Baja California Sur se pueden agrupar en naturales y antropogénicos. Los naturales son: el ascenso global del nivel del mar, el cambio climático, el impacto de huracanes y la reducción en la producción de sedimento biógeno. Los antropogénicos son: la infraestructura costera, la extracción de material sedimentario de las playas y la extracción de material sedimentario de los arroyos que descargan al mar. Los factores naturales provocan una erosión lenta de las playas, mientras que los antropogénicos ocasionan una erosión acelerada.

INTRODUCCIÓN

Se ha considerado que la mayor parte de las playas del mundo están afectadas por actividades antropogénicas de diversa índole (Bird 2011), así como por procesos naturales como el cambio climático y ascenso del nivel del mar, procesos que pueden inducir a la erosión del sistema playa-duna, de manera parcial o completa (Nava-Sánchez et al. 2012). Existe una preocupación internacional por identificar los procesos que inducen la erosión de las playas, ya que con la pérdida de playas se afecta la economía, la seguridad patrimonial, el turismo, los ecosistemas, entre otros problemas. En el estado de Baja California Sur (BCS), el turismo de playa constituye una de las fuentes principales de empleo y de la economía. Por lo que este estudio está dirigido a caracterizar los procesos responsables del estado de erosión en que se encuentran algunas playas de BCS. El estudio se aplicó en una escala regional y una evaluación rápida, tal que permitiera cubrir los 2,230 km del litoral de BCS. Otros estudios se han realizado

a escalas locales (Nava-Sánchez et al. 1994), o estudian una sola playa o un sector de la costa denominado “celda litoral” (Bañuelos Montero 2017, Serna Martínez 2018). Estudios regionales de las playas del Golfo de California han sido conducidos por Carranza-Edwards et al. (1998) y Kasper-Zubillaga et al. (2007), enfocados a caracterizar la sedimentología de sus arenas. Un estudio que aporta información importante sobre la morfología de la línea de costa de la península y su asociación los procesos que las moldean, fue realizado por Wright et al. (1973).

ÁREA DE ESTUDIO

El estado de Baja California Sur se localiza en el noroeste de México, constituye la mitad sur de la península de Baja California. Nava-Sánchez et al. (2012) realizaron un análisis de las costas mexicanas y propusieron una regionalización, dentro de la cual la costa de la península fue dividida en dos: la Región I Costa Pacífica de Baja California y la Región II Costa del Golfo de Baja California (Fig. 1).

Ambas costas, del Pacífico y del Golfo de California, contienen playas en ambientes contrastantes; expuestos y protegidos. Además, presentan ambientes muy diversos dentro de cada margen como son escarpes, planicies o barreras arenosas, entre otras. Con respecto al clima, la península presenta una diversidad de condiciones meteorológicas: la porción norte está dominada por los “nortes” de invierno y primavera, con vientos fuertes y lluvias débiles, con precipitaciones medias anuales de 250

mm en la margen pacífica y 60 mm en la margen del golfo; la porción sur está afectada fuertemente por tormentas tropicales y huracanes, con vientos muy fuertes y lluvias torrenciales de duración corta, y una precipitación media anual >250 mm. La influencia de los ciclones tropicales disminuye gradualmente hacia el norte, mientras que la influencia de los “nortes” es mayor en la parte norte de la península y disminuye hacia el sur, lo que provoca que la parte media de la península tenga un clima



Fig. 1. Ubicación del estado de Baja California Sur (BCS) y las Regiones Costeras de México. La península de Baja California esta bordeada por la Región I Costa Pacífica de Baja California y la Región II Costa del Golfo de Baja California (Modificado de Nava-Sánchez et al. 2012).

más estable, con precipitaciones medias anuales entre 80 y 70 mm.

La morfología general de la península de Baja California está relacionada a los procesos tectónicos extensionales intensos de los últimos 6 millones de años, provocando que la península se levante más rápidamente en la margen del Golfo de California (Oskin et al. 2001, Ortlieb 1991) y lentamente en la margen pacífica (Ortlieb 1991). En la margen pacífica el levantamiento lento ha favorecido la formación de una vertiente relativamente ancha y pendiente suave (Fig. 2A), con planicies

costeras de extensión limitada que incluyen complejos lagunares como Magdalena-Almejas, San Ignacio y Ojo de Liebre. En tanto que la margen del golfo (Fig. 2B), con una tasa rápida de levantamiento, presenta una vertiente estrecha y muy empinada, con línea de costa comúnmente rocosa, indentada y acantilada, afectada fuertemente por fallamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron playas que fueran representativas de las costas de BCS, mediante

la consulta de fotografías aéreas e imágenes Google Earth Pro. Una vez que se seleccionaron las playas, se llevó a cabo la visita de 39 playas de la costa pacífica y 68 de la costa del golfo (Fig. 3). En cada playa se realizaron las actividades siguientes: 1) reconocimiento y evaluación de rasgos de erosión o acreción del sistema playa-duna; 2) levantamiento morfométrico desde el tope de la duna frontal o de la trasplaya, hasta la base de la cara de la playa; 3) toma de muestras de sedimentos de la cara de la playa y la duna; 4) toma de muestras de material biógeno, y 5) en playas con estructuras civiles se realizó una valoración de la afectación de la playa. En el Laboratorio de Geología Marina se determinó el tamaño de grano del sedimento, mediante tamizado con ro-tap y analizador láser Beckman, se determinó el tipo de sedimento y se evaluó el grado tafonómico del material biógeno colectado en las playas. En playas con impacto antropogénico y con erosión importante, se analizaron fotografías históricas, así como el archivo histórico de las imágenes Google Earth Pro, con el fin de evaluar los cambios a través del tiempo.

RESULTADOS

Playas de la Región Pacífica. La mayor parte de las playas de esta región están expuestas a la alta energía de oleaje, aunque algunas están semi-protegidas al interior de bahías. La mayoría son playas largas y anchas (Fig. 2A), pocas son de “bolsillo” y angostas (Tabla 1). Las playas al frente de complejos lagunares como Magdalena y San Ignacio y sus inmediaciones, son muy amplias y de pendiente suave y muy suave, usualmente presentan cordones de playa y dunas frontales bajas. Algunas playas están al pie de escarpes en rocas de litologías distintas, como ofiolíticas en la porción norte, sedimentarias conglomerádicas poco compactas en la porción media, y graníticas en la porción sur. La fuente de sedimento a la playa es, en orden de importancia, las descargas de arroyos, la erosión de acantilados, el aporte de sedimentos de la plataforma peninsular y en menor proporción la producción de sedimen-

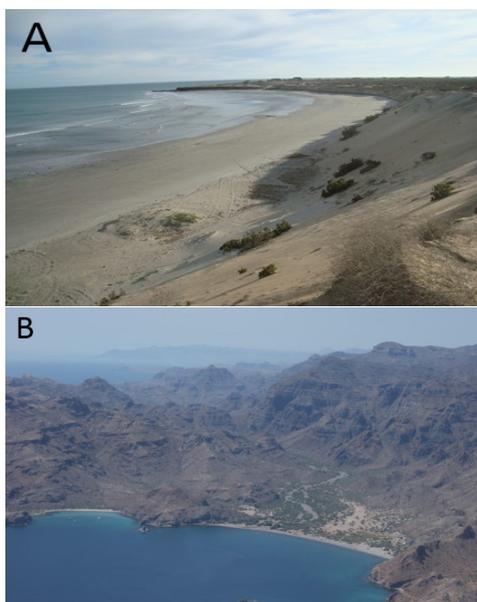


Fig 2. (A) Costa pacífica con vertiente de pendiente suave, playas amplias y dunas frontales altas. (B) Costa del Golfo de California con topografía abrupta, acantilados altos, fallamiento intenso y playas reducidas tipo “bolsillo”.

tos biógenos, constituidos principalmente de pedacería de moluscos bivalvos.

Playas de la Región del Golfo. Estas playas son de extensión reducida (Tabla 2), usualmente cortadas por acantilados. Están expuestas a un oleaje de baja energía excepto en la porción sur en donde la energía se incrementa por influencia del océano Pacífico. Son abundantes las playas de tipo “bolsillo” en ensenadas, bahías pequeñas o protegidas por islas. Las playas son más anchas y largas en la porción sur que en la norte. El tamaño de grano es en general mayor que en la margen pacífica. La fuente de sedimentos a la playa es, en orden de importancia, las descargas de arroyos, la erosión de acantilados y la actividad biológica. La producción del sedimento terrígeno-fluvial de la costa peninsular en el Golfo es reducida, debido a que la vertiente es reducida (Nava-Sánchez 1997). La producción de sedimento biógeno es también reducida y localizada en zonas con aportes terrígenos escasos.

Factores de erosión de las playas

El sistema sedimentario playa-duna de la

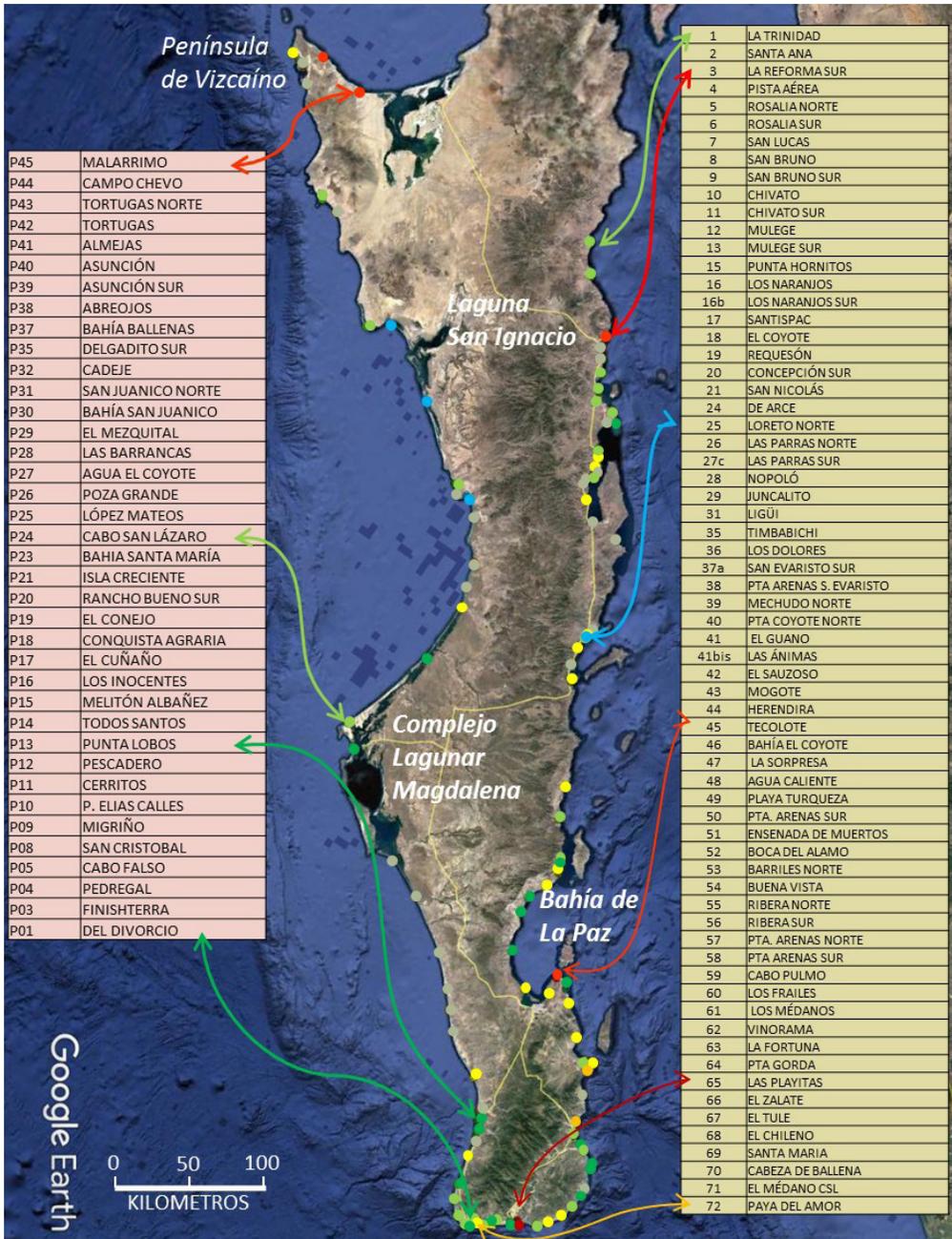


Fig. 3. Localización de las playas estudiadas. 39 playas en la costa pacífica y 68 de la costa del Golfo de California de Baja California Sur. La costa pacífica presenta menos variabilidad morfológica de la línea de costa. Las flechas indican algunas playas para facilitar la localización.

TABLA 1

Características generales de las 39 playas del Pacífico, ordenadas de norte a sur de la Costa Pacífica de Baja California

CLAVE	NOMBRE	TIPO PLAYA	SEDIMENTO	TIPO DE SEDIMENTO
P45	MALARRIMO	Larga- MyAngosta	ArMyFina	Te-Ca
P44	CAMPO CHEVO	Larga- MyAngosta	ArMyFina	Te-Ca
P43	TORTUGAS NORTE	Bolsillo amplia	ArMyFina-Gr	Te c/Bio
P42	TORTUGAS	Bolsillo angosta	ArMyFina -gravosa	Te c/Bio
P41	ALMEJAS	Larga-bahía	Boleo-Gr -Ar	Te c/Bio
P40	ASUNCIÓN	Larga- amplia	ArMyFina -gravosa	Te-Bio
P39	ASUNCIÓN SUR	Larga- angosta	Ar - Gr fina	Te c/Bio
P38	ABREOJOS	Larga-barrera amplia	ArGrue-Arfina	Te-Bio
P37	BAHÍA BALLENAS	Larga-Myamplia	ArMyfina -Gr fina	Te-Bio
P35	DELGADITO SUR	Larga-barrera, amplia	ArMyfina	Te-Bio
P32	BOCA CADEJE	Larga-Myamplia	ArMyFina -gravosa	Te-Bio
P31	SAN JUANICO NORTE	Bolsillo-angosta	ArGrue/	Te c/Bio
P30	BAHÍA SAN JUANICO	Larga- MyAmplia	ArMyfina/	Te c/Bio
P29	EL MEZQUITAL	Larga - angosta	ArMyFina -gravosa	Te c/Bio
P28	LAS BARRANCAS	Larga - angosta	ArMyfina-Gr escasa	Te c/Bio
P27	AGUA EL COYOTE	Larga-barrera, amplia	ArMyFina -gravosa	Te c/Bio
P26	POZA GRANDE	Larga-barrera, amplia	ArMyFina -gravosa	Te-Bio
P25	LÓPEZ MATEOS	Larga-barrera, amplia	ArMyFina -gravosa	Te-Bio
P24	SAN LÁZARO	Larga-barrera, amplia	ArMyFina -gravosa	Te-Bio
P23	SANTA MARÍA	Larga-barrera, amplia	ArMyFina -gravosa	Te-Bio
P21	CRESCIENTE	Larga-barrera, amplia	ArMyFina -gravosa	Te-Bio
P20	RANCHO BUENO	Larga-barrera, amplia	ArMyFina -gravosa	Te-Bio
P19	EL CONEJO	De acantilado-estrecha	Gr grue-Ar grue/ boleo	Te c/Bio
P18	CONQUISTA AGRARIA	Larga - angosta	Ar med-gravosa	Te c/Bio
P17	EL CUÑANO	Larga - angosta	Ar grue-gravosa	Te c/Bio
P16	LOS INOCENTES	Larga - angosta	Ar grue-gr escasa	Te c/Bio
P15	MELITÓN ALBAÑEZ	Larga-amplia	Ar media-gravosa	Te-Bio
P14	TODOS SANTOS	Larga-amplia	Ar grue-gravosa	Te c/Bio
P13	PUNTA LOBOS	Larga-ancha	Ar grue-gravosa	Te c/Bio
P12	PESCADERO	Larga-ancha	Ar grue-gravosa	Te c/Bio
P11	CERRITOS	Larga - angosta	Ar fina c/Ar gruesa	Te c/Bio
P10	P. ELIAS CALLES	Larga - angosta	Ar grue-gravosa	Te c/Bio
P09	MIGRIÑO	Bolsillo amplia	Ar grue-gravosa	Te c/Bio
P08	SAN CRISTOBAL	Bolsillo amplia	Ar grue-gravosa	Te c/Bio
P05	CABO FALSO	Larga-amplia	Ar grue-gravosa	Te c/Bio
P04	PEDREGAL	Bolsillo amplia	Ar Mygrue-gravosa	Te c/Bio
P03	FINISHTERRA	Larga -ancha	Ar Mygrue-gravosa	Te c/Bio
P02	SOLMAR	Larga -ancha	Ar Mygrue-gravosa	Te c/Bio
P01	DEL DIVORCIO	Bolsillo angosta	Ar med-grue	Te c/Bio

TABLA 2
Características generales de las 68 playas de la margen del Golfo, ordenadas de norte a sur de la Costa del Golfo de Baja California

CLAVE	NOMBRE	TIPO PLAYA	SEDIMENTO	TIPO DE SEDIMENTO
1	LA TRINIDAD	Expuesta - deltáica	Ar c/Gr fina	Te
2	SANTA ANA	Bolsillo	Ar gravosa	Te
3	LA REFORMA SUR	Bolsillo	Gr arenosa c/boleo	Te
4	PISTA AÉREA(SUR)	Abierta-cóncava	Gr arenosa c/boleo	Te
5	SANTA ROSALIA NORTE	Abierta-cóncava	Boleo gr ar	Te
6	SANTA ROSALIA SUR	Abierta-deltáica	Boleo	Te
7	SAN LUCAS NORTE	Abierta - deltáica	Boleo gravoso	Te
8a	SAN BRUNO (NORTE)	Abierta - convexa	Boleo	Te
8	SAN BRUNO	Abierta - convexa	Ar c/Gr fina	Te c/Bio
9	SAN BRUNO SUR	Abierta - recta	Gr	Ca c/Te
10	CHIVATO	Bolsillo - Tómbolo	Ar fina	Ca c/Te
11	CHIVATO SUR	Abierta - cóncava	Ar gruesa	Ca c/Te
12	MULEGE NORTE	Abierta - barrera-delta	Gr arenosa c/boleo	Te c/Bio
13	MULEGE SUR	Abierta - cóncava	Ar c/gravas	Te c/bio
15	PUNTA HORNITOS	Abierta - cóncava	Gr c/boleo	Te
16	LOS NARANJOS	Expuesta e/espigones	Ar Fina gravosa	Te c/Bio
16b	LOS NARANJOS SUR	Protegida- cóncava	Ar gravosa	Ca c/Te
17	SANTISPAC	bolsillo- cóncava	Ar c/Gr fina	Ca c/Te
18	EL COYOTE	bolsillo- cóncava	Ar Fina c/Gr fina	Ca c/Te
19	REQUESÓN	bolsillo- Tómbolo	Ar media c/Gr fina	Ca c/Te
20	CONCEPCIÓN SUR	Cóncava-planicie inund	Gr gruesa	Te c/Bio
21	SAN NICOLÁS	Expuesta c/escarpe	Ar gravosa	Te c/Bio
24	DE ARCE	Expuesta c/Plani Inund	gr c/boleo	Te
25	LORETO NORTE	Expuesta cóncava	ar c/Gr fina	Te
26	LAS PARRAS NORTE	Expuesta - Deltáica	Ar c/Gr fina	Te
27c	LAS PARRAS SUR	Protegida p/espigones	Ar gravosa	Te
28	NOPOLÓ	Abierta - cóncava	Ar	Te
29	JUNCALITO	Bolsillo	Gr c/boleos	Te
31	LIGÜI	Abierta-cóncava	Ar	Te
35	TIMBABICHI	Abierta - cóncava	Ar c/grava fina	Te c/Bio
36	LOS DOLORES	Abierta - curvilinea	Ar gravosa	Te pocos Bio
37a	SAN EVARISTO SUR	Bolsillo c/ensenada	Ar	Te
38	PTA ARENAS SAN EVARISTO	Abierta, norte de punta	Ar c/grava fina	Te, Bio
39	MECHUDO NORTE	Bolsillo cóncava curvilinea	Ar gravosa	Te, Bio
40	PTA COYOTE NORTE	Abiert, ligera. cóncava	Ar gruesa c/grava	Te, c/Bio
41	EL GUANO	Expuesta c/duna	Ar gruesa c/Gr fina	Te
41b	LAS ÁNIMAS	Bolsillo - recta c/duna	Ar gruesa c/Gr fina	Te

42	EL SAUZOSO		Expuesta deltáica	Ar c/gravas y boleo	Te c/Bio
43	MOGOTE		Expuesta c/duna	Ar c/gravas	Te
44	HERENDIRA		Bolsillo c/ensenada	Ar	Te c/Bio
45	TECOLOTE		Expuesta - recta	Ar c/gravas	Ca - Te
46	BAHÍA EL COYOTE		Bolsillo c/planicie	Ar gravosa	Te
47	LA SORPRESA		Expuesta c/escarpe	Ar gruesa c/Gr fina	Te c/Bio
48	AGUA CALIENTE		Expuesta c/escarpe	Ar c/gravas	Te
49	PLAYA TURQUEZA		Expuesta - DunaFront	Ar gruesa c/Gr fina	Te c/Bio
50	PTA. ARENAS SUR		Expuesta c/Escarpe	Gr fina arenosa	Te c/Bio
51	ENSENADA MUERTOS	DE	Bolsillo c/escarpe	Ar c/gránulos	Ca - Te
52	BOCA DEL ALAMO		Expuesta - convexa	Bloques c/boleos	Te
53	BARRILES NORTE		Expuesta - convexa	Ar gravosa c/boleo	Ca - Te
54	BUENA VISTA		Expuesta - recta	Ar - gravosa	Te
55	RIBERA NORTE		Expuesta - convexa	Ar - gravosa	Te
56	RIBERA SUR		Expuesta -cóncava	Ar fina	Te
57	PTA. ARENAS NORTE		Expuesta - convexa	Ar media c/Gr fina	Te
58	PTA ARENAS SUR		Expuesta - cóncava	Ar gruesa	Te
59	CABO PULMO		Bolsillo c/acantilado	Ar Fina c/grava	Ca c/Te
60	LOS FRAILES		Bolsillo	Ar - gravosa	Te
61	LOS MÉDANOS		Expuesta - Duna-parche	Ar	Te
62	VINORAMA		Expuesta -AbanicoDelta	Ar gruesa c/Gr fina	Te
63	LA FORTUNA		Expuesta c/Escarpe	Ar c/gránulos	Te
64	PTA GORDA		Expuesta - recta	Ar c/gránulos	Te
65	LAS PLAYITAS		Expuesta - cóncava - espigón	Ar fina c/ Ar gruesa	Te
66	EL ZALATE		Expuesta- cóncava-recta	Ar media - gruesa	Te c/mica
67	EL TULE		Expuesta - recta -curvada	Ar gruesa c/Gr fina	Te
68	EL CHILENO		Bolsillo c/ acantilados	Gravilla c/ Ar gruesa	Te c/ Bio
69	SANTA MARIA		Bolsillo - semi-circular	Ar fina c/Ar mgruesa	Te c/Bio
70	PTA CABEZA BALLENA	DE	bolsillo- poco cóncava	Ar mgruesa c/Gr fina	Te c/Bio
71	EL MÉDANO CSL		Semi-Protegida cóncava	- Ar gruesa	Te
72	PAYA DEL AMOR		Bolsillo - c/acantilados	Ar media c/Gr fina	Te

línea de costa pacífica de la península es más prístino que la del Golfo de California, ya que la alta energía de oleaje del océano restringe la construcción de obras civiles directamente sobre la línea de costa expuesta, como es el caso de los puertos San Carlos y otros peque-

ños muelles que están ubicados dentro de las lagunas o en la parte más protegida de las bahías, como son el caso de los puertos Tortugas y Asunción. Así, el impacto antropogénico a lo largo de la costa abierta del Pacífico de BCS, es mínimo y solo se observó alteración de sec-

tores de línea de costa en las poblaciones de Bahía Tortugas, Bahía Asunción y Cabo San Lucas (playa Finsterra).

En el caso de la costa del Golfo de California, el sistema playa-duna es mayormente prístino, aunque localmente y asociado a las poblaciones, el impacto antropogénico es importante, como es el caso de Santa Rosalía, Loreto, La Paz y San José del Cabo.

Cualquier modificación del sistema sedimentario natural puede derivar en erosión o acreción de la línea de costa. El caso de la península, el sistema sedimentario se considera frágil debido a que: 1) los aportes sedimentarios fluviales son escasos, tanto por las bajas precipitaciones, como por el tamaño de las cuencas de drenaje que son del tipo microcuencas; 2) la plataforma peninsular es estrecha y empinada, lo que provoca que los sedimentos tiendan a salir de la playa.

Los factores de erosión de las playas del área de estudio se pueden agrupar en dos: naturales y antropogénicos.

1. Factores naturales de erosión de las playas

a. Variaciones de nivel del mar. Un ascenso secular del nivel del mar produce un retroceso de la línea de costa, ya sea porque el ancho de la playa se reduzca, o porque la playa migre hacia tierra sin pérdida de ancho. En el primer caso el ancho de playa se puede reducir cuando en la trasplaya exista una duna, un escarpe rocoso o una estructura civil; en el segundo caso el sistema de playa puede migrar hacia tierra cuando la playa sea del tipo playa de barrera. Se ha documentado que el nivel del mar asciende con una tasa media de 2.0 a 2.6 mm/año (Douglas y Peltier 2002, IPCC 2007). Este proceso es global y afecta a todas las playas del mundo. En BCS no se ha hecho una evaluación del proceso de erosión por este factor, pero se considera que la topografía abrupta e irregular podría minimizar el retroceso de la línea de costa.

b. Cambio climático. Se considera que el

cambio climático va a provocar un incremento en la energía de oleaje y una mayor ocurrencia de ciclones tropicales (según el IPCC). Aunque la tendencia del cambio climático desde la revolución industrial es de calentamiento, se ha observado una variabilidad climática que trae como consecuencia periodos de enfriamiento y calentamiento, los cuales para las costas de BCS se traducen en variaciones en la energía de oleaje, produciendo a su vez periodos de erosión y acreción de playas. Este proceso no está afectando de igual manera a todas las costas del mundo, debido a la distribución de las zonas climáticas. Por su ubicación, BCS está en el cinturón en que se espera que se incremente la energía de oleaje, sin embargo, en al menos la última década se ha observado una disminución del efecto de los “nortes”, mientras que el efecto por ciclones tropicales si se ha incrementado, los cuales, por su importancia, se tratan en la sección siguiente.

c. Impacto de huracanes. En BCS el impacto de los ciclones tropicales sobre las playas, es muy superior al de los nortes. Son responsables tanto de la erosión, como la acreción de las playas. Se ha documentado que la frecuencia y energía de los huracanes presentan ciclos, de tal manera que en BCS los huracanes de categorías 1 y 2 impactan cada año, pero los de categorías 3, 4 o 5 pueden tener periodos de retorno de cientos de años. Desafortunadamente solo se cuenta con datos meteorológicos instrumentales en algunas estaciones desde los años 1930's y en la mayoría de las estaciones desde los 1950's. Sin embargo, de la experiencia de los últimos 35 años de los autores, dos huracanes han sido los que han impactado con mayor fuerza a las playas: el huracán “Juliette” en 2001 y “Odile” en 2014. “Juliette”, aunque pasó por BCS con categoría 1, impacto con gran fuerza a la parte sur y media de BCS, provocando un cambio radical en la sedimentación de las playas; el oleaje erosionó profundamente las playas (Fig. 4), debido a que el desplazamiento del huracán fue muy lento, pero

el mayor impacto fue ocasionado por las precipitaciones extraordinarias (las más altas en el registro meteorológico), que provocaron descargas extraordinarias de sedimentos fluviales y en los meses posteriores, el oleaje redistribuyó el sedimento acumulado en los deltas (Fig. 4) y las playas tuvieron la mayor acreción observada por los autores. El huracán “Odile” (2014), con categorías 3 y 4 pasó rápidamente por BCS, provocó una intensa erosión en las playas y, a diferencia de “Juliette”, las pre-



Fig. 4. Impacto del huracán “Juliette” (2001). (A) Imagen de la playa de la bahía San Lucas antes de “Juliette”, en donde se observa una playa con berma al pie del muro de un hotel. (B) Imagen tomada desde el mismo punto 15 días después de “Juliette”, en donde ya no está presente la playa, pero también se observa el crecimiento del delta del arroyo El Salto por la abundante descarga de sedimentos durante las precipitaciones extraordinarias durante el paso del meteoro.

cipitaciones fueron escasas, por lo que la mayoría de las playas no se han recuperado desde entonces.

d.Reducción en la producción de sedimento biógeno. Aunque la causa de la reducción de la producción de sedimento biógeno no está bien entendida, ya que puede ser natural o antropogénica, se ha observado que este material biógeno en al-

gunas playas de BCS es muy reducida y/o con grados tafonómicos altos (conchas deterioradas). Es decir, se observó muy poco sedimento biógeno de reciente formación (pedacería o conchas completas) en dichas playas. Esta situación fue más notoria en playas de la costa del golfo como La Trinidad (sin actividad turística). Las playas de la costa pacífica son principalmente pobres en sedimento biógeno, aunque playas con contenidos altos de ese tipo de material, como las de barrera con acreción y prístinas presentaron contenidos altos de conchas de diversos grados de deterioro, pero playas cercanas a centros de población presentaron material biógeno principalmente deteriorado.

2. Factores antropogénicos de erosión de las playas

a.Infraestructura costera. Las estructuras civiles en BCS que tienen mayor impacto en las playas son: (1) los espigones que retienen sedimento en un lado y favorecen la erosión en el lado opuesto, como el de Puerto Los Cabos que provocó la erosión de Las Playitas, ubicada al norte, con un retroceso de más de 80 m desde 2006 (Fig. 5), (2) los muros construidos en la trasplaya o directamente sobre la berma (caso de varios hoteles en Los Cabos), en donde el oleaje de tormenta erosiona la playa hasta alcanzar el muro, entonces el éste refleja la energía de oleaje y acelera la erosión (Fig. 5).

b.Minado o extracción de material sedimentario de las playas. Este factor se puede presentar de dos maneras: (1) extracción de material sedimentario terrígeno para construcción (mayor impacto), se realiza de manera clandestina ya que esta actividad está prohibida, afecta a la línea de costa de las playas como El Sargento y Punta Arenas; (2) extracción de conchas de ornato (bajo impacto en el corto plazo), actividad que realizan principalmente los turistas y que afecta a playas con una afluencia importante como Santispac (Fig.



Fig. 5. Erosión por infraestructura costera. (A) Las Playitas, localidad al norte del espigón de protección al canal de ingreso al Puerto Los Cabos (al fondo de la fotografía), en donde la erosión ha provocado un retroceso de la línea de costa de aproximadamente 80 m en 12 años, desde que se construyó el espigón; al frente de la foto aparece una alcantarilla, vestigio de una calle desaparecida. (B) Muro de un hotel en la playa Finisterra localizada en la punta sur de la península; nótese el escarpe que dejó el huracán “Odile” (2014).

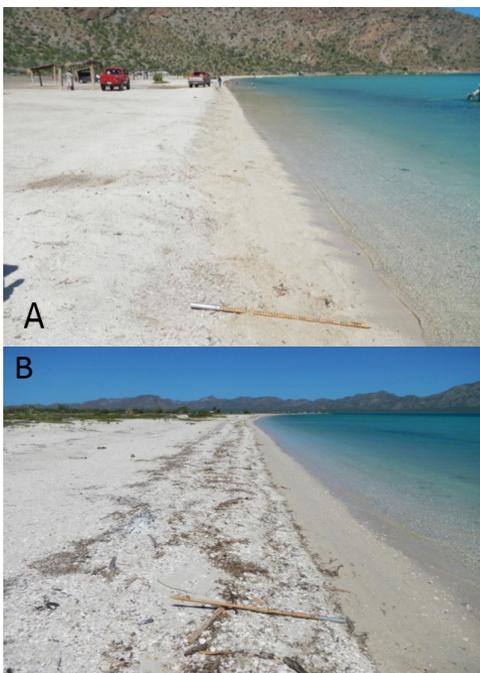


Fig. 6. Diferencia entre una playa expuesta a extracción de material biógeno y otra casi prístina. (A) Playa Santispac, playa de sedimento biógeno sin conchas de ornato, con actividad turística intensa y actividades de limpieza.

(B) playa Los Naranjos, ancha con cordón de dunas frontales bajas, localizada al norte de Santispac, a 1.5 km en línea recta, con abundancia de conchas que presentan diferentes grados de deterioro.

6), que al compararla con la playa prístina vecina, Los Naranjos, se infiere que fue el estado natural que tenía (Fig. 6). Otra forma de extracción de menor impacto es la limpieza de las playas, actividad que remueve también el material sedimentario, junto con la basura, práctica que se realiza en la playa Santispac.

c. Minado del material sedimentario de arroyos. Este proceso impacta en la erosión de la playa de manera indirecta, ya que se realiza extracción de material sedimentario para construcción (grava y arena) en los arroyos principales, antes del área de descarga a la línea de costa, lo cual disminuye la cantidad de material sedimentario que finalmente debería llegar a las playas. Las playas más impactadas son aquellas relacionadas a centros de población con índices de construcción alto. Este proceso está causando problemas graves en un sector de la playa de Loreto (Fig. 7A) (Nava-Sánchez et al. 2014), y puede llegar a impactar las playas de las bahías San Lucas (Fig. 7B) y San José del Cabo, de donde se extraen grandes volúmenes de material para la infraestructura turística.

CONCLUSIONES

Los factores responsables de la erosión de las playas de Baja California Sur se agruparon en naturales y antropogénicos. Los primeros, como el ascenso del nivel del mar y el cambio climático, generan una erosión de baja intensidad y actúan a escalas regionales y globales, aunque el impacto de ciclones ocasiona cambios intensos en las playas, recuperando su condición de “estabilidad” en el corto periodo. La erosión por factores antropogénicos como las estructuras civiles en las playas, provocan cambios profundos que pueden ser irreversibles si no se aplican prácticas de remediación. Otro proceso que no ha sido estudiado es la extracción de conchas de ornato en playas

con actividades turísticas intensas, las cuales muestran rasgos de erosión evidente.

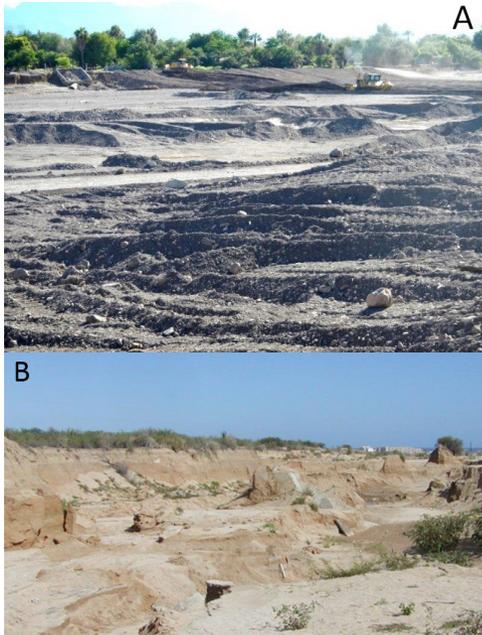


Fig. 7. Arroyos de la costa del golfo de BCS donde se extrae intensivamente material sedimentario para construcción. (A) Arroyo Las Parras en la ciudad de Loreto de donde se extraen material en cantidad suficiente para ocasionar la erosión de la playa localizada al sur del delta Las Parras. (B) El Arroyo El Salto abastece materiales para construcción a la ciudad de Cabo San Lucas, la cual tiene un índice alto de crecimiento.

REFERENCIAS

- Bañuelos Montero MY. 2017. Evaluación de cambios en la línea de costa en Las Playitas, San José del Cabo, Baja California Sur (1993-2014). Tesis de Maestría, IPN-CICIMAR, México: 97 p.
- Carranza-Edwards A, Bocanegra-García G, Rosales-Hoz L, de Pablo Galán L. 1998. Beach sands from Baja California Peninsula, Mexico. *Sediment. Geol.* 119: 263-274.
- Douglas BC, Peltier, R. 2002. The Puzzle of Global Sea-Level Rise. *Physics Today* 55, 3: 35-41.
- Kasper-Zubillaga JJ, Carranza-Edwards A, Morales De la Garza E. 2007. Caracterización textural de la arena de playa del Golfo de California, México: Implicaciones para los procesos costeros y el relieve. *Cien. Mar.* 33(1): 83-94.
- Nava-Sánchez EH, Salinas-González F, Godínez-Orta L, Rueda-Fernández S, Cruz-Orozco R. 1994. Beach profiles and grain size on the tip of the Peninsula of Baja California. *Inv. Mar. CICIMAR*, 9 (1); 25-41.
- Nava-Sánchez EH. 1997. Modern Fan Deltas of the West Coast of the Gulf of California, México. PhD Thesis, University of Southern California, USA; 229 pp.
- Nava-Sánchez EH, Martínez-Flores G, Murillo-Jiménez JM, Morales-Pérez RA, Godínez-Orta L. 2012. Capítulo 5. Vulnerabilidad y evaluación de riesgo en la zona costera mexicana, p 139-156. En: Ramírez-León H., Navarro-Pineda J. M. y Barrios-Piña H. A. (Eds), *Dinámica ambiental de ecosistemas acuáticos costeros. Elementos y ejemplos prácticos de diagnóstico.* Instituto Politécnico Nacional; 680 p. (ISBN: 978-607-414-339-3).
- Nava-Sánchez EH, Martínez-Flores G, Navarro-Lozano JO. 2014. Erosión en la playa sur de la ciudad de Loreto, BCS, por influencia antropogénica. *Ingeniantes.* 1(1): 152-157.
- Ortlieb L. 1991. Quaternary vertical movements along the Coasts of Baja California and Sonora. The Gulf and Peninsular Province of the Californias, Dauphin. J.P., Simoneit, B.R.T. (Eds), *Amer. Assoc. Petrol. Geol., Memor.* 47: 447-480.
- Oskin, Stock, Martín-Barajas, 2001. Rapid localization of Pacific-North America plate motion in the Gulf of California. *Geology*, vol. 29(5): 459-462.

Serna Martínez B. 2018. Morfología y sedimentos de las playas de la celda litoral de San José del Cabo, B.C.S., México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, México: 108 p.

Wright LD, Roberts HH, Coleman JM, Kupper RL, Bowden LW. 1973. Process-Form Variability of Multiclass Coast: Baja California. Technical Report No. 137, Coastal Studies Institute, LSU; 54pp

Experiencias cubanas en el enfrentamiento a la erosión costera

José Luis Juanes Martí¹

¹ Instituto de Ciencias del Mar, (ICIMAR), Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencias y Tecnología y Medio Ambiente, Calle Ira y 186, reparto Flores, Playa La Habana, Cuba. Tel. (53) 72-72-06-58.

Una de las primeras referencias científicas acerca de la erosión en las playas cubanas aparece en la publicación: "Breve resumen de las investigaciones de la estructura y dinámica de la zona litoral de la isla de Cuba", (Zenkovich e Ionin 1969), cuando los autores señalan indicios de erosión en el famoso balneario de Varadero. La necesidad de identificar las causas de la erosión y cuantificar la magnitud del fenómeno hace que en 1978 el Instituto de Oceanología de la Academia de Ciencias de Cuba, inicie un programa de investigaciones acerca de los procesos dinámicos de Varadero. Ya desde principios de los años 80 estas investigaciones se extendieron a otras instituciones y playas del país y los resultados han quedado recogidos en numerosas publicaciones científicas. La mejor revisión de esa literatura aparece en las tesis de doctorado de Ramírez (1988), Juanes (1996), Tristán (2003) y García (2005) y de maestría la de Izquierdo (2006).

Desde un punto de vista práctico esos resultados sirvieron para demostrar el alto efecto erosivo que tenían sobre la playa varias intervenciones humanas como la extracción de arena para la industria de la construcción y la ocupación de las dunas por instalaciones turísticas, entre otras, y aportaron la información y el conocimiento requeridos para la aplicación de medidas normativas e ingenieras que aseguraran la correcta protección y recuperación de la playa.

Con el presente trabajo se pretende describir los principales resultados científicos que han servido de fundamento a las medidas regulativas e ingenieras que se vienen aplicando a lo largo de 4 décadas para la protección de las playas cubanas. De igual forma se des-

criben los resultados de las investigaciones más recientes dirigidas a evaluar la respuesta de las playas cubanas a los efectos de la elevación del nivel del mar atendiendo a sus características morfológicas y sedimentológicas.

Los resultados científicos aplicados a la protección de las playas

La suspensión de la actividad minera en áreas de la plataforma y la playa

Durante las primeras expediciones de campo realizadas a Varadero en los años 70 surgió la sospecha de que la extracción de arena marina para la industria debía constituir una de las causas del proceso de erosión que afecta la playa.

Las primeras indagaciones sobre los dragados en Varadero permitieron conocer que entre 1969 y 1979 se extrae de la plataforma submarina frente a la Península de Hicacos, en profundidades que no sobrepasaban los 15 m, un volumen cercano al millón de metros cúbicos de arena.

Los extensos muestreos sedimentológicos en la plataforma submarina y la playa que formaron parte de las investigaciones, pusieron de manifiesto que la arena de Varadero está formada por restos esqueléticos de organismos marinos, pertenecientes en un 12.40% a foraminíferos, un 31% a moluscos, un 45.4% a algas calcáreas y un 3.0% a corales, entre otros, de manera que la fuente natural de ingreso de arena a la playa se ubica en las extensas áreas de pastos marinos de la pendiente submarina en profundidades inferiores a los 15 m.

La localización de la fuente natural de

ingreso de arena en la pendiente submarina puso en evidencia que el dragado en esas áreas significó, además de la substracción del material de la playa, un daño no cuantificado a los ecosistemas productores de arena. La posibilidad de explicar con argumentos científicos el impacto negativo del dragado sobre la playa a las autoridades del gobierno, condujo a la suspensión definitiva de la extracción de arena en 1981.

A partir de la experiencia de Varadero, la prohibición de la extracción de áridos en las playas y en áreas de la plataforma insular cubana quedó establecida legalmente en el Artículo 16, inciso b) del Decreto Ley 212. Gestión de la Zona Costera del año 2000 (GORC 2000). Los depósitos de arena marina quedaron reservados sólo como áreas de préstamo de los proyectos de mantenimiento de playas, después que sean sometidas a una rigurosa investigación de su idoneidad para dicho propósito y de los correspondientes estudios de impacto ambiental.

Medidas para controlar el impacto de las instalaciones en la primera duna.

Otro resultado de significativa utilidad práctica en Varadero fue el monitoreo mensual de las variaciones espaciales y temporales del perfil de playa que de forma casi ininterrumpida se llevó a cabo desde 1978 hasta 1985 en la red de estaciones a lo largo de la península, el cual sirvió para fundamentar el efecto erosivo de más de 150 casas y hoteles construidos sobre la duna a lo largo de 7 km de playa, en el llamado Varadero histórico. Algunos autores advierten acerca del impacto negativo las construcciones en las playas haciendo referencia a las paredes verticales que en muchos casos se conciben como defensas costeras. Esas estructuras provocan que frente al oleaje de tormenta el perfil de playa se transforme de disipativo en reflectivo y en correspondencia con ello sea mayor la energía disponible para el acarreo de la arena off shore, escapando del balance del perfil de playa.

García y Juanes (1993), explican como las paredes verticales de las instalaciones ubica-

das en la duna de Varadero favorecen la acción erosiva de las olas durante los temporales extremos y a la vez impiden el restablecimiento del perfil natural en el período de recuperación posterior a los temporales. Debe señalarse que las cuantiosas pérdidas económicas y las afectaciones a la imagen comercial de la playa que representó en los años 80 y 90 la continua destrucción de instalaciones turísticas bajo los efectos del oleaje de tormenta (Fig. 1), también sirvieron para fundamentar lo conveniente que resulta para el propio proceso inversionista del turismo, mantener las instalaciones razonablemente alejadas de la costa y protegidas por la primera duna natural.

Atendiendo al efecto erosivo de las instalaciones sobre la duna y la conveniencia de alejar las mismas del alcance de las olas de tormenta, se inicia en 1986 la aplicación en Varadero de un plan de demoliciones que llega hasta nuestros días y ha permitido la recuperación de unos 2 km de la duna natural. Esta experiencia se ha extendido a otros polos turísticos del país, destacándose en particular el programa de restauración de las dunas naturales que se ejecuta en la actualidad en Playas del Este, en la ciudad de La Habana.

Medidas de protección de las playas frente a las nuevas inversiones.

El resultado del monitoreo de las variaciones estacionales y espaciales del perfil de playa había demostrado como en el caso de Varadero la primera duna funciona como una reserva natural de arena para la alimentación de la playa en momentos de eventos erosivos extremos e impide las inundaciones hacia tierra, por lo que su conservación, era imprescindible para la protección de la playa y las instalaciones. A partir de estos resultados en el decreto ley 212. Gestión de la Zona Costera, se garantiza la protección de la primera duna natural independientemente de su extensión y altura. En dicha norma jurídica también se define la Zona de Protección que tiene un ancho de 40 m medidos desde el pie de la duna hacia tierra. Tanto en la Zona Costera como



Fig. 1. Instalaciones turísticas ubicadas sobre la duna en Punta Blanca, Varadero, Cuba, dañadas por las olas generadas al paso del huracán Lili en septiembre de 1996.

en la Zona de Protección se prohíben instalaciones con cimentación. Un ejemplo de la correcta aplicación del Decreto Ley 212 correspondiente al frente costero del hotel IberoStar en la playa de Varadero (Fig. 2).

Medidas ingenieras para la recuperación y mantenimiento de las playas.

Si bien la aplicación de la prohibición de la extracción de arena, la demolición de construcciones encima de la duna y la aplicación del Decreto Ley 212 en los nuevos desarrollos turísticos constituyeron acciones efectivas

para eliminar o minimizar el efecto erosivo de acciones antrópicas, el carácter irreversible del proceso de erosión exigía la aplicación de acciones ingenieras para el mantenimiento de las condiciones recreacionales y estéticas de la playa requeridas por la actividad turística.

Atendiendo a las causas de la erosión y las particularidades de los procesos dinámicos de la playa, la alimentación artificial de arena constituía la actuación más conveniente para la preservación de la playa de Varadero y en general para la preservación de las playas formadas por arenas biogénicas, (Juanes 1996, García 2005).



Fig. 2. Acceso a la playa desde el hotel Iberostar Varadero, Cuba. Nótese la conservación de la duna y la zona de protección de 40 m de ancho.

Aunque entre 1986 y 1992 se ejecutan varios vertimientos de arena en diferentes sectores de la playa de Varadero con el empleo de la draga III Congreso, perteneciente a la empresa de Obras Marítimas del Ministerio de la Construcción, es en 1998 que se realiza el mayor proyecto de alimentación artificial de arena en Cuba y en el Caribe. Con el empleo de su draga Alpha- B, la empresa holandesa Blankevort lleva a cabo en ese año el vertimiento de 1 087 000 m³ de arena a lo largo de unos 11 km de costa.

Los exitosos resultados alcanzados con la aplicación de la alimentación artificial de arena han servido para dejar establecida esta técnica como la más apropiada para el mantenimiento de las condiciones naturales de la playa de Varadero. Ya desde mediados de los años 90 otras importantes acciones de recuperación y protección de playas se han venido ejecutando en las provincias de Holguín, Camagüey y Ciego de Ávila con resultados igualmente satisfactorios.

Debe destacarse que desde el año 2008 el proceso inversionista de recuperación y mantenimiento de las playas cubanas es liderado por la oficina inversionista de recuperación de playas perteneciente a la empresa Gamma S. A. del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, el cual tiene la misión de programar la preparación de los proyectos y el plan inversionista atendiendo a las necesidades del programa de desarrollo turístico del país.

La elevación del nivel del mar como causa de erosión.

Las experiencias cubanas en la preparación y ejecución de proyectos de restauración de playas se han extendido a otros países del Caribe sirviendo a los especialistas cubanos para entender el carácter generalizado de la erosión costera en la región y acumular evidencias de la influencia de la elevación del nivel del mar en la ocurrencia de este fenómeno.

Con el objetivo de profundizar en este tema y como parte del Macroproyecto: "Escenarios de peligro y vulnerabilidad de la zona

costera cubana, asociados al ascenso del nivel medio del mar para los años 2050 y 2100", se desarrollan desde 2009, nuevas investigaciones dirigidas a pronosticar la respuesta de las playas cubanas a los efectos de la elevación del nivel del mar.

Los resultados alcanzados hasta la fecha permiten afirmar que, de las 257 playas evaluadas en el país, el 86% presentan indicios de erosión y que en la mayoría de ellas no se identifican causas antrópicas directas. En el caso de las playas ubicadas en los cayos con una estructura genética de isla barrera, el proceso de erosión se caracteriza por el acarreo de la arena por encima de la duna hacia la laguna costera provocando en muchos casos la colmatación de la laguna y la muerte del manglar; la estación de monitoreo de Cayo Frago, al norte de Cuba, muestran un ejemplo de este proceso (Fig. 3).

Debe destacarse que, aunque este tipo de perfil correspondiente a barras arenosas con lagunas en la postduna se encuentra generalizado en las costas cubanas, también aparecen bien representados los perfiles de playa apoyada a terraza acantilada, playa apoyada en duna fósil, playa con duna eólica activa, y playa frontal de terraza fluvial, los que seguirán modelos diferentes de respuesta al efecto de la elevación del nivel del mar.

Con estas investigaciones se persigue el objetivo de elaborar los modelos matemáticos que permitan estimar la respuesta del perfil de playa para cada uno de los tipos de perfiles identificados, seleccionando adecuadamente las variables del modelo en cada caso y atendiendo a los diferentes escenarios previstos para la elevación del nivel del mar. Contar con esta herramienta de modelación permitirá el diseño más adecuado de las defensas ingenieras que se apliquen en las próximas décadas para el mantenimiento y la protección de las playas cubanas frente a los efectos del Cambio Climático.



Fig. 3. Evidencia del proceso de acarreo de arena hacia la laguna costera por el oleaje durante eventos erosivos extremos, Cayo Fragoso, Cuba.

REFERENCIAS

- García G, Juanes JL. 1993. Beach erosion and mitigation: The case of Varadero beach, Cuba. Conference. Workshop on Small Island Oceanography. UNESCO, 25-34.
- García C. 2005. Particularidades del Control de la Erosión en Playas Biogénicas. El Caso de la Playa de Varadero. Tesis doctoral. Tribunal de la Facultad de Geografía. UH.
- GORC (Gaceta Oficial de la República de Cuba). 2000. Decreto-Ley 212, Gestión de la Zona Costera, 2000.
- Izquierdo M. 2006. Estudio de la Dinámica Litoral en la Playa de Varadero, Cuba. Tesina de Maestría. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Departamento de Ciencias Técnicas. Universidad de Cantabria.
- Juanes JL. 1996. La Erosión en las Playas de Cuba. Alternativas para su Control. Tesis doctoral. Tribunal de la Facultad de Geografía. UH.
- Ramírez E. 1988. Caracterización Geomorfológica del Litoral N (Habana-Matanzas). Tesis doctoral. Facultad de Geografía. UH.
- Tristá E. 2003. Evaluación de los Procesos de Erosión en las Playas Interiores de Cuba. Tesis doctoral. Tribunal de la Facultad de Geografía. UH.
- Zenkovich VP, Ionin AS. 1969. Breve resu-

men de las investigaciones de la estructura y dinámica de la zona litoral de la Isla de Cuba. Ser. Oceanol. (8): 1-24.

Aplicación de la genética e innovaciones biotecnológicas en el aprovechamiento sostenible de los recursos del mar

Claudia B. Cárcamo^{1,2,3}, Federico M. Winkler^{1,2,3}

1 Departamento de Biología Marina, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte.

2 Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA).

3 Centro de Innovación Acuícola Aquapacífico. Larrondo 1281, Coquimbo, Chile. claudia.carcamo@ceaza.cl

Las Ciencias del Mar tienen como objetivo central poder entender los procesos físicos y biológicos que ocurren en este ambiente. La información obtenida es el insumo básico para el diagnóstico, planificación y uso sostenible de los recursos del mar para el beneficio humano, en el presente y el futuro. Para efectos prácticos, los organismos vivos son genotipos que se expresan en un determinado ambiente, y si bien desde la primera mitad del siglo pasado conocemos los mecanismos básicos de la transmisión hereditaria, no es sino hasta la segunda mitad del siglo pasado que ha sido posible acceder directamente al genoma de los organismos.

Hoy sabemos que el ADN es el material genético, el que contiene toda la información necesaria para generar la estructura de los organismos, gobernar su funcionamiento y regular su relación con el ambiente y otras especies. Desde que esto se probó, en 1952, y se dilucidó su estructura cristalina del ADN en 1953, la genética ha avanzado desde la comprensión de las leyes básicas de la herencia a entender cómo el material hereditario se replica, expresa y regula, cómo se conserva y los procesos que causan su variación. Asimismo ha generado gran cantidad de herramientas que han permitido estudiar, diseñar e intervenir los procesos biológicos a nivel genético.

Hace 40 años, Lewontin mencionaba que “el problema de la genética de poblaciones es la descripción y explicación de la variación genética dentro y entre las poblaciones”. Eso sigue siendo hoy un problema en el ambiente marino por la gran diversidad biológica que alberga y las dificultades inherentes a la

obtención de muestras biológicas en condiciones mucho más complejas que las que se presentan en tierra. Hoy, la biodiversidad marina presenta enormes desafíos y oportunidades para la humanidad. Desafíos en cuanto a conservación frente a la sobreexplotación, contaminación, cambio global del clima y uso racional. Por otra parte, el estudio de los organismos marinos ha abierto oportunidades como futuras fuentes de alimento, materias primas y bio productos con enorme potencial. En cada uno de estos aspectos, la genética juega un rol crítico aunque aún poco entendido.

En un principio, la evaluación de recursos genéticos se realizó principalmente mediante el estudio de la electroforesis de proteínas, siendo el primer enfoque molecular utilizado ampliamente. Los marcadores aloenzimáticos son variantes de proteínas que se comportan de manera Mendeliana directa y, por tanto, son interpretables como simples productos alélicos de un gen. Las siguientes técnicas en convertirse populares utilizaron el estudio del ADN satélite por la técnica del la Variación del Número de Repeticiones en Tándem (VNTR) y el corte del ADN con enzimas de restricción (RFLP), que dieron origen al concepto de la huella digital de ADN (DNA fingerprint). Posteriormente, los enfoques del estudio del ADN mitocondrial dominaron el campo durante las décadas 70 y 80. Hoy el interés continúa en estos últimos, pero enfocados en la secuenciación directa de ciertos genes mitocondriales particulares, principalmente 16S y COI.

Los enfoques modernos basados en la secuenciación del ADN procuraron acceso

directo a una amplia y variada información sobre miles de genes, la que está ahora disponible, en una serie de base de datos públicas, como el GenBank. La amplificación del ADN usando la técnica de Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) facilita la obtención de grandes cantidades de copias de fragmentos definidos, las que pueden utilizarse para estudiar polimorfismos genéticos en las poblaciones. Un ejemplo son los loci de microsatélites (Simple Sequence Repeats o SSRs), formados por un número variable de secuencias cortas (2-6 nucleótidos de longitud) repetidas en tándem. Ellos, generalmente superan en cantidad y variabilidad a los loci alozimicos y han encontrado muchas aplicaciones en el ámbito forense (identificación de especies en muestras de tejidos, asignación de individuos a poblaciones determinadas, etc.), análisis de parentesco, estudios microevolutivos y análisis ecológico (delimitaciones de poblaciones o stocks pesqueros, patrones de migración, existencia de barreras biogeográficas, etc.). La sensibilidad y flexibilidad de la PCR permite, además, amplificar secuencias de ADN desde cantidades minúsculas de tejido, o incluso de algunos fósiles bien conservados. De esta forma, usando esta técnica es posible hacer identificación de especies microscópicas provenientes del plancton, sedimentos, muestras de organismos enfermos u otras fuentes, las que incluso pueden hacerse en forma cuantitativa usando la técnica de PCR cuantitativo en tiempo real (RT-PCR).

La evaluación de recursos genéticos en poblaciones naturales constituye un soporte esencial para la acuicultura, ya que es la materia prima a utilizar para la fundación de stocks e inicio de programas de cría de especies bajo cultivo. Por otra parte, las poblaciones de cultivo pueden tener un impacto genético sobre las poblaciones silvestres a través de las liberaciones intencionadas de individuos (replamamiento o cría de soporte) o en forma accidental por los escapes desde centros de cultivo. El efecto puede variar dependiendo de la población silvestre, su comportamiento, historia de vida, y del origen de la población cultivada. Así, en la truchas marrón el efecto

de la introgresión de genes desde poblaciones cultivadas ha sido mucho mayor en poblaciones residentes de los ríos daneses (no migratorio), que en las que migran al mar, pero que desovan en el río (Hansen et al. 2000). En otro caso, en el salmón atlántico los machos han tenido un mayor impacto genético que las hembras a iguales parámetros presumiblemente debido a la selección natural.

El uso de selección artificial permite aumentar la frecuencia de aquellos genes que determinan características deseables desde un punto de vista económico o comercial. Esto descansa en la existencia de variabilidad genética para los caracteres de interés en la población, de modo que las diferencias observadas entre los padres se transmitan en alguna proporción a sus progenies. La aplicación de programas de cría selectiva ha mostrado un muy alto potencial para mejorar características productivas en animales de granja, pero aún tiene escasa aplicación en acuicultura. Las especies acuáticas, por otra parte, han mostrado un potencial de respuesta a la selección más alto que las especies terrestres, con mejoras por generación en torno al 10 o 12% para caracteres productivos, y en torno al 7% para la resistencia a enfermedades.

Una combinación entre la genética moderna (marcadores moleculares) y genética cuantitativa clásica es la selección asistida por marcadores (MAS *Marker-Assisted Selection*). Un gran número de marcadores microsatélites y AFLP (*Amplified Fragment Length Polymorphism*) han sido usados en especies de cultivo para la construir mapas genéticos de ligamiento e identificar loci presuntamente vinculados a características deseables (mayor crecimiento, resistencia a enfermedades, supervivencia, etc.), denominados QTLs (*Quantitative Trait Loci*), ligados a esos marcadores. Luego, la selección de futuros reproductores puede hacerse en base a los marcadores (MAS) y no al fenotipo de los posibles padres, lo que podría incrementar la ganancia por generación en un programa de cría.

Recientemente se ha producido una aceleración de la investigación en genómica y de la generación de mapas genéticos para organis-

mos acuáticos y un gran número de genes y secuencias reguladoras han sido identificados y aislados. Así se han identificado marcadores QTL para crecimiento, resistencia a enfermedades bacterianas, tiempos de desove, tasas de desarrollo embrionario o tolerancia al frío, entre otros, en especies tales como bagre de canal, trucha arco iris y tilapias. Esto abre una interesante perspectiva de pronta aplicación de manera masiva de estas tecnologías en la acuicultura.

La capacidad para aislar y clonar genes es beneficiosa para las aplicaciones biotecnológicas. Estas se basan en una comprensión de la estructura genómica, su organización y su funcionamiento. El estudio de los mecanismos que regulan la expresión de los genes en un entorno o condición fisiológica específica permite entender cómo se controla genéticamente el desempeño de los organismos para rasgos productivos o vinculados con la adecuación biológica (*fitness*). El enfoque transcritoómico, es decir, el estudio simultáneo de los RNAs mensajeros producidos en un momento determinado, es una técnica eficiente para el análisis sistemático de la expresión de conjuntos de genes bajo distintos ambientes y condiciones genéticas. Aunque el papel y la función de la mayoría de genes transcritos es aún desconocido, este enfoque permite identificar cambios en los patrones de expresión de determinados genes, y pesquisar aquellos potencialmente involucrados en la respuesta de los organismos a determinadas condiciones ambientales.

La determinación de transcripciones globales de tejidos y órganos genera perfiles de expresión mediante el uso de librerías de ADN complementarias (cDNA) normalizadas. La expresión génica es específica de tejido, por lo que para obtener librerías de cDNA que contengan todos los genes, se realizan múltiples librerías de cDNA de una serie de tipos de tejidos en conjunto. A partir de ellas es posible construir ESTs (*Expressed Sequences Tags*), los que se pueden usar para construir los llamados chips de ADN (*microarrays*), que permiten un análisis rápido y costo efectivo para la identificar los niveles de expresión

de los genes frente a condiciones puntuales. El enfoque EST es particularmente valioso para la caracterización de genes con bajos niveles de expresión y para sistemas donde las muestras biológicas son limitadas, como la glándula pituitaria en peces, así como para identificar genes en general. El análisis EST permite producir perfiles de expresión, esto es, la frecuencia de cDNAs específico de un único tejido en una librería, que corresponde a la abundancia de RNA mensajero (mRNA) en el pool RNA total del tejido del cual se derivó la librería.

De este modo, la genética moderna provee un arsenal de herramientas que permite la investigación básica de los organismos marinos en su ambiente, el desarrollo de herramientas de diagnóstico y control, así como diversas aplicaciones en el ámbito de la acuicultura. Estos conocimientos son esenciales para una adecuada toma de decisión sobre el manejo de poblaciones naturales o cultivadas, ya que permiten identificar procesos de erosión genética causada por factores aleatorios, consanguinidad o selección, diseñar condiciones adecuadas de cultivo para optimizar la producción o evaluar cambios ambientales que pueden ser críticos para una o más especies.

Revista

COMUNICACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

Volumen 4, N^o1 - Junio 2018

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología,
Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad de El Salvador.
Ciudad Universitaria, Final Avenida Héroes y Mártires del Treinta de Julio,
San Salvador, El Salvador, América Central.
Tels. (503) 2225-1500 E-mail: icmares@ues.edu.sv



@ICMARES

Revista COMUNICACIONES Científicas y Tecnológicas
Universidad de El Salvador
San Salvador, El Salvador.

Carta editorial: Johanna Segovia

Para desarrollar los intereses vinculados al mar y la costa, comencemos por la ciencia.....265-268

Adrián F. González-Acosta

Bases ecológicas para el manejo y conservación de los recursos pesqueros: experiencia de México.....269-273

Wolfgang Stotz

La experiencia de Chile en estudios de ecología de comunidades aplicados al aprovechamiento sostenible y conservación de la biodiversidad marino costera: El difícil camino hacia una armonía entre el ambiente, los pescadores y las regulaciones en la pesca artesanal de buceo en Chile.....275-285

Guido Plaza Pastén

Aplicaciones de metodologías en la reconstrucción de historia de vida de los organismos marinos.....287-294

Guillermo Martínez, Rodrigo Figueroa y Antonio Ugalde

El rol de las universidades en el proceso de macro-zonificación del borde costero en la región de Valparaíso, Chile.....295-300

Celeste Sánchez-Noguera y Álvaro Ramírez

Experiencias de zonificación y uso del borde costero en Costa Rica.....301-304

Enrique H. Nava-Sánchez, Guillermo Martínez-Flores y Janette Magalli Murillo-Jiménez

Factores que provocan la erosión de playas en Baja California Sur, México.....305-316

José Luis Juanes Martí

Experiencias cubanas en el enfrentamiento a la erosión costera.....317-321

Claudia B. Cárcamo y Federico M. Winkler

Aplicación de la genética e innovaciones biotecnológicas en el aprovechamiento sostenible de los recursos del mar.....323-325