



# **Biodiversidad y vulnerabilidad de ecosistemas costeros en Baja California Sur**

Aportaciones de estudiantes de grado, posgrado y posdoctorado 2008-2012

.....

Editores: Mónica Pérez-Ramírez y Salvador E. Lluch-Cota





# **Biodiversidad y vulnerabilidad de ecosistemas costeros en Baja California Sur**

Aportaciones de estudiantes de grado, posgrado y posdoctorado  
2008-2012

*Mónica Pérez-Ramírez y Salvador E. Lluch-Cota*

Editores



CENTRO DE INVESTIGACIONES  
BIOLÓGICAS DEL NOROESTE, S.C.

*Diseño gráfico*  
Liliana Ramírez B.

*Diseño editorial*  
Mónica Pérez-Ramírez

*Edición de textos en inglés*  
Diana Leticia Dorantes Salas

**Biodiversidad y vulnerabilidad de ecosistemas costeros en Baja California Sur.  
Aportaciones de estudiantes de grado, posgrado y posdoctorado 2008-2012.**  
Editado por Mónica Pérez-Ramírez y Salvador E. Lluch-Cota.

Primera edición 2012  
D.R.© Publicación de divulgación del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.  
Instituto Politécnico Nacional No. 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Sur. La Paz, Baja  
California Sur, México, 23096

ISBN 978-607-7634-07-2

Hecho en México

“Las opiniones expresadas por los autores (textos, figuras y fotos) no necesariamente reflejan la postura de la institución editora de la publicación”

---

# Contenido

Agradecimientos

Presentación

Tutores participantes

## Primera Parte

### MIDIENDO LA BIODIVERSIDAD

<b>Capítulo 1</b>	1
Desarrollo y evaluación de métodos moleculares para la detección e identificación de dinoflagelados tóxicos y nocivos en las costas de Baja California Sur Angélica Herrera-Sepúlveda	
<b>Capítulo 2</b>	25
Efecto de <i>Gymnodinium catenatum</i> (Graham, 1943) productor de toxinas paralizantes (PSP) sobre la expresión genética del ostión del Pacífico <i>Crassostrea gigas</i> (Thunberg, 1793) Norma García-Lagunas	
<b>Capítulo 3</b>	51
Respuesta del ostión del Pacífico <i>Crassostrea gigas</i> (Thunberg, 1793) a la exposición aguda y sub-crónica a <i>Prorocentrum lima</i> (Ehrenberg, 1860) Stein 1975, productor de toxinas diarreas, mediante el seguimiento de la expresión de genes específicos Reyna Romero	
<b>Capítulo 4</b>	76
Asincronía en la especiación asociada con el levantamiento del Istmo de Panamá: el caso de los haemúlidos Jose Tavera	

	<b>Capítulo 5</b>	
Ecomorfología y evolución de la familia Pomacentridae (Perciformes: Labroidae) en el Pacífico Oriental		94
	Rosalía Aguilar-Medrano	
	<b>Capítulo 6</b>	
Composición temporal del fitoplancton en ambiente de arrecife costero en el sureste de la Península de Baja California		122
	Alejandra Torres-Ariño	
	<b>Capítulo 7</b>	
Variabilidad temporal de los ensamblajes de macroalgas en arrecifes rocosos de Bahía de Loreto		145
	Alejandra Mazariegos-Villarreal	
	<b>Capítulo 8</b>	
Macroalgas en bancos abuloneros de la costa occidental de Baja California Sur		165
	Alma Rosa Rivera-Camacho	
	<b>Capítulo 9</b>	
Variación espacio-temporal de la densidad de <i>Acanthaster planci</i> (Echinodermata: Asteroidea) en el Golfo de California		183
	Daniela A. Murillo-Cisneros	
	<b>Capítulo 10</b>	
Estructura comunitaria de asteroideos (Echinodermata: Asteroidea) en Bahía de Loreto		199
	Fabián Cervantes-Gutiérrez	
	<b>Capítulo 11</b>	
Variación estacional, contenido energético y biomarcadores lipídicos –ácidos grasos- de la comunidad planctónica de Balandra, Baja California Sur en un ciclo anual		218
	Nayeli Pedroza-Martínez	

	<b>Capítulo 12</b>	
Variación espacial de la estructura de las comunidades de peces de arrecife en la costa oeste del Golfo de California		230
	Alejandro Aldana-Moreno	

	<b>Capítulo 13</b>	
Señales isotópicas del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de <i>Megastraea undosa</i> (Wood, 1828), <i>Megathura crenulata</i> (Sowerby, 1825) y algunas de sus fuentes de alimento		245
	M. Magali Gómez-Valdez	

	<b>Capítulo 14</b>	
Dieta natural de <i>Megathura crenulata</i> (Sowerby, 1825) en arrecifes rocosos de la costa Pacífico de Baja California Sur		256
	Fatima Aguilar-Mora	

	<b>Capítulo 15</b>	
Condición fisiológica de la almeja generosa, <i>Panopea globosa</i> , en Bahía Magdalena, BCS		269
	Laura Margarita Cruz-Gómez	

	<b>Capítulo 16</b>	
Relación trófica entre los peces de arrecife y manglar en La Paz, BCS		284
	Samuel Calderón-Liévanos	

## Segunda Parte

### RELACIONANDO LA BIODIVERSIDAD CON LA VULNERABILIDAD DE LOS ECOSISTEMAS

	<b>Capítulo 17</b>	
Macroalgas en el arrecife del Canal de San Lorenzo BCS después del impacto del buque Lázaro Cárdenas II y el huracán Juliette		296
	Tonatiuh Chávez-Sánchez	

	<b>Capítulo 18</b>	
Revisión del conocimiento actual sobre florecimientos macroalgales en lagunas costeras del Golfo de California		310
	Alejandra Piñón-Gimate	

	<b>Capítulo 19</b>	
Reclutamiento coralino en un arrecife restaurado en La Paz, BCS		330
	Rafael Andrés Cabral-Tena	
	<b>Capítulo 20</b>	
Elementos de dinámica poblacional para el manejo de peces damisela del Golfo de California		346
	Julio Ayala-Aguilar	
	<b>Capítulo 21</b>	
Análisis de la comunidad íctica posterior a un evento de perturbación antropogénica en arrecife de San Lorenzo, Bahía de la Paz, BCS		359
	Briseida Mejía-Torres	
	<b>Capítulo 22</b>	
Estructura de la comunidad íctica de manglar en tres sistemas (Balandra, Enfermería y Zacatecas) y dos periodos (1980 y 2010) en relación con el grado de influencia antrópica		375
	Francisco J. López-Rasgado	
	<b>Capítulo 23</b>	
Pesca incidental en la pesquería de pelágicos menores en el noroeste de México		399
	Sergio Macías-Mejía	
	<b>Capítulo 24</b>	
Índice de fragilidad ecológica de los ecosistemas bentónicos ante el impacto de la pesca de arrastre		412
	Pablo Vega-García	
	<b>Capítulo 25</b>	
Certificación pesquera en países en desarrollo: tópicos recientes y perspectivas de implementación		428
	Mónica Pérez-Ramírez	



---

## *Agradecimientos*

Agradecemos a CONACYT, ya que su apoyo fue primordial para la realización de este libro. Por un lado, la mayoría de los autores fueron beneficiados con becas de posgrado. Por otra parte, el proyecto SEP-CONACYT 83339 *Biodiversidad y vulnerabilidad en ecosistemas marinos costeros* otorgó el financiamiento que permitió realizar parte de los estudios aquí presentados, y su integración. Otras fuentes importantes de subvención fueron: 1) proyecto SEP-CONACYT 83442 *Identificación molecular y estudio de la regulación de la expresión diferencial de genes, en el ostión del Pacífico Crassostrea gigas, en respuesta a exposición a toxinas marinas*; 2) proyecto CONACYT 50589 *Disponibilidad y aprovechamiento de macroalgas y pastos marinos en ecosistemas altamente productivos*; 3) proyecto CONABIO CT001 *Programa de monitoreo de la restauración de arrecife coralino afectado por el Buque Tanque Lázaro Cárdenas II, y de las comunidades arrecifales de la región del Parque de Loreto, Baja California Sur*; 4) proyecto CONACYT 126574 *Recursos pesqueros masivos de México ante el cambio climático*; 5) proyecto SIP 20121034 *Desempeño productivo de captura y económico-financiero de la pesca deportivo-recreativa de la zona de Los Cabos, B.C.S., México*; 6) proyecto COBI *Uso y manejo de especies de peces e invertebrados de ornato en el Parque Nacional Marino Bahía de Loreto* y 7) proyectos CONANP *Estudio técnico: Desarrollo microregional dentro del marco del área natural protegida Cabo San Lucas* y *Estudio técnico: Análisis y perspectivas para el desarrollo económico y diversificación de actividades dentro del marco del área natural protegida Cabo Pulmo*.

Expresamos nuestro agradecimiento a las instituciones donde los autores estudian y llevan a cabo sus investigaciones: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Universidad

del Mar (UMAR) y Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). Así como a las instituciones nacionales y en el extranjero que se vinculan a este proyecto proveyendo expertos en diferentes disciplinas para la conformación de comités tutoriales: Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) unidades Mazatlán y Guaymas, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del IPN (CICIMAR), Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Instituto de Ecología (INECOL), Curtin University, Marine Biological Association (MBA), Universidad Nacional de Colombia, University of California, Université de Liège, UPMC Banyuls y SCRIPPS Institution of Oceanography (SIO).

No podemos dejar de reconocer las aportaciones que han brindado todos y cada uno de los integrantes de los comités tutoriales en CIBNOR: Bertha O. Arredondo Vega, José Alfredo Arreola Lizárraga, Felipe Ascencio Valle, Eduardo F. Balart Páez, Luis Felipe Beltrán Morales, Thelma Castellanos Cervantes, Pedro Cruz Hernández, Juan Antonio de Anda Montañez, Norma Y. Hernández Saavedra, Ana María Ibarra Humphries, Alfonso Maeda Martínez, Enrique Morales Bojórquez, Lourdes Morquecho Escamilla, Gopal Murugan, Alejandra Piñón Gimete, Elisa Serviere Zaragoza, María Teresa Sicard González y Dariel Tovar Ramírez.

Gracias a las personalidades que participan en los comités desde otras instituciones en México: Reyna Alvarado Jiménez, Francisco Becerril Bobadilla, Francisco Benítez Villalobos, Rolando Cardeña López, Gerardo Ceballos Corona, José de la Cruz Agüero, Efraín de Luna, Pablo del Monte Luna, Lloyd Findley, Alma Lilia Fuentes Farías, Silvia Alejandra García Gasca, Gustavo Hernández Carmona, Luis Hernández Moreno, Liliana Hernández Olalde, Eduardo Herrera Galindo, Sharon Herzka Llona, Volker Koch, Antonio López Serrano, Juan Manuel López Vivaz, Daniel Lluch Belda, Marco Antonio Medina,

Germán Ponce Díaz, Héctor Reyes Bonilla, Rafael Riosmena Rodríguez y Oscar Trujillo Millán. En el extranjero: Arturo Acero Pizarro (Colombia), Giacomo Bernardi (Estados Unidos), Jixin Chen (Reino Unido), Bruno Frédéricich (Bélgica), Philip A. Hastings (Estados Unidos), Linda Medlin (Francia), Bruce Phillips (Australia) y Declan Schroeder (Reino Unido).

El trabajo en campo, en laboratorio y en las colecciones fue apoyado por el personal técnico del CIBNOR: Jorge Angulo Calvillo (capítulos 11, 15, 22), Jesús Bautista Romero (15, 22, 23, 24), Horacio Bervera León (7, 15, 17, 19), Noemí Bocanegra Castillo (12, 21), Enrique Calvillo Espinoza (11, 22), Lucía Campos Dávila (4, 5, 12, 21), Laura Carreón Palau (11), Mario Cota Castro (7, 17, 19, 21), Roberto Hernández Herrera (15), Alejandra Mazariegos Villareal (8, 13, 14, 17), Carlos Pacheco Ayub (15, 22, 23, 24), Juan José Ramírez Rosas (7, 8, 13, 19, 21), Delia Irene Rojas Posadas (1, 2, 3, 6) y Arturo Sierra Beltrán (2, 3, 6). Asistencia en otras colecciones biológicas: José de la Cruz Agüero y Víctor Cota Gómez (CICIMAR), Rick Feeney (Los Angeles County Museum), Sandra J. Raredon (Museum of Natural History Smithsonian Institution) y H. J. Walker (SIO). Los autores también agradecen a los compañeros y amigos que participaron directa o indirectamente en los 25 estudios comprendidos en esta obra.

---

## *P r e s e n t a c i ó n*

Diversos foros mundiales han resaltado la necesidad de conciliar la biodiversidad (entendida como la variedad de organismos y ecosistemas) con el factor humano puesto que la biodiversidad representa beneficios ecológicos y socioeconómicos para las generaciones actuales y futuras. Este libro es presentado por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) y financiado por la Secretaría de Educación Pública (SEP) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través del proyecto SEP-CONACYT 83339 *Biodiversidad y vulnerabilidad en ecosistemas marinos costeros*. La obra compila una serie de tesis recientes que examinan la biodiversidad en los ambientes costeros de Baja California Sur y el Golfo de California. La importancia de estas contribuciones radica en generar dos vertientes de conocimiento para la región: por un lado, mediciones de biodiversidad, que abarcan desde número y composición de especies hasta identificación genética y dominios tróficos. Por otra parte, la relación entre biodiversidad y vulnerabilidad de los ecosistemas en el entendido que los factores ambientales y las actividades humanas provocan impactos y cambios en los ecosistemas y las especies que en ellos habitan.

La historia geológica y evolutiva, la interacción de condiciones ambientales y la diversidad de ecosistemas costeros hacen de Baja California Sur lugar de residencia estacional o permanente para un elevado número de especies acuáticas; algunas de ellas endémicas de la región, esto es, que no se encuentran en ninguna otra parte del mundo. Esta diversidad de ecosistemas costeros se debe a características geográficas, climáticas y topográficas propias de la región. Por ello la marcada diferencia entre ambientes de alta energía situados en el Océano Pacífico y ambientes protegidos en el Golfo de California. Unido a esto consideremos un grado todavía moderado de explotación humana y tendremos

modelos excepcionales de estudio: ecosistemas arrecifales coralinos y rocosos, sistemas submareales rocosos asociados a bosques de macroalgas, lagunas costeras y manglares, que han sido escenarios para la recolección o censos de organismos, el registro de parámetros físico-químicos (temperatura, salinidad, clorofila, nutrientes) y ensayos *in situ* con organismos móviles.

Contar con información que permita mejorar el entendimiento de la relación entre biodiversidad y funcionamiento de los ecosistemas es importante para analizar procesos naturales, determinar beneficios y costos ambientales, y pronosticar la respuesta de los ecosistemas ante variaciones climáticas y presión antropogénica. Esta información biológica al interactuar con otras disciplinas (*p. ej.* administración, economía), debe funcionar como marco de referencia para proponer medidas de manejo en materia de biodiversidad tal y como lo sugieren distintos instrumentos y convenios internacionales. En nuestro país, múltiples dependencias federales y estatales, organizaciones no gubernamentales, universidades y centros públicos de investigación llevan a cabo estudios sobre biodiversidad.

Es así como el CIBNOR, en su carácter de centro público CONACYT, produce e integra conocimientos científicos sobre impactos ambientales y antropogénicos y prepara recursos humanos especializados en manejo y conservación de recursos naturales. El proyecto SEP-CONACYT 83339, así como otros proyectos asociados a la Línea Estratégica CIBNOR EP3 *Variabilidad y vulnerabilidad de ecosistemas marinos del noroeste mexicano*, apoyaron la generación de recursos humanos para alcanzar diferentes grados académicos. Sus aportaciones, que exhiben la frescura y energía de jóvenes comprometidos con su investigación, se vieron enriquecidas con la experiencia de sus comités tutoriales conformados por científicos nacionales e internacionales, fortaleciendo las redes de cooperación y la línea de investigación en CIBNOR.

El presente libro, resultado y muestra de lo arriba expuesto, está constituido por veinticinco capítulos organizados en dos partes que en conjunto ofrecen conocimiento científico y teórico sobre la diversidad de especies y su vulnerabilidad ante algunos eventos ambientales e impactos antropogénicos. En la primera parte, se exploran mediciones de biodiversidad en sistemas costeros empleando técnicas moleculares (genética) y métodos tradicionales (taxonomía, índices de variación y relaciones tróficas). Las técnicas moleculares aquí presentadas sirven para monitorear mareas rojas (proliferación de microalgas tóxicas) y sus efectos en mariscos dirigidos a consumo humano y con importancia económica para la región. También se utilizaron técnicas moleculares para estudiar las relaciones de parentesco entre especies de peces, bajo el fundamento de que este ensamblaje de especies es un modelo que aporta pistas sobre la evolución de la vida.

Ante la necesidad de cuantificar la biodiversidad y compararla temporal (épocas del año) y espacialmente (tipos de ecosistema), los Capítulos 6, 7 y 8 abordan la composición y la estructura de comunidades productoras primarias, es decir, productoras de oxígeno: el fitoplancton y las macroalgas mientras que los Capítulos 9 y 10 tratan sobre organismos depredadores de arrecifes de coral. Estos estudios permiten conocer qué especies están presentes, qué patrones exhiben y qué factores influyen en su distribución (temperatura, nutrientes, etc.). Para comprender como es la circulación de nutrientes y energía en algunos sistemas acuáticos, se realizaron análisis tróficos con moluscos y peces.

La segunda parte del libro trata sobre la comprensión del rol de la biodiversidad en el funcionamiento de diversos ecosistemas costeros y su vulnerabilidad considerando la influencia ambiental y/o antropogénica. Así, tenemos como agentes de cambio: el encallamiento de un buque, el paso del huracán Juliette, los florecimientos algales, la instauración de arrecifes artificiales, la extracción de peces de ornato y la pesca comercial. Los Capítulos 17, 18, 19 y 21 tocan

temas como la situación específica de algunos recursos en arrecifes rocosos y coralinos tras el impacto del huracán; la relación entre productores de oxígeno y nutrientes generados por actividad humana en las costas y las necesidades futuras de investigación. También se ha integrado un estudio de caso para examinar los cambios en la comunidad de peces a través de comparaciones espaciales y temporales en tres sitios con diferente grado de impacto humano (Capítulo 22).

En los últimos años, la explotación de recursos se ha intensificado incidiendo en la biodiversidad de los ecosistemas. Los dos capítulos finales presentan algunas aplicaciones que ya integran conocimientos previos en materia de biodiversidad e impactos, en este caso, producidos por la actividad pesquera. En primera instancia, se propone un índice que expresa la fragilidad ecológica de los ecosistemas bentónicos ante la pesca de arrastre. A continuación, la certificación, una herramienta de manejo pesquero reconocida internacionalmente cuyo objetivo es fomentar la pesca sustentable y el menor daño ambiental.

Suele aceptarse que sin investigación científica sobre la diversidad, que sin generar el conocimiento que permita comprender mejor la vulnerabilidad de los ecosistemas y, por ende, articular aproximaciones adecuadas e integrales a los mismos, toda explotación sustentable y la conservación misma serían inviables en el corto o mediano plazo. Es por ello que un libro como el presente, que comunica la investigación recientemente generada en el CIBNOR sobre esta temática, contribuirá a elucidar la respuesta de ecosistemas particulares ante el creciente aumento de la presión generada por las variaciones climáticas y el desarrollo humano.

Consideramos, pues, que el libro ha de ser de interés para todo aquél preocupado —y ocupado— en conocer, aprovechar y conservar la elevada biodiversidad costera de Baja California Sur.

---

## *Tutores participantes*

Línea estratégica EP.3 CIBNOR y Proyecto SEP-CONACYT 83339

### **Bertha O. Arredondo Vega**

Investigador Titular A del CIBNOR, trabaja el tema de metabolismo de ácidos grasos en fitoplancton marino y el papel que desempeñan como biomarcadores de cadena trófica (FATM, por sus siglas en inglés) en ecosistemas marinos costeros.  
[kitty04@cibnor.mx](mailto:kitty04@cibnor.mx)

### **Eduardo F. Balart Páez**

Es biólogo por la Universidad Católica de Valparaíso, Maestro por la Universidad de Kyoto, y Doctor en Ciencias por la Universidad Autónoma de Nuevo León. Su interés se ha centrado en el estudio de la biodiversidad, sistemática y ecología de los peces asociados a manglares, arrecifes, plataforma y talud continental; evaluación y biología de recursos pesqueros potenciales; así como en la ecología y restauración de arrecifes. Es autor de 60 publicaciones y en total ha dirigido 26 tesis de licenciatura hasta doctorado. Actualmente es Investigador Titular en el Programa de Ecología Pesquera, Curador de la Colección Ictiológica, y responsable del Laboratorio de Necton y Ecología de Arrecifes del CIBNOR. Es miembro del SNI Nivel I.  
[ebalart04@cibnor.mx](mailto:ebalart04@cibnor.mx)

### **Liliana Hernández Olalde**

Es Bióloga Marina (UABCS-2000), con Maestría en Manejo de Recursos Marinos (2003) y Doctorado en Ciencias Marinas (2008) otorgados por el CICIMAR-IPN; Estancia Posdoctoral CIBNOR (2011). Es candidata del SNI. Su investigación se enfoca en la reproducción de animales marinos, especialmente peces: determinación del sexo, maduración gonádica, comportamiento reproductivo y cuidado parental. Ha participado en diversos proyectos de investigación, publicado artículos en revistas especializadas y presentado trabajos en congresos nacionales e internacionales. Ha dirigido y participado en tesis de licenciatura y posgrado. En el programa de licenciatura (Biología Marina-UABCS) ha impartido cursos sobre biología celular y reproducción.  
[lilianah@uabcs.mx](mailto:lilianah@uabcs.mx)



### **Norma Y. Hernández Saavedra**

Es Bióloga egresada de la FES Iztacala (UNAM). Estudio la Maestría en Ecología Marina en el CICIMAR (IPN) y el Doctorado en uso, manejo y preservación de los recursos naturales, con especialidad en Biotecnología, en el CIBNOR. Ha realizado estancias de investigación en Universidad de Oviedo, España y en el IGBMC (Université Louis Pasteur), en Francia. Es miembro del SNI Nivel II e Investigador Titular en el CIBNOR, donde imparte cátedra en Microbiología, Biología Molecular y Celular e Ingeniería Genética. Sus intereses de investigación son la biotecnología y la aplicación de técnicas moleculares para el aprovechamiento y manejo de recursos naturales. Sus proyectos han sido financiados por diversas fuentes, resultando en la publicación de artículos en revistas internacionales indexadas y en la formación de recursos humanos de nivel licenciatura, maestría y doctorado.

[nhernan04@cibnor.mx](mailto:nhernan04@cibnor.mx)

### **Salvador E. Lluch-Cota**

Es Biólogo Marino por la UABCS, Maestro en Ciencias por el CICIMAR-IPN y Doctor en Ciencias por el CIBNOR. Se ha desempeñado como coordinador de varios proyectos de investigación en las áreas de variabilidad climática y sus efectos en recursos marinos. Cuenta con más de 25 publicaciones científicas internacionales, diversos capítulos de libro e informes técnicos. Ha dirigido cinco tesis de Licenciatura, cuatro de Maestría y cuatro de Doctorado. En 2007 fue acreedor del Premio Nacional de Ciencia en la categoría Científico Joven. Es miembro fundador de la Sociedad Mexicana de Pesquerías e integrante del SNI Nivel II.

[slluch@cibnor.mx](mailto:slluch@cibnor.mx)

### **Alejandra Piñón Gimete**

Realizó estudios de posgrado en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Durante el doctorado trabajó con florecimientos macroalgales y su relación con nutrientes de tipo antropogénico en lagunas costeras del estado de Sinaloa. Ha participado en varios proyectos y comités tutoriales como investigador asociado en el CIBNOR. Actualmente, se encuentra en el segundo año de estancia posdoctoral en el mismo centro, bajo la dirección de la Dra. Elisa Serviere, desarrollando investigación sobre florecimientos macroalgales de la Bahía de La Paz. Es Candidata del SNI.

[apinon@cibnor.mx](mailto:apinon@cibnor.mx)

**Elisa Serviere Zaragoza**

Realizó estudios de licenciatura, maestría y doctorado en la Facultad de Ciencias de la UNAM, en la línea de Botánica Marina. Trabajó como Profesor Asociado en el Laboratorio de Ficología de la Facultad de Ciencias, UNAM, y actualmente es Investigador Titular del CIBNOR y miembro del SNI Nivel II. Sus líneas de investigación son Ecología Marina y Ecología Trófica. Cuenta con 48 publicaciones, 7 capítulos de libro y un Catálogo Onomástico (Nomenclátor) de las algas bentónicas marinas de México. Ha participado en la formación de alumnos de licenciatura (12) y de posgrado (14). Desde 2009, es Directora de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del CIBNOR.  
[serviere04@cibnor.mx](mailto:serviere04@cibnor.mx)



---

De izquierda a derecha: Eduardo F. Balart Páez, Elisa Serviere Zaragoza, Norma Y. Hernández Saavedra, Salvador E. Lluch-Cota y Liliana Hernández Olalde

Formación de recursos humanos.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Capítulo	D	D	D	D	D	D	M	L	L	L	L	M	L	L	M	L	L	P	M	L	L	D	M	M	D	
Grado	c	c	c	c	t	c	t	t	t	t	c	t	t	t	c	c	t	c	t	c	c	c	c	t	t	
Estatus																										
Bertha O. Arredondo Vega											d															
Eduardo F. Balart Páez				d	d			d	d	d	d						a		d		d	a				
Liliana Hernández Olalde*																d										
Norma Y. Hernández Saavedra			d	d	d																					
Salvador E. Lluch Cota						a				a					d	a				a		d	d	d	d	
Alejandra Piñón Gimate*												a					a									
Elisa Serviere Zaragoza								d	d				d	d	a		d	d			a					
Tutores en CIBNOR**	3	3	4	1	0	2	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
Tutores externos	1	1	3	4	1	2	1	2	1	2	1	1	1	3	0	1	0	0	1	1	0	2	2	1	3	

\* = Investigadores posdoctorantes del proyecto; \*\* = no incluye a los investigadores del proyecto; L = licenciatura; M = maestría; D = doctorado; P = posdoctorado; c = tesis en curso; t = tesis terminada; d = director de tesis; a = asesor de tesis.



# Capítulo 7

---

Variabilidad temporal  
de los ensamblajes de  
macroalgas en arrecifes  
rocosos de  
Bahía de Loreto

---

**Alejandra**  
Mazariegos-Villareal

---

CIBNOR  
Becaria CONACYT 217871

## Resumen

Las variaciones interanuales en la composición de especies de macroalgas y sus atributos (división, morfología, estrato y afinidad biogeográfica), así como la correlación de la riqueza por atributo con la temperatura y concentración de clorofila *a* se analizaron a partir de datos obtenidos en 15 muestreos estacionales durante cuatro años consecutivos (2005 a 2008) en seis sitios ubicados en Bahía de Loreto ( $n = 90$ ). La variabilidad temporal de los atributos de las especies en los ensamblajes fue probada por medio de pruebas de independencia de  $\chi^2$  y la variabilidad en la composición de especies se analizó por medio de análisis de similitud y dendrogramas de agrupamiento. Se identificaron 169 especies de macroalgas. La mayoría de las especies pertenecieron a la división Rhodophyta, tuvieron morfología filamentosas, fueron formadoras de tapetes y con afinidad templada. La frecuencia de las especies de macroalgas por atributo no presentó dependencia con los años, indicando que la estructura de los ensamblajes se mantiene a pesar de la baja similitud en la composición de especies. La riqueza de macroalgas (de  $29 \pm 7$  especies en octubre a  $40 \pm 7$  especies en julio), temperatura (de  $19.6 \pm 0.8$  °C, en invierno a  $29.8 \pm 0.6$  °C en verano) y concentración de clorofila *a* (de  $1.6 \pm 0.3$  mg m<sup>-3</sup> en invierno a  $0.4 \pm 0.2$  mg m<sup>-3</sup> en otoño) presentaron variaciones estacionales recurrentes entre los años. Las correlaciones entre la riqueza de especies y la temperatura y concentración de clorofila *a* fueron significativas mostrando que los factores ambientales tienen un papel importante en la estructura de los ensamblajes de macroalgas en esta región.

**Palabras clave:** variación interanual, macroalgas, Bahía de Loreto, Golfo de California

## *Temporal variability of macroalgae assemblages in rocky reefs of Bahía de Loreto*

### *Abstract*

*We analyzed interannual variations in macroalgal species composition, their attributes (division, morphology, layering and biogeographic affinities), and the correlation of species richness by attribute with temperature and chlorophyll a concentrations from 15 seasonal samplings in six sites located in Bahía de Loreto (n = 90) during four consecutive years (2005 to 2008). Temporal variability in their attributes was tested by means of  $\chi^2$  independency test and species composition variability was analyzed by means of similarity and cluster analysis. A total of 169 macroalgal species were identified, most of them belonged to the Rhodophyte division; they were filamentous, turf formers, and had temperate affinities. The species attribute frequency was independent of the year, which indicates that the assemblage structure is maintained despite the low similarity in species composition. Macroalgal species richness (from  $29 \pm 7$  species in January to  $40 \pm 7$  species in July), temperature (from  $19.6 \pm 0.8$  °C in winter to  $29.8 \pm 0.6$  °C in summer), and the chlorophyll a concentrations (from  $1.6 \pm 0.3$  mg m<sup>-3</sup> in winter to  $0.4 \pm 0.2$  mg m<sup>-3</sup> in fall) showed recurrent seasonal variations between years. The positive correlation between species richness and temperature and chlorophyll a concentration reinforced the idea that abiotic factors play a primary role in structuring the macroalgal assemblages in this region.*

**Keywords:** interannual variation, macroalgae, Bahía de Loreto, Gulf of California

## Introducción

Las macroalgas son la base de las cadenas tróficas y el hábitat de una gran diversidad de organismos, por lo que tienen un papel fundamental en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas en donde se encuentran (Graham & Wilcox, 2000). La variabilidad natural de los ensamblajes de macroalgas está relacionada con las diferencias en espacio y tiempo de factores abióticos como heterogeneidad ambiental, estrés físico, turbidez, sedimentación, energía del oleaje, radiación solar, temperatura y salinidad (Dayton, 1971; Underwood & Chapman, 1998) y con factores bióticos como densidad, composición específica y reclutamiento, tanto de los competidores por espacio (algas e invertebrados sésiles) como de los predadores (Sousa, 1979, 1980; Hay, 1981; Underwood & Jernakoff, 1981; Connell & Sousa, 1983; Underwood *et al.*, 1983; Steneck, 1988).

Los ensamblajes de macroalgas son muy sensibles a los cambios de su medio ambiente, incluyendo las alteraciones de origen antropogénico, de tal forma que su variación en composición y abundancia puede ser usada como indicador de un posible deterioro de las comunidades (Graham & Wilcox, 2000). Sin embargo, para poder utilizarlas como indicadores primero debemos conocer cuál es su variabilidad temporal y su respuesta ante la variabilidad climática en condiciones naturales. Por ello, es importante conocer los cambios en la composición de especies de una época a otra y de un año a otro.

Las macroalgas presentan características estructurales y ecológicas distintas (Steneck & Dethier, 1994), por lo que diversos estudios han considerado sus similitudes morfológicas, fisiológicas y de uso de recursos, por ejemplo morfología del talo (Steneck, 1988), tipo de estrato (Dayton *et al.*, 1984) o afinidad biogeográfica (Lüning, 1990) para describir como varían los ensamblajes en espacio y tiempo. El agrupar a las especies de algas según sus características funcionales es útil para poder realizar generalizaciones de la ecología de las algas, así como predecir cambios en la estructura de sus ensamblajes en espacio y tiempo (Padilla & Allen, 2000).



El Golfo de California es la única cuenca de evaporación del Océano Pacífico (Dawson, 1960), la cual presenta un ambiente oceanográfico complejo con intensas variaciones intra anuales en sus procesos físicos y biológicos (Álvarez-Borrego, 1983). Esto podría explicar el que en un mismo sitio la riqueza y composición de macroalgas sean altamente variables en el tiempo, con máximos de riqueza durante la temporada fría (invierno-primavera) y mínimos en la temporada cálida (verano-otoño). Se asume que uno de los factores ambientales determinante para explicar este patrón es la variación estacional en la temperatura (*p. ej.* Littler & Littler, 1981; Huerta-Muzquiz & Mendoza-González, 1985; Aguilar-Rosas *et al.*, 2002) y que contribuyen además otros factores ambientales de ocurrencia estacional como la variación en el nivel de irradiancia, disponibilidad de nutrientes (Pacheco-Ruiz & Zertuche-González, 1999) y ocurrencia de ciclones (Tello-Velasco, 1986), entre otros. Además de variaciones anuales en la tasa de reclutamiento de macroalgas y herbívoros (Lively *et al.*, 1993).

Los pocos estudios en la región que han dado seguimiento a los ensamblajes de algas durante más de un año han encontrado que la riqueza y patrones de similitud florística son altamente variables de un año a otro (Lively *et al.*, 1993; Paul-Chávez & Riosmena-Rodríguez, 2000), lo que limita la caracterización de la variabilidad natural de los ensamblajes. Bajo esta perspectiva, en este estudio se analizaron las variaciones anuales en la composición específica y los atributos de las especies (división, morfología, estrato y afinidad biogeográfica) de los ensamblajes de macroalgas con la finalidad de detectar sus patrones de variación, así como su relación con parámetros ambientales.

## Material y métodos

El trabajo de campo fue realizado en el Parque Nacional “Bahía de Loreto”, que se encuentra en la parte centro-oeste del Golfo de California, en el estado de Baja California Sur. En la bahía se eligieron seis arrecifes rocosos por su facilidad de acceso y presencia de cabezas aisladas de coral en las islas Coronado, Carmen y Danzante y el Islote el Candelero (Figura 1). En cada uno de los arrecifes

seleccionados se realizaron 15 muestreos trimestrales desde enero del 2005 hasta octubre del 2008 (enero, abril, julio y octubre). En cada sitio y fecha se realizó una colecta exhaustiva no sistemática de las algas presentes en un área aproximada de 900 m<sup>2</sup>, mediante buceo con equipo autónomo, a una profundidad máxima de 12 metros. Las muestras se fijaron en formol al 4%. Las especies recolectadas fueron identificadas por medio de su morfología utilizando la literatura citada por Pacheco-Ruiz & Zertuche-González (1996a, 1996b, 2002). El nombre válido de las especies fue obtenido del sitio de internet Algaebase (Guiry & Guiry, 2011).

### **Atributos de las especies**

Para describir los ensamblajes, cada una de las especies identificadas fue clasificada por división, morfología, estrato y afinidad biogeográfica. La morfología de las especies (Tabla 1) fue obtenida a partir de los trabajos realizados por Littler & Littler (1981, 1984), Littler & Arnold (1982), Littler *et al.* (1983), Steneck & Dethier (1984), Steneck (1988) y Phillips *et al.* (1997). En aquellos casos en que los géneros no habían sido previamente clasificados dentro de alguno de los grupos morfológicos, su ubicación se realizó con base a las clasificaciones dadas previamente de otros géneros de algas con morfologías y tamaños similares.

Las categorías de algas por estrato fueron: arbustivas, tapetes y epífitas (Hay, 1981; Dayton *et al.*, 1984; Steneck, 1988). Las algas arbustivas fueron aquellas algas conspicuas, ramificadas, mayores a 3 cm de altura que se encontraron creciendo sobre el sustrato o entre los tapetes de algas. Los tapetes de algas estuvieron formados por individuos de menor tamaño que crecen agregados sobre el sustrato. Las algas epífitas fueron aquellas que se observaron sobre otras algas. Se clasificó a las especies en templadas, tropicales y de amplia distribución de acuerdo a los criterios dados por Lüning (1990). La distribución de las especies fue revisada en Guiry & Guiry (2011) para la división Rhodophyta, Pedroche *et al.* (2008) para la división Ochrophyta: Phaeophyceae y Pedroche *et al.* (2005) para la división Chlorophyta.

### **Parámetros ambientales**

Se obtuvieron registros mensuales de temperatura superficial (°C) y concentración de clorofila *a* (mg m<sup>-3</sup>) del área de Bahía de Loreto para el periodo

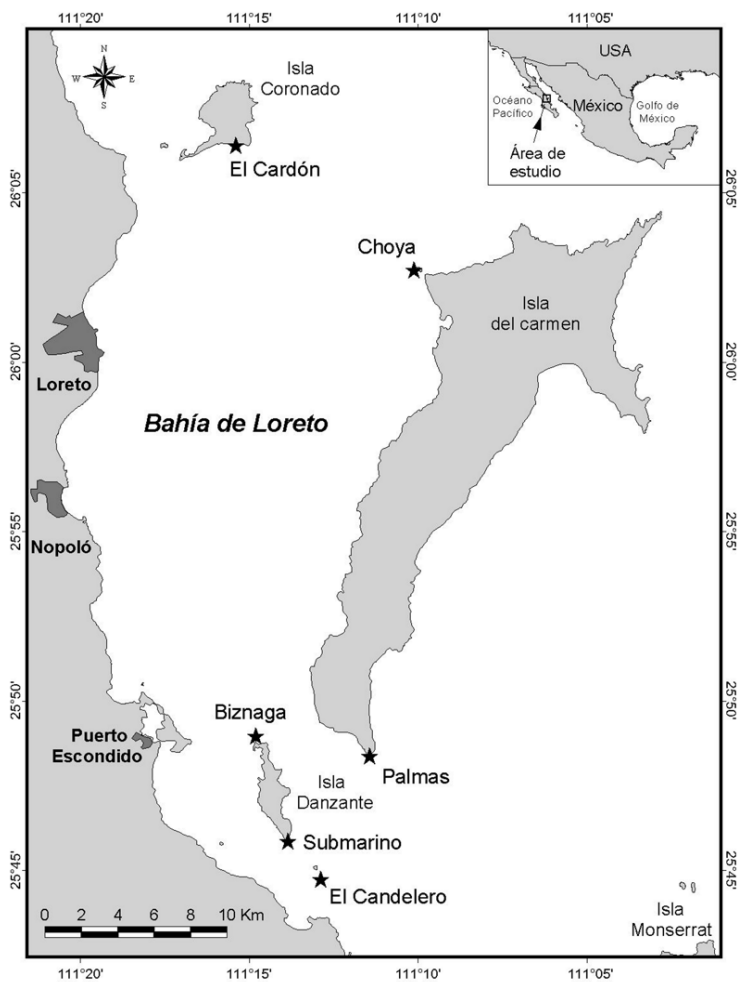


Figura 1. Área de estudio.

de estudio 2005–2008 del sitio <http://oceanwatch.pfeg.noaa.gov>, utilizando los menores cuadrantes disponibles ( $0.1^\circ$  para temperatura y  $0.04^\circ$  para concentración de clorofila *a*). Los promedios estacionales se calcularon con los datos de los tres meses anteriores a las fechas de colecta.

**Tabla 1.** Grupos funcionales de algas por morfología del talo (adaptado de Littler & Littler, 1984; Steneck, 1988; Steneck & Dethier, 1994).

Grupo	Morfología	Tamaño (m)	Ejemplos
Filamentosas	Uniseriadas o ramificadas, ligeramente corticadas	$10^{-3} - 10^{-2}$	<i>Cladophora</i> , <i>Ectocarpus</i> , <i>Ceramium</i>
Foliosas	Foliosas o tubulares con una o múltiples capas de células	$10^{-1}$	<i>Ulva</i> , <i>Dictyota</i> , <i>Hypoglossum</i>
Corticadas	Médula y corteza de múltiples capas, muy ramificadas	$10^{-1}$	<i>Codium</i> , <i>Colpomenia</i> , <i>Hypnea</i>
Coriáceas	Médula y corteza de múltiples capas con mayor complejidad morfológica	$10^{-1} - 10^1$	<i>Sargassum</i>
Coralinas articuladas	Con segmentos con $\text{CaCO}_2$ en tejidos, unidos por intergeniculas flexibles	$10^{-1}$	<i>Halimeda</i> , <i>Amphiroa</i> , <i>Galaxaura</i>

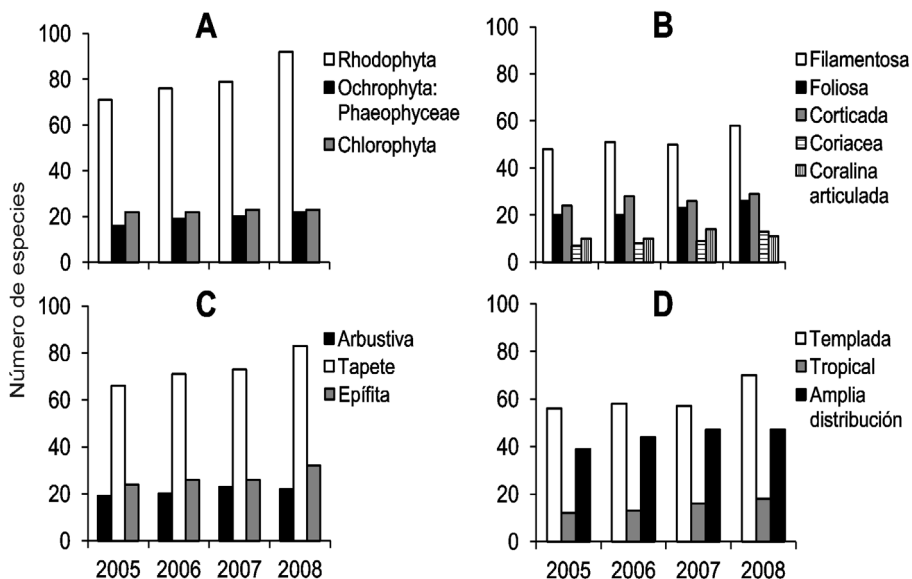
### Análisis de datos

Se realizaron pruebas de independencia de chi cuadrada (Zar, 2009) con la finalidad de establecer si la frecuencia de especies por división, morfología, estrato y afinidad biogeográfica se distribuyen independientemente del año, para lo cual se sumó la frecuencia de todas las especies presentes en el año por atributo. Se analizó la similitud en la composición de los ensamblajes de macroalgas por año, utilizando el índice de similitud de Bray-Curtis. La matriz de similitud resultante fue utilizada para realizar un dendrograma de agrupamiento utilizando una clasificación aglomerativa jerárquica por unión media no ponderada (Legendre & Legendre, 1998) y utilizando el programa Primer-e V 6.0. Para determinar la correlación entre la riqueza de especies total y por atributo y la temperatura y concentración de clorofila *a*, se utilizó el índice de correlación de Spearman (Zar, 2009) calculado con el programa Statistica versión 6.0.

## Resultados

En los cuatro años de estudio se identificaron 169 especies de macroalgas. Anualmente se encontraron entre 109 y 137 especies, la mayoría pertenecieron a la división Rhodophyta (Figura 2A). Las morfologías mejor representadas fueron las de macroalgas filamentosas (71 especies) y corticadas (38 especies) (Figura 2B).

La mayoría de las especies fueron formadoras de tapetes (Figura 2C) y dominaron las especies con afinidad templada (Figura 2D). La frecuencia de las especies de macroalgas por atributo no fue significativamente diferente entre los años de muestreo ( $p > 0.05$ , Tabla 2).

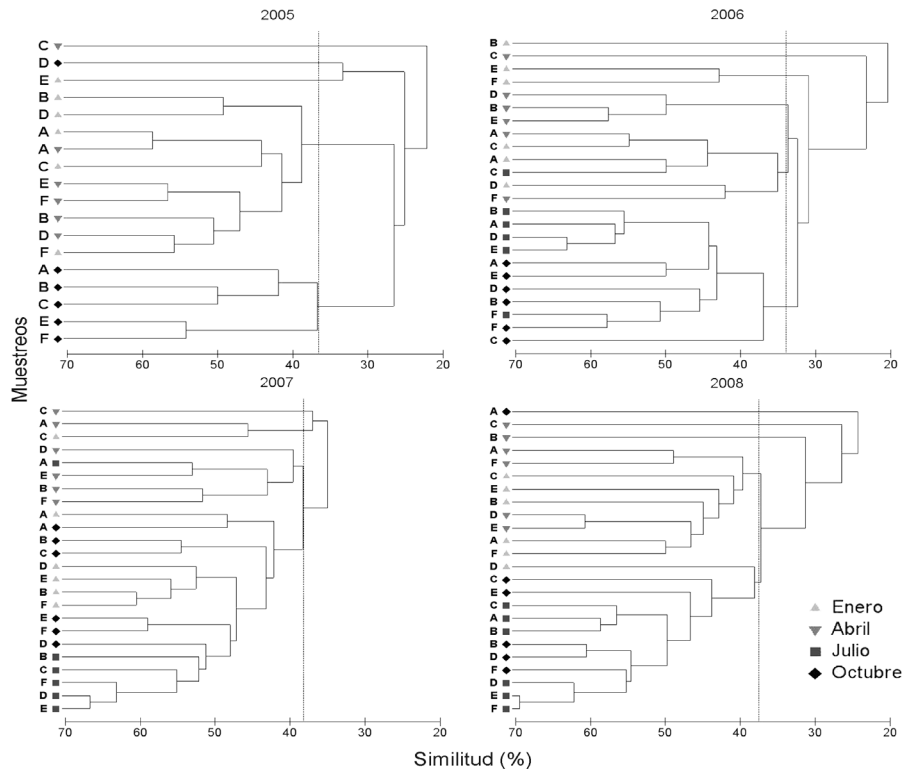


**Figura 2.** Número de especies de macroalgas en arrecifes rocosos de Bahía de Loreto con base en: A = División; B = Morfología; C = Tipo de estrato y D = Afinidad biogeográfica.

**Tabla 2.** Prueba de independencia de chi cuadrada en los atributos de las especies de macroalgas de Bahía de Loreto.

Atributo	$F_{0.95}$	$gl$	Total
División	12.6	6	5.3
Morfología	21.0	12	13.7
Estrato	12.6	6	7.8
Afinidad biogeográfica	12.6	6	4.6

El análisis de similitud mostró que la composición de especies entre los sitios y fechas de colecta fue muy diferente, observándose agrupaciones con baja similitud por fecha de colecta (Figura 3). En 2005, 2006 y 2008 se formaron dos grupos con valores de similitud que van de 34% a 38%, en uno de los grupos se encontró la flora de la mayoría de las colectas realizadas en los meses fríos (enero y abril) y en el otro las colectas de los meses cálidos (julio y octubre). Esto no ocurre en el 2007 donde se agrupan los muestreos de enero, julio y octubre, dejando en un segundo grupo la flora colectada en abril (Figura 3).



**Figura 3.** Similitud en la composición de macroalgas por sitio y fecha de colecta en arrecifes rocosos de Bahía de Loreto, BCS Sitios: A = Cardón; B = Choya; C = Palma; D = Biznaga; E = Submarino y F = Candelero.

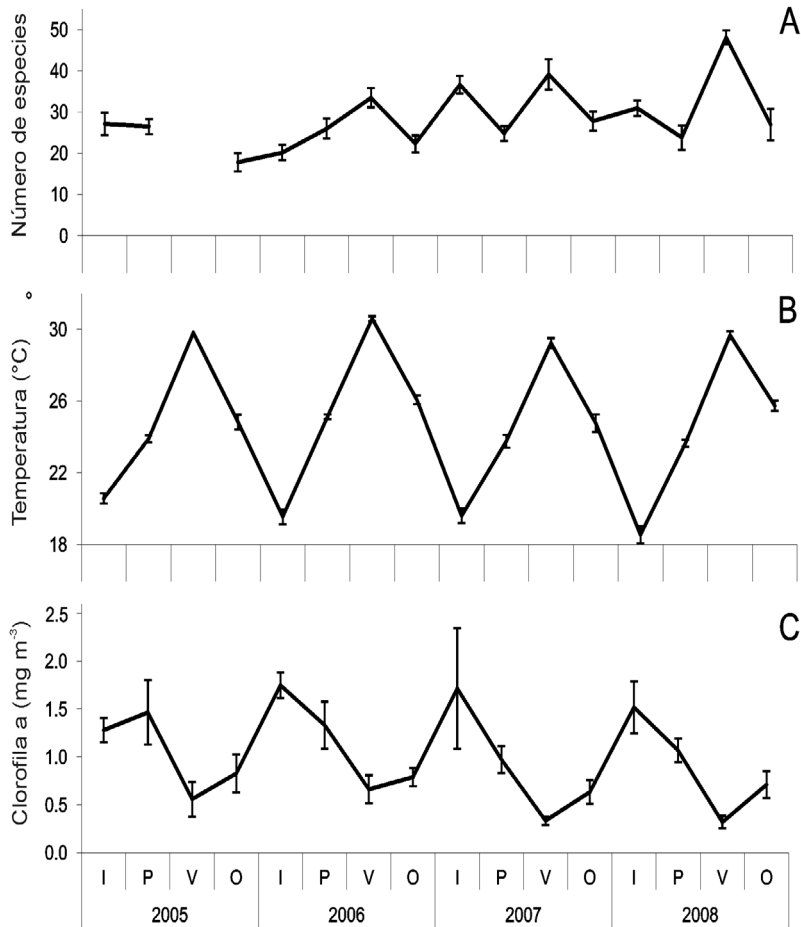
Entre los sitios la riqueza de macroalgas varió entre 12 y 53 especies, observándose los mayores valores en julio y los menores en octubre. Durante 2006 se observaron los menores valores de riqueza y esta fue aumentando hacia 2008 donde se observaron los mayores valores particularmente en invierno y verano (Figura 4A). La temperatura y concentración de clorofila *a* presentaron un comportamiento estacional (Figura 4B y 4C). Las menores temperaturas se presentaron en invierno ( $19.6 \pm 0.8$  °C, promedio  $\pm$  desviación estándar), aumentando gradualmente durante primavera ( $24.1 \pm 0.6$  °C), alcanzando los máximos en verano ( $29.8 \pm 0.6$  °C) y en otoño ( $25.3 \pm 0.7$  °C) (Figura 4B). La concentración de clorofila *a* presentó su máximo en invierno ( $1.6 \pm 0.3$  mg m<sup>-3</sup>) seguido de primavera ( $1.2 \pm 0.3$  mg m<sup>-3</sup>), con mínimos en verano ( $0.4 \pm 0.2$  mg m<sup>-3</sup>) y otoño ( $0.7 \pm 0.2$  mg m<sup>-3</sup>) (Figura 4C).

Existieron correlaciones significativas entre la temperatura y la riqueza de macroalgas y entre concentración de clorofila *a* y la riqueza de macroalgas ( $p < 0.05$ ; Tabla 3), en el caso de la temperatura, la correlación fue positiva y la correlación con la concentración de clorofila *a* fue negativa. Por atributo la riqueza de macroalgas rojas, pardas, filamentosas, formadoras de tapetes, de afinidad tropical y amplia distribución presentaron correlaciones positivas significativas con la temperatura ( $p < 0.05$ ) y correlaciones negativas significativas con la concentración de clorofila *a* ( $p < 0.05$ ; Tabla 3). La riqueza de macroalgas verdes, foliosas, corticadas, coriáceas, coralinas articuladas, arbustivas, epifitas y de afinidad templada no presentó correlaciones significativas con ninguno de los dos parámetros ambientales considerados ( $p > 0.05$ ; Tabla 3).

## Discusión

Los ensamblajes de macroalgas en Bahía de Loreto presentan alta variabilidad estacional en riqueza e identidad específica, formando ensamblajes con combinaciones de especies distintas en cada sitio y época. Estos resultados concuerdan con trabajos previos realizados en arrecifes rocosos del Golfo de California (*p. ej.* Littler & Littler, 1981; Huerta-Muzquiz & Mendoza-González, 1985; Mateo-Cid *et al.*, 1993; Aguilar-Rosas *et al.*, 2002) y otras localidades como

Nueva Inglaterra (Mathieson & Penniman, 1986) y el Mar Rojo (Ateweberhan *et al.*, 2006), que al igual que este cuerpo de agua presentan marcadas variaciones estacionales en la temperatura.



**Figura 4.** Número de especies, temperatura (°C) y concentración de clorofila a (mg m<sup>-3</sup>) (promedio ± desviación estándar) por estación del año en Bahía de Loreto, BCS. A = número de especies; B = temperatura; C = concentración de clorofila a; I = invierno; P = primavera; V = verano y O = otoño.



**Tabla 3.** Correlaciones de Spearman ( $r_s$ ) entre la riqueza total de macroalgas y riqueza de macroalgas por atributos con la temperatura superficial ( $^{\circ}\text{C}$ ) y concentración de clorofila  $a$  ( $\text{mg m}^{-3}$ ).  
\* = correlaciones significativas ( $p < 0.05$ )

Grupo	Atributo	Temperatura		Clorofila $a$	
		$r_s$	$p$	$r_s$	$p$
División	Rhodophyta	0.22*	0.03*	-0.29*	0.01*
	Ochrophyta: Phaeophyceae	0.22*	0.04*	-0.28*	0.01*
	Chlorophyta	0.24*	0.03*	-0.18	0.09
Morfología	Filamentosa	0.33*	<0.01*	-0.34*	<0.01*
	Foliosa	0.23*	0.03*	-0.34*	<0.01*
	Corticada	-0.01	0.99	-0.02	0.87
	Coriacea	0.04	0.70	-0.17	0.12
	Coralina articulada	0.17	0.11	-0.13	0.24
	Arbustiva	0.03	0.79	-0.08	0.47
Estrato	Tapete	0.31*	<0.01*	-0.33*	<0.01*
	Epifita	0.13	0.24	-0.19	0.07
Afinidad biogeográfica	Amplia distribución	0.32*	<0.01*	-0.44*	<0.01*
	Tropical	0.35*	<0.01*	-0.38*	<0.01*
	Templada	0.06	0.59	-0.08	0.45
Total		0.24*	0.02*	-0.29*	0.01*

Las correlaciones significativas entre la riqueza de especies y la temperatura y concentración de clorofila  $a$  confirman que los factores ambientales juegan un papel importante en la determinación de la estructura de los ensamblajes de macroalgas en Bahía de Loreto, al igual que ocurre en otros arrecifes rocosos (Dayton, 1971; Underwood & Chapman, 1998). La temperatura es uno de los principales factores que influyen en la sobrevivencia, crecimiento y reproducción de las macroalgas (Lüning, 1990) y junto con la disponibilidad de nutrientes, determinan en cierta medida la riqueza y composición de los ensamblajes en las zonas costeras (Pedersen & Borum, 1996). A este respecto la baja riqueza de macroalgas observada en otoño en Loreto (Figura 4A), es el resultado no sólo de las altas temperaturas que se registran en esta época (Figura 4B), sino que además, el intenso calor origina una estratificación de la columna de agua, lo que limita el flujo de nutrientes a la zona eufótica (Martínez-López *et al.*, 2001), ocasionando que durante este periodo se observen los menores valores de concentración de clorofila  $a$  (Figura 4C).

Los ensamblajes de macroalgas en Bahía de Loreto presentan una mezcla de especies con características distintas como resultado de las fluctuaciones ambientales características del Golfo de California (Álvarez-Borrogo, 1993). Se encuentran compuestos en su mayoría por algas de la división Rhodophyta, con morfologías filamentosas y corticadas, formadoras de tapetes y de afinidad templada, sin embargo aunque estos grupos son los dominantes se tienen representantes de los otros grupos dentro de los ensamblajes en proporciones similares durante los cuatro años de estudio (Figura 2). La presencia de esta variedad de especies con distintos atributos contribuye sustancialmente a la diversidad del sistema dado que cada uno de los grupos funcionales responde de forma diferente a las modificaciones en su medio ambiente, lo que les permite explotar parcialmente diferentes recursos (Connell 1978; Lubchenco, 1978; Sousa 1979; Littler & Littler, 1981). Es por ello que no todos los grupos presentan correlaciones significativas con las variables ambientales seleccionadas (Tabla 3).

Las macroalgas foliosas, filamentosas y corticadas se encuentran en el sistema debido a que tienen un alto potencial reproductivo y una alta productividad (Sousa, 1979; Littler & Littler, 1980, 1984), requiriendo de concentraciones altas de nutrientes para sostener su crecimiento (Pedersen & Borum, 1997), por lo que su riqueza esta correlacionada con la temperatura y concentración de clorofila *a*; mientras que las especies de macroalgas coriáceas y coralinas articuladas presentan una mayor resistencia al estrés físico (Littler & Littler, 1984; Steneck & Dethier, 1994) y la herbivoría (Hay, 1981) y son capaces de satisfacer sus requerimientos de nutrientes y sostener tasas de crecimiento cercanas a las máximas durante periodos de baja disponibilidad de nutrientes (Pedersen & Borum, 1997), por lo que no presentan correlación con las variables ambientales.

La formación de tapetes macroalgales permite a las especies de algas en Bahía de Loreto persistir en áreas afectadas por estrés físico y herbivoría (Hay, 1981); mientras que las algas arbustivas requieren de un menor espacio para sujetarse, lo que les permite desarrollarse entre los tapetes cuando las condiciones ambientales lo permiten y las algas epifitas aprovechan el espacio proporcionado por otras especies, dependiendo su distribución de las defensas del hospedero, competencia y ramoneo (Arrontes, 1990; Ortuño-Aguirre & Riosmena-Rodríguez, 2007).

Dadas las fluctuaciones ambientales y la zona geográfica transicional (Dawson, 1960), es factible el establecimiento de especies con distinta tolerancia térmica (Casas-Valdez *et al.*, 2000) observándose en los ensamblajes de macroalgas en Bahía de Loreto una mezcla de especies con distintas afinidades biogeográficas.

La variabilidad entre años observada para los ensamblajes de macroalgas en Bahía de Loreto (Figura 3), concuerda con resultados de otros trabajos realizados en el Golfo de California durante más de un periodo anual (Lively *et al.*, 1993; Rodríguez-Morales, 1997; Pacheco-Ruíz & Zertuche-González, 1996a, 1996b, 2002; Paul-Chávez & Riosmena-Rodríguez 2000). El origen de estas variaciones anuales en los ensamblajes de macroalgas ha sido poco estudiado. Lively *et al.*, (1993) menciona que pueden estar provocadas por variaciones inter-  
anuales en la tasa de reclutamiento de macroalgas y herbívoros, fenómeno que puede estar sucediendo en los ensamblajes de Bahía de Loreto. También es posible que las diferencias observadas en la riqueza y composición de los ensamblajes de macroalgas entre los años de estudio pueda deberse a la ocurrencia de huracanes y tormentas tropicales, ya que estos fenómenos modifican la estructura de las comunidades de macroalgas en distintas formas, aumentando su diversidad al crear espacio disponible que es colonizado por especies oportunistas (Sousa, 1979) o disminuyéndola cuando el espacio disponible creado por el disturbio es utilizado por las pocas especies supervivientes (Tello-Velasco, 1996).

Además, la variación en la precipitación y la incidencia de huracanes modifican temporalmente la química del agua y la concentración de nutrientes, aumentando la fuerza de las corrientes, factores que determinan la estructura de las comunidades de macroalgas (Dayton, 1971; Underwood & Chapman, 1998). En Bahía de Loreto durante el periodo de estudio hubo variaciones en la precipitación acumulada anual, en 2005 fue menor a la del 2006, 2007 y 2008 (131.1 mm, 310.0 mm, 181.8 mm y 202.0 mm, respectivamente (<http://smn.cna.gob.mx/climatologia/precipitacion/estados/>) y la incidencia de huracanes en la zona fue distinta entre los años. En 2005 no hubo huracanes en el Golfo de California, mientras que en 2006 el huracán John afectó la zona de Bahía de Loreto, en 2007 el huracán Henriette y en 2008 los huracanes Julio y Norbert. El aumento en la incidencia de los huracanes de 2005 a 2008 y las variaciones en la precipitación

anual podrían explicar en parte el incremento en la diversidad observada durante este mismo periodo y las variaciones observadas en los atributos de las especies, sin embargo, se requieren de otros estudios orientados a determinar los efectos de estas variables sobre las comunidades de macroalgas en Bahía de Loreto.

En conclusión, la composición específica y riqueza de los ensamblajes de macroalgas en Bahía de Loreto son altamente variables en el tiempo, debido a las fluctuaciones ambientales que se presentan, siendo las variaciones en la temperatura y concentración de clorofila *a* factores importantes que explican en parte la variabilidad observada. A pesar de la variabilidad en la composición específica de los ensamblajes, las proporciones de los atributos de las especies se mantienen. Estos resultados pueden ayudar a detectar cambios futuros en la estructura y funcionamiento de los ensamblajes de macroalgas de arrecifes rocosos en esta zona.

## Referencias

- Alvarez-Borrego, S. 1983. Gulf of California, 427–449. En: Ketchum, B.H. (Ed.) *Estuaries and Enclosed Seas, Ecosystems of the World*. Elsevier Scientific Publishing, Amsterdam, 859 p.
- Aguilar-Rosas, L.E., R. Aguilar-Rosas, L.E. Mateo-Cid & A.C. Mendoza-González. 2002. Marine algae from the Gulf of Santa Clara, Sonora, México. *Hydrobiologia*, 477: 231–238.
- Ateweberhan, M., J. Bruggemann & A. Breeman. 2006. Effects of extreme seasonality on community structure and functional group dynamics of coral reef algae in the southern Red Sea (Eritrea). *Coral Reefs*, 25: 391–406.
- Arrontes, J. 1990. Composition, distribution on host and seasonality of epiphytes on three intertidal algae. *Bot. Mar.*, 33: 205–211.
- Casas-Valdez M., R.A. Nuñez-López, M.B. Cruz-Ayala, I. Sánchez-Rodríguez, R. Vázquez-Borja & G.E. López. 2000. Biodiversity and biogeographic affinities of the algal flora of Baja California Sur a synthesis of the literature, 273–282. En: Munawar, M., S.G. Lawrence, I.F. Munawar & D.F. Malley (Eds.) *Aquatic Ecosystems of Mexico: Status and Scope*. Bakhugs, Leiden, 683 p.

- Connell, M.L. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199: 1302–1310.
- Connell, J.H. & W.P. Sousa. 1983. On the evidence needed to judge ecological stability or persistence. *Am. Nat.*, 121: 789–824.
- Dayton, P.K. 1971. Competition, disturbance, and community organization: the provision and subsequent utilization of space in a rocky intertidal community. *Ecol. Monogr.*, 41: 351–389.
- Dayton, P.K., V. Currie, T. Gerrodette, B. Keller, R. Rosenthal & D. Ven-Tresca. 1984. Patch dynamics and stability of some California kelp communities. *Ecol. Monogr.*, 54: 254–289.
- Dawson, E.Y. 1960. The biogeography of Baja California and adjacent Seas. Part II. Marine Biotas. A review of the ecology, distribution and affinities of the benthic flora. *Syst. Zool.*, 9: 93–100.
- Graham, L.E. & L.W. Wilcox. 2000. *Algae*. Prentice Hall, Nueva Jersey, 640 p.
- Guiry, M.D. & G.M. Guiry. 2011. *AlgaeBase. World-wide electronic publication*. Consultado el 13 de Marzo de 2011. <http://www.algaebase.org>
- Hay, M.E. 1981. The functional morphology of turf-forming seaweeds: persistence in stressful marine habitats. *Ecology*, 62: 739–750.
- Huerta-Muzquiz, L. & A.C. Mendoza-González. 1985. Marine algae from the Bay of La Paz, southern Baja California. *Phytologia*, 59: 35–57.
- Legendre, P. & L. Legendre. 1998. *Numerical Ecology*. Elsevier, Amsterdam, 800 p.
- Littler, M.M. & K.E. Arnold. 1982. Primary productivity of marine macroalgal functional-form groups from southwestern North America. *J. Phycol.*, 18: 307–311.
- Littler, M.M. & D.S. Littler. 1981. Intertidal macrophyte communities from Pacific Baja California and the upper Gulf of California: relatively constant vs. environmentally fluctuating systems. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 4: 145–158.
- Littler, M.M. & D.S. Littler. 1984. Relationships between macroalgal functional form groups and substrata stability in a subtropical rocky-intertidal system. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 74: 13–34.
- Littler, M.M., D.S. Littler & P.R. Taylor. 1983. Evolutionary strategies in a tropical barrier reef system: functional-form groups of marine macroalgae. *J. Phycol.*, 19: 229–237.
- Lively, C.M., P.T. Raimondi & L.F. Delph. 1993. Intertidal community structure:

- space-time interactions in the northern Gulf of California. *Ecology*, 74: 162–173.
- Lubchenco, J. 1978. Plant species diversity in a marine intertidal community: importance of herbivore food preference and algal competitive abilities. *Am. Nat.*, 112: 23–39.
- Lüning, K. 1990. *Seaweeds. Their Environment, Biogeography and Ecophysiology*. John Wiley & Sons, Nueva York, 527 p.
- Martínez-López, A., R. Cervantes-Duarte, A. Reyes-Salinas & J.E. Valdez-Holguín. 2001. Cambio estacional de clorofila *a* en la Bahía de La Paz, B.C.S., México. *Hidrobiológica*, 11: 45–52.
- Mateo-Cid, L.E., I. Sánchez-Rodríguez, Y.E. Rodríguez Montesinos & M.M. Casas-Valdez. 1993. Estudio florístico de las algas marinas bentónicas de Bahía Concepción, B.C.S. México. *Ciencia y Mar*, 19: 41–60.
- Mathieson, A.C. & C.A. Penniman. 1986. Species composition and seasonality of New England seaweeds along an open coastal estuarine gradient. *Bot. Mar.*, 29: 161–176.
- Ortuño-Aguirre, C. & R. Riosmena-Rodríguez. 2007. Dinámica del epifitismo en *Padina concrescens* (Dictyotales: Phaeophyta) en el suroeste de la Península de Baja California, México. *Cienc. Mar.*, 33: 311–317.
- Pacheco-Ruiz, I. & J.A. Zertuche-González. 1996a. Green Algae (Chlorophyta) from Bahía de los Angeles, Gulf of California, Mexico. *Bot. Mar.*, 39: 431–433.
- Pacheco-Ruiz, I. & J.A. Zertuche-González. 1996b. Brown algae (Phaeophyta) from Bahía de los Angeles, Gulf of California, Mexico. *Hydrobiologia*, 326/327: 169–172.
- Pacheco-Ruiz, I. & J.A. Zertuche-González. 1999. Population structure and reproduction of the carrageenophyte *Chondracanthus pectinatus* in the Gulf of California. *Hydrobiologia*, 398/399: 159–166.
- Pacheco-Ruiz, I. & J.A. Zertuche-González, 2002. Red Algae (Rhodophyta) from Bahía de Los Angeles, Gulf of California, Mexico. *Bot. Mar.*, 45: 465–470.
- Padilla, D.K. & B.J. Allen. 2000. Paradigm lost: reconsidering functional form and group hypotheses in marine ecology. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 250: 207–221.
- Paul-Chávez, L. & R. Riosmena-Rodríguez. 2000. Floristic and biogeographical trends in seaweed assemblages from a subtropical insular island complex in the Gulf of California. *Pac. Sci.*, 54: 137–147.

- Pedersen, M.F. & J. Borum. 1996. Nutrient control of algal growth in estuarine waters. Nutrient limitation and the importance of nitrogen requirements and nitrogen storage among phytoplankton and species of macroalgae. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 142: 261–272.
- Pedersen, M.F. & J. Borum. 1997. Nutrient control of estuarine macroalgae: growth strategy and the balance between nitrogen requirements and uptake. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 161: 155–163.
- Pedroche, F.F., P.C. Silva, L.E. Aguilar-Rosas, K.M. Dreckmann & R.A. Aguilar-Rosas. 2005. *Catálogo de las Algas Marinas Bentónicas del Pacífico de México. I. Chlorophycota*. Universidad Autónoma de Baja California, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, University of California Berkeley, Mexicali, 135 p.
- Pedroche, F.F., P.C. Silva, L.E. Aguilar-Rosas, K.M. Dreckmann & R.A. Aguilar-Rosas. 2008. *Catálogo de las Algas Marinas Bentónicas del Pacífico de México. II. Phaeophycota*. Universidad Autónoma de Baja California, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, University of California Berkeley, Mexicali, 146 p.
- Phillips, J.C., G.E. Kendrick & P.S. Lavery. 1997. A test of a functional group approach to detecting shifts in macroalgal communities long a disturbance gradient. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 153: 125–138.
- Rodríguez-Morales, E.O. 1997. *Variación interanual de las macroalgas en Punta Galeras, B.C.S.* Tesis de licenciatura. UABCS, La Paz, 70 p.
- Sousa, W.P. 1979. Experimental investigations of disturbance and ecological succession in a rocky intertidal algal community. *Ecol. Monogr.*, 49: 227–254.
- Sousa, W.P. 1980. The responses of a community to disturbance: the importance of successional age and species life histories. *Oecologia*, 45: 72–81.
- Steneck, R.S. 1988. Herbivory on coral reefs: a synthesis. *Proceedings of the 6th International Coral Reef Symposium, Australia*, 1: 37–49.
- Steneck, R.S. & M.N. Dethier. 1994. A functional group approach to the structure of algal-dominated communities. *Oikos*, 69: 476–498.
- Tello-Velasco, M. 1986. Cuantificación del efecto de la tormenta tropical “Lidia” y el ciclón “Paul” sobre una comunidad de macroalgas marinas en la laguna costera de Balandra, B.C.S., México. *An. Inst. Cienc. Mar Limnol. UNAM*, 13: 69–78.

- Underwood, A.J. & M.G. Chapman. 1998. Variation in algal assemblages on wave-exposed rocky shores in New South Wales. *Mar. Freshwater Res.*, 49: 241–254.
- Underwood, A.J. & P. Jernakoff. 1981. Effects of interactions between algae and grazing gastropods on the structure of a low-shore intertidal algal community. *Oecologia*, 48: 221–233.
- Underwood, A.J., E.J. Denley & M.J. Moran. 1983. Experimental analyses of the structure and dynamics of mid-shore rocky intertidal communities in New South Wales. *Oecologia*, 56: 202–219.
- Zar, J.H. 2009. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, Nueva Jersey, 718 p.