

BIOINDICADORES:

GUARDIANES DE NUESTRO FUTURO AMBIENTAL



César Alberto González Zuarth
Adriana Vallarino
Juan Carlos Pérez Jiménez
Antonio M. Low Pfeng
(editores)

BIOINDICADORES

BIOINDICADORES:
GUARDIANES DE NUESTRO
FUTURO AMBIENTAL

César Alberto González Zuarth
Adriana Vallarino
Juan Carlos Pérez Jiménez
Antonio M. Low Pfeng
(editores)

El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur)
Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental

Primera edición: 2014

Diseño de portada e imagen: Hugo Arquímedes Carrillo

D.R. © El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)
Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n
Barrio de María Auxiliadora CP 29290
San Cristóbal de Las Casas, Chiapas
www.ecosur.mx

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)
Periférico sur 5000, Col. Insurgentes Cuicuilco,
CP 04530. México, D.F.
www.inecc.gob.mx

ISBN 978-607-8429-05-9 (edición digital)
978-607-8429-04-2 (edición impresa)

Se autoriza la reproducción del contenido de esta obra,
siempre y cuando se cite la fuente

Impreso y hecho en México / *Printed and made in Mexico*

Índice

PRÓLOGO	13
PREFACE	
<i>JOANNA BURGER</i>	
1 LOS BIOINDICADORES ¿UNA ALTERNATIVA REAL PARA LA PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE?	21
BIOINDICATORS: A REAL ALTERNATIVE TO PROTECT THE ENVIRONMENT?	
<i>CESAR GONZÁLEZ ZUARTH Y ADRIANA VALLARINO</i>	
MÉTODOS	
2 ORGANISMOS ACUÁTICOS COMO INDICADORES DE CAMBIOS AMBIENTALES: CARACTERÍSTICAS, ELECCIÓN, INTERPRETACIÓN, MONITOREO. VENTAJAS Y DESVENTAJAS	41
AQUATIC ORGANISMS AS ENVIRONMENTAL INDICATORS: CHARACTERISTICS, SELECTION, INTERPRETATION, MONITORING. ADVANTAGES AND DISADVANTAGES	
<i>GUADALUPE DE LA LANZA ESPINO Y SALVADOR HERNÁNDEZ PULIDO</i>	
3 LOS ÍNDICES BIÓTICOS DE INTEGRIDAD EN EL MONITOREO AMBIENTAL	65
INTEGRITY BIOTIC INDICES FOR ENVIRONMENTAL	
<i>JUAN JACOBO SCHMITTER-SOTO</i>	
4 TECNOLOGÍAS “ÓMICAS” EN LAS CIENCIAS AMBIENTALES Y EN LA BÚSQUEDA DE BIOMARCADORES MOLECULARES	83
“OMIC” TECHNOLOGIES IN THE ENVIRONMENTAL SCIENCES AND ON THE SEARCH FOR MOLECULAR BIOMARKERS	
<i>AÍDA JIMENA VELARDE-SALCEDO Y ANA PAULINA BARBA DE LA ROSA</i>	

MICROORGANISMOS

- 5 **ECOLOGÍA Y EVOLUCIÓN DE BACTERIAS, TAPETES MICROBIANOS Y ESTROMATOLITOS: SU RELEVANCIA EN LA HISTORIA DE LA VIDA EN LA TIERRA** 107
ECOLOGY AND EVOLUTION OF BACTERIA, MICROBIAL MATS AND STROMATOLITES: ITS SIGNIFICANCE IN THE HISTORY OF LIFE ON EARTH
VALERIA SOUZA, SILVIA PAJARES Y LUÍS E. EGUIARTE
- 6 **LAS COMUNIDADES BACTERIANAS COMO BIOINDICADORES DE SALUD AMBIENTAL** 127
BACTERIAL COMMUNITIES AS BIOINDICATORS OF ENVIRONMENTAL HEALTH
SYLVIE LE BORGNE Y MORENA AVITIA
- 7 **CRUSTÁCEOS PLANCTÓNICOS COMO INDICADORES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y CORRIENTES MARINAS** 147
PLANKTONIC CRUSTACEAN AS INDICATORS OF CLIMATIC VARIABILITY AND MARINE CURRENTS
BERTHA E. LAVANIEGOS

INVERTEBRADOS ACUÁTICOS

- 8 **LOS ORGANISMOS BENTÓNICOS COMO BIOINDICADORES DE LA SALUD ECOLÓGICA DE LOS OCÉANOS** 171
BENTHIC ORGANISMS AS BIOINDICATORS OF OCEANS ECOLOGICAL HEALTH
SILVIA MARGARITA ORTIZ-GALLARZA Y ALFREDO ORTEGA-RUBIO
- 9 **LOS INVERTEBRADOS MARINOS COMO INDICADORES DE CAMBIO CLIMÁTICO** 193
MARINE INVERTEBRATES AS INDICATORS OF CLIMATE CHANGE
JOSÉ LUIS CARBALLO CENIZO

- 10 USO DE MACROINVERTEBRADOS COMO BIOINDICADORES DE VARIABILIDAD AMBIENTAL EN SISTEMAS ACUÁTICOS DE CAMPECHE, MÉXICO. ESTUDIO DE CASO RESERVA DE LA BIÓSFERA "LOS PETENES" 209
 USE OF MACROINVERTEBRATES AS BIOINDICATORS OF ENVIRONMENTAL VARIATION IN AQUATIC SYSTEMS OF CAMPECHE, MÉXICO; BIOSPHERE RESERVE "LOS PETENES" AS A CASE STUDY
DEMIÁN HINOJOSA-GARRO
- 11 ERIZOS DE MAR (ECHINODERMATA: ECHINOIDEA) COMO INDICADORES DE LA CONDICIÓN DE ARRECIFES ROCOSOS Y CORALINOS 231
 SEA URCHINS (ECHINODERMATA: ECHINOIDEA) AS INDICATORS OF ROCKY AND CORALLINE REEF CONDITIONS
HÉCTOR REYES BONILLA Y MARÍA DINORAH HERRERO PÉREZRUL
- 12 LOS HELMINTOS PARÁSITOS DE PECES COMO BIOINDICADORES DE LA SALUD DE LOS ECOSISTEMAS 253
 FISH PARASITES (HELMINTHS) AS BIOINDICATORS OF ECOSYSTEM'S HEALTH
GERARDO PÉREZ-PONCE DE LEÓN

INVERTEBRADOS TERRESTRES

- 13 LAS ARAÑAS COMO BIOINDICADORES 273
 SPIDERS AS BIOINDICATORS
GUILLERMO IBARRA NÚÑEZ
- 14 LOS COLÉMBOLOS (ARTHROPODA: HEXAPODA) COMO BIOINDICADORES 291
 COLLEMBOLA (ARTHROPODA: HEXAPODA) AS BIOINDICATORS
JOSÉ G. PALACIOS-VARGAS Y GABRIELA CASTAÑO-MENESES
- 15 LOS ESCARABAJOS LAMELICORNIOS COMO INDICADORES ECOLÓGICOS Y BIOGEOGRÁFICO 309
 LAMELICORNIOUS BEETLES AS ECOLOGICAL AND BIOGEOGRAPHICAL INDICATORS
MIGUEL ÁNGEL MORÓN

- 16 MARIPOSAS DIURNAS: BIOINDICADORAS DE EVENTOS ACTUALES E HISTÓRICOS 327

BUTTERFLIES AS BIOINDICATORS OF PRESENT AND HISTORICAL EVENTS

CARMEN POZO, ARMANDO LUIS MARTÍNEZ, NOEMÍ SALAS-SUÁREZ, MARYSOL TRUJANO-ORTEGA, JORGE LLORENTE BOUSQUETS

- 17 ABEJAS COMO BIOINDICADORES DE PERTURBACIONES EN LOS ECOSISTEMAS Y EL AMBIENTE 349

BEES AS BIOINDICATORS OF ECOSYSTEMS AND ENVIRONMENTAL PERTURBATIONS

VIRGINIA MELÉNDEZ RAMÍREZ, RICARDO AYALA Y HUGO DELFÍN GONZÁLEZ

VERTEBRADOS ACUÁTICOS

- 18 LOS TIBURONES COMO BIOINDICADORES DE CONTAMINANTES Y CAMBIOS TRÓFICOS EN LOS ECOSISTEMAS MARINOS 375

SHARKS AS BIOINDICATORS OF CONTAMINANTS AND TROPHIC CHANGES IN MARINE ECOSYSTEMS

FELIPE GALVÁN MAGAÑA, CARLOS JULIO POLO SILVA, ANGÉLICA MARÍA BARRERA GARCÍA, OFELIA ESCOBAR SÁNCHEZ Y YASSIR EDEN TORRES ROJAS

- 19 LA CONDUCTA DE LOS PECES COMO BIOMARCADORES DE LA PRESENCIA DE ESTRESORES AMBIENTALES 397

THE BEHAVIOUR OF FISH AS BIOMARKERS OF THE PRESENCE OF ENVIRONMENTAL STRESSORS

CÉSAR GONZÁLEZ ZUARTH Y DAVID ÁLVAREZ

- 20 EL AXOLOTE COMO ESPECIE BANDERA EN XOCHIMILCO 421

THE AXOLOTL AS FLAGSHIP SPECIES IN XOCHIMILCO

LUIS ZAMBRANO, GEMMA ABISAY ORTIZ HARO Y KAREN LEVY GÁLVEZ

- 21 LAS ESPECIES "BANDERA" COMO BIOINDICADORES AMBIENTALES: LAS TORTUGAS MARINAS 439

FLAG SPECIES AS ENVIRONMENTAL BIOINDICATORS: THE SEA TURTLES

JUAN PATINO-MARTÍNEZ, ADRIANA VALLARINO Y CÉSAR GONZÁLEZ ZUARTH

- 22 LAS AVES MARINAS COMO CENTINELAS DE LA SALUD DE LOS OCÉANOS 457
SEABIRDS AS SENTINELS OF OCEANS HEALTH
ADRIANA VALLARINO

- 23 LAS BALLENAS COMO BIOINDICADORAS DE LA SALUD DE LOS OCÉANOS 479
UTILIZANDO TÉCNICAS NO-LETALES
WHALES AS BIOINDICATORS OF OCEANS' HEALTH USING NON-LETHAL
TECHNIQUES
*JORGE URBÁN RAMÍREZ, MARIA CRISTINA FOSSI, CRISTINA PANTI,
LETIZIA MARSILI Y LORENZO ROJAS-BRACHO*

VERTEBRADOS TERRESTRES

- 24 EL POTENCIAL DEL JAGUAR COMO ESPECIE SUSTITUTA EN 503
LA CONSERVACIÓN DE ECOSISTEMAS TROPICALES
THE JAGUAR POTENTIAL AS SURROGATE ESPECIES IN THE CONSERVATION OF
TROPICAL ECOSYSTEMS
GERARDO CEBALLOS, HELIOT ZARZA Y JOSÉ F. GONZÁLEZ-MAYA

- 25 LOS MURCIÉLAGOS COMO BIOINDICADORES DE LA PERTURBACIÓN 521
AMBIENTAL
BATS AS BIOINDICATORS OF ENVIRONMENTAL PERTURBATION
RODRIGO A. MEDELLÍN Y LUIS R. VÍQUEZ-R.

PLANTAS ACUÁTICAS

- 26 LAS ALGAS MARINAS COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD AMBIENTAL 543
Y SU USO EN ESTUDIOS ECOTOXICOLÓGICOS
MARINE ALGAE AS BIOINDICATORS OF ENVIRONMENTAL QUALITY
AND THEIR USE IN ECOTOXICOLOGICAL STUDIES
DANIEL ROBLEDO Y YOLANDA FREILE-PELEGRÍN

- 27 PARÁMETROS POBLACIONES DE *ZOSTERA MARINA* COMO INDICADORES DE SALUD ECOSISTÉMICOS 561
POPULATION PARAMETERS OF *ZOSTERA MARINA* AS INDICATORS OF ECOSYSTEM HEALTH
RAFAEL RIOSMENA-RODRÍGUEZ, JORGE MANUEL LÓPEZ-CALDERÓN, RAQUEL MUÑIZ-SALAZAR, JUAN MANUEL LÓPEZ-VIVAS, JORGE TORRE-COSIO Y ALF MELING

HONGOS Y PLANTAS TERRESTRES

- 28 HONGOS Y LÍQUENES COMO BIOINDICADORES Y MICORREMEDIACIÓN 579
LICHENS AND FUNGUS AS BIOINDICATORS AND MYCOREMEDIATION
LAURA GUZMÁN-DÁVALOS E ISELA ÁLVAREZ BARAJAS
- 29 EPÍFITAS VASCULARES COMO BIOINDICADORAS DE LA CALIDAD FORESTAL: IMPACTO ANTRÓPICO SOBRE SU DIVERSIDAD Y COMPOSICIÓN 605
VASCULAR EPIPHYTES AS BIOINDICATORS OF FOREST QUALITY: ANTHROPIC IMPACT ON THEIR DIVERSITY AND COMPOSITION
THORSTEN KRÖMER, JOSÉ G. GARCÍA-FRANCO Y TARIN TOLEDO-ACEVES
- 30 LAS MALEZAS COMO INDICADORAS AMBIENTALES 625
WEEDS AS ENVIRONMENTAL INDICATORS
HEIKE VIBRANS
- 31 EL USO DE ÁRBOLES COMO BIOINDICADORES AMBIENTALES: ENFOQUES, MÉTODOS Y APLICACIONES 653
THE USE OF TREES AS ENVIRONMENTAL BIOINDICATORS: APPROACHES, METHODS AND APPLICATIONS
J. JESÚS VARGAS-HERNÁNDEZ Y PATRICIA HERNÁNDEZ-DE LA ROSA

ESTUDIOS GENERALES

32	LAS ESPECIES INVASORAS EN MÉXICO COMO BIOINDICADORAS DEL CAMBIO GLOBAL	679
	INVASIVE SPECIES IN MEXICO AS BIOINDICATORS OF GLOBAL CHANGE <i>EK DEL VAL DE GORTARI</i>	
33	INTEGRIDAD ECOLÓGICA COMO INDICADOR DE LA CALIDAD AMBIENTAL	695
	ECOLOGICAL INTEGRITY AS INDICATOR OF ENVIRONMENTAL QUALITY <i>MIGUEL EQUIHUA ZAMORA, NASHIELI GARCÍA ALANIZ, OCTAVIO PÉREZ-MAQUEO, GRISELDA BENÍTEZ BADILLO, MELANIE KOLB, MICHAEL SCHMIDT, JULIÁN EQUIHUA BENÍTEZ, PEDRO MAEDA, JOSÉ LUIS ÁLVAREZ PALACIOS</i>	
34	LA UTILIZACIÓN DE BIOINDICADORES DE LA CONTAMINACIÓN CON REFERENCIA A LAS COSTAS MEXICANAS	719
	THE USE OF POLLUTION BIOINDICATORS IN THE MEXICAN COASTS <i>FEDERICO PÁEZ-OSUNA, ANA CAROLINA RUIZ-FERNÁNDEZ, JORGE RICARDO RUELAS-INZUNZA Y JOAN-ALBERT SÁNCHEZ-CABEZA</i>	
35	USO DE BIOINDICADORES PARA LA EVALUACIÓN INTEGRADA DEL RIESGO EN SITIOS CONTAMINADOS DE MÉXICO	737
	THE USE OF BIO-INDICATORS FOR THE INTEGRATED RISK ASSESSMENT OF CONTAMINATED SITES IN MEXICO <i>JOSÉ DE JESÚS MEJÍA-SAAVEDRA, CÉSAR ILIZALITURRI-HERNÁNDEZ, GUILLERMO ESPINOSA-REYES, DONAJI GONZÁLEZ-MILLE, GABRIELA CILIA- LÓPEZ Y FERNANDO DÍAZ-BARRIGA</i>	
	REVISORES	759
	PEER-REVIEWERS	
	AUTORES	767
	AUTHORS	

Prólogo

Preface

Joanna Burger

Diversas organizaciones y personas están interesadas en evaluar el bienestar de los ecosistemas del planeta. Entre éstas se incluyen agencias ambientales, pueblos originarios, tomadores de decisiones, conservacionistas, científicos ambientales y de la salud, así como científicos de diversas áreas, administradores y el público en general. Esta evaluación implica el establecimiento de planes de biomonitoreo mediante el uso de bioindicadores y biomarcadores para medir tanto exposición como efectos a diversos estresores ambientales. Elegir bioindicadores adecuados se vuelve crítico para realizar una valoración ecológica y ambiental adecuada, así como un monitoreo ecosistémico, la evaluación de programas de remediación o restauración así como para monitorear la sustentabilidad de los ecosistemas. Evaluar la salud biológica para especies, poblaciones, comunidades y ecosistemas requiere considerar las condiciones presentes y monitorear los cambios en el tiempo y el espacio ya sea de una forma retrospectiva, actual o prospectiva. El biomonitoreo es la pieza central en la evaluación biológica o ecológica debido a que es esencial el uso de indicadores estándares que puedan ser comparados dentro y entre ecosistemas a lo largo del tiempo. La información de un monitoreo biológico puede conseguirse de diversas fuentes, en muchas escalas biológi-

* Division of Life Sciences, and Environmental and Occupational Health Sciences Institute. Rutgers University, Piscataway, New Jersey, USA 08854-8082.

cas, de células, tejidos y órganos, hasta organismos completos (enfermedades, lesiones y mortalidad) o de grandes extensiones de paisajes terrestres y marinos. Este biomonitoreo requiere contar con bioindicadores que puedan usarse para evaluar tanto la condición como los cambios de ciertos aspectos de los sistemas biológicos.

Idealmente, los planes de monitoreo (así como la selección de bioindicadores) están ajustados para satisfacer las necesidades de una pregunta o situación particular y proveerán información sobre la situación y tendencias de un ecosistema. El biomonitoreo puede generar información sobre preguntas como: 1) ¿Están las poblaciones de una determinada especie aumentando o disminuyendo (y por qué)?, 2) ¿Los niveles de mercurio u otros contaminantes son lo suficientemente altos en una especie para representar un riesgo a su propia salud o a los animales que la consumen (incluyendo a los humanos)?, 3) ¿El tamaño y forma del ecosistema ha cambiado a lo largo del tiempo?, 4) ¿Ha habido cambios en la composición de especies o número de especies de grupos taxonómicos (p. ej. aves, tortugas, mariposas) dentro del ecosistema?, 5) ¿Cuál es la diversidad de especies de diferentes grupos dentro del sistema y están en equilibrio?, 6) ¿Hay cambios en el número, distribución o efectos de especies invasoras a lo largo del tiempo?, 7) ¿Hay cambios en el número o en los efectos de los depredadores a lo largo del tiempo?, 8) ¿Cómo han afectado las actividades humanas (de manera indirecta o directa) a las especies y a los ecosistemas?, 9) ¿Cómo han cambiado los sistemas agrícolas con el paso del tiempo respecto al tipo de cultivo, superficie de determinados cultivos así como su rendimiento y 10) ¿Cómo han cambiado los recursos oceánicos (p. ej. poblaciones de peces y mariscos) en términos de población, tamaño, captura y su relación con otras especies o niveles tróficos? Por mencionar algunos.

Mientras los científicos desarrollan bioindicadores para un determinado sistema o contestar una pregunta, su importancia aumenta en proporción a su aplicabilidad a una amplia gama de preguntas o sistemas. De manera opuesta, seleccionar indicadores para una pregunta particular, requiere a menudo, la búsqueda en la literatura de bioindicadores adecuados que midan la condición o función ecológica deseada, así como determinar qué criterio de valoración es el más importante. Así, una compilación de información sobre varios tipos de bioindicadores es importante para los científicos, tomadores de decisiones, conservacionistas, servidores públicos y el público en general.

Este libro es una excelente introducción a la gran variedad de bioindicadores disponibles, describe el uso de una gran gama de especies como indicadores y proporciona ejemplos de diversos problemas que pueden abordarse

mediante el uso de bioindicadores. Es un libro oportuno y sumamente necesario. Mientras existen cientos de artículos sobre bioindicadores, un libro que agrupe una amplia diversidad de tipos de bioindicadores, aporta al lector con una visión general imposible de obtener al leer algunos artículos en revistas especializadas. Los capítulos incluyen organismos acuáticos y terrestres, desde bacterias hasta ballenas, desde el uso de especies únicas como bioindicadoras hasta el uso de un índice de integridad biótica, así como biomarcadores moleculares. Por ejemplo, los biomarcadores de genotoxicidad, se volverán aún más importantes en el futuro (Bolognesi 2014). El rango de especies examinado es impresionante, incluyendo líquenes, hongos, epífitas vasculares, malezas, árboles, escarabajos, arañas, abejas, mariposas, tiburones, tortugas de mar, aves marinas, murciélagos y ballenas, por mencionar sólo algunas. Además, hay capítulos que abordan específicamente temas de ecotoxicología y el uso de bioindicadores para medir y dar seguimiento a contaminantes dañinos al medio ambiente. El desarrollo de bioindicadores para dar seguimiento a diferentes vías de contaminación se ha vuelto cada vez más importante para los gobiernos estatales y federales, así como regionales (Amoozadeh *et al.* 2014). En definitiva, se trata de un compendio increíble y sumamente importante para el desarrollo del campo de los bioindicadores.

El presente libro es notable por su amplitud y diversidad. Por ejemplo, hace menos de diez años, una revisión de la literatura sobre biomarcadores mostró que la mayoría de los artículos en el campo, trataban sobre plantas e invertebrados y mucho menos con vertebrados (Burger 2006). Sin embargo, los vertebrados pueden ser extremadamente útiles como bioindicadores porque frecuentemente integran información en diversas escalas de tiempo y espacio (Landres *et al.* 1988; Burger *et al.* 2013). Las poblaciones de vertebrados se enfrentan frecuentemente a diversos estresores y por lo tanto dan señales de cambio global. La novedad de este libro al incluir una amplia gama de vertebrados es refrescante ya que estos bioindicadores no únicamente son representativos de rangos tróficos completos sino que además son de gran interés para el público. El interés público conduce directamente a la obtención de financiamiento y al desarrollo de bases de datos de largo plazo que potencialmente pueden reflejar cambios locales y globales complejos. Este tipo de datos es esencial para la sustentabilidad en un mundo cambiante.

Sugiero que los lectores lean el primer capítulo y después prosigan con los capítulos sobre las especies o tipos de bioindicadores que más les interese para después expandir su lectura hacia especies en hábitats similares que enfrentan problemas parecidos a los de su interés. Finalmente, los capítulos más aleja-

dos de los intereses primarios de los lectores, proporcionarán antecedentes e ideas nuevas para aumentar la utilidad y aplicabilidad de los bioindicadores. Los capítulos son lo suficientemente diversos y tan fácilmente leíbles, que el libro puede ser usado por estudiantes de todos los niveles así como por profesionales y por el público en general. Mientras algunos aspectos son técnicos, cualquier persona encontrará los antecedentes y el contexto útiles para sus intereses respecto al conocimiento sobre bioindicadores y la aplicación del mismo.

Cada capítulo está cuidadosamente diseñado para proveer tanto una introducción y visión de conjunto, así como datos detallados que ejemplifiquen su uso y/o importancia. Los capítulos pueden ser leídos de manera individual o en combinación entre ellos para proporcionar al lector información suficiente para ayudarlo en el diseño de planes específicos de biomonitoreo. La diversidad de capítulos permite a un amplio rango de responsables en políticas públicas, gestores y público en general, entender por qué un biomonitoreo de los ecosistemas es esencial, por qué los bioindicadores deben seleccionarse para satisfacer diversas necesidades y son útiles para un monitoreo a largo plazo, así como responder por qué el público debe apoyar la creación e implementación de bioindicadores para usarse de manera local y regional. Únicamente con este desarrollo, los científicos podrán proporcionar a los gobiernos la información necesaria para proteger, conservar y utilizar sabiamente los recursos locales, monitorear y manejar la contaminación y asegurar la sustentabilidad de los recursos esenciales para la salud ecológica y el bienestar humano.

De manera general, este libro es una lectura obligada para cualquier persona interesada en evaluar la condición del medio ambiente y en los métodos para contabilizar y monitorear cambios ambientales a lo largo del tiempo. Los bioindicadores por sí mismos proveerán una ventana al futuro, sugiriendo maneras de hacer nuestros ecosistemas más sustentables para las especies que habitan en ellos, así como para las personas que viven en sus confines y dependen de ellos como proveedores de alimento, fibras, medicinas y otros bienes y servicios. En conclusión, este libro proporciona una visión actualizada sobre los bioindicadores, en un mundo complejo y cambiante.

REFERENCIAS

- Amoozadeh, E., M. Malek, R. Rashidinejad, H. Salehi, S. Nabavi, M. Karbassi, R. Ghayoumi, G. Ghorbanzadeh-Zafarai y B. Sures. 2014. Marine organisms as

- heavy metal bioindicators in the Persian Gulf and the Gulf of Oman. *Environmental Science and Pollution Research* 21: 2386-2395.
- Bolognesi, C. 2014. Genotoxicity biomarkers in aquatic bioindicators. *Current Zoology* 60: 273-284.
- Burger, J. 2006. Bioindicators: a review of their use in the environmental literature 1970-2005. *Environmental Bioindicators* 1: 136-144.
- Burger, J., M. Gochfeld, C. W. Powers, L. Niles, R. Zappalorti, J. Feinberg y J. Clarke. 2013. Habitat protection for sensitive species: balancing species requirements and human constraints using bioindicators as examples. *Natural Science* 5: 50-62.
- Landres, P. B., J. Verner y J. W. Thomas. 1988. Ecological uses of vertebrate indicator species: a critique. *Conservation Biology* 2: 316-328.



Many organizations and people are interested in assessing the well-being of our earth's ecosystems, including governmental agencies, Tribal Nations, public policy makers, conservationists, environmental scientists, health scientists, other scientists, managers, regulators, and the public. Assessing ecological and human health involves establishing biomonitoring plans that use bioindicators and biomarkers to measure both exposure and effects. Selecting suitable bioindicators is thus critical for ecological and environmental assessment, ecosystem monitoring, evaluating remediation or restoration, and monitoring sustainability of ecosystems. Assessing biological health for species, populations, communities and ecosystems involves evaluating the current condition or status, and monitoring changes over space and time, either retrospectively, currently, or prospectively. Biomonitoring is the centerpiece of biological or ecological assessment because it is essential to use standard indicators that can be compared within and among ecosystems, over time. Biomonitoring data can be obtained from many sources, at many biological scales, from cells, tissues and organs, to whole organisms (disease, injuries and mortality), to large landscapes, seascapes, and to the earth. Biomonitoring requires having bioindicators that can be used to assess the condition and changes in some aspect of biological systems.

Ideally, monitoring plans (and selection of bioindicators) are tailored to meet the needs of a particular question or situation, and provide information on status and trends. Biomonitoring can provide information on questions such as: 1) Are populations of a given species increasing or decreasing (and why)?, 2) Are mercury or some other contaminant levels high enough in a species to provide a health risk to itself or the animals that consume it (including people)?, 3) Has the size and shape of the ecosystem changed over time, 4) Have there been changes in species composition or species numbers of species groups (e.g. birds, turtles, butterflies) within the system?, 5) What is the species diversity of different groups within the system, and are they balanced?, 6) Are there changes in the number, distribution, or effects of invasive species over time?, 7) Are there changes in the number or effects of predators over time?, 8) How have human activities (indirect or direct human disturbance) affected species and ecosystems?, 9) How have agricultural systems changed over time with respect to crop type, acreage of particular crops, diseases, and yields?, and 10) How have ocean resources (e.g. fish or shellfish stocks) changed in terms of population levels, fish sizes, catches, and relationship among different species or trophic levels?, to name only a few.

While scientists develop bioindicators for a given system or question, their importance increases in proportion to their applicability to a wide range of questions or systems. On the contrary, selecting indicators for a particular question often involves searching the literature for suitable bioindicators that measure the desired ecological function or condition, as well as determining what endpoint is of most concern. Thus, a compilation of a number of different types of bioindicators is important for scientists, regulators, managers, conservationists, public policy makers, and the general public.

This book is an excellent introduction to the range of bioindicators available, describes the use of a broad group of species as indicators, and provides examples of a diversity of problems that can be addressed with bioindicators. It is timely and much needed. While there are hundreds of papers written about bioindicators, a book that brings together a wide diversity of bioindicator types provides the reader with an overview not possible from reading a few papers in journals. Chapters include aquatic and terrestrial organisms, bacteria to whales, and single species bioindicators to the Biotic Integrity Index, as well as molecular biomarkers. Biomarkers of genotoxicity, for example, will become even more important in the future (Bolognesi 2014). The range of species examined is impressive, including lichens, fungi, vascular epiphytes, weeds, trees, beetles, spiders, bees, butterflies, sharks, sea turtles, seabirds,

bats and whales, to name a few. Further, there are chapters that specifically address ecotoxicology and the use of bioindicators to measure and track trends in harmful contaminants in the environment. Development of bioindicators to track pollution is becoming increasingly important to state and federal governments, as well as to regions (Amoozadeh *et al.* 2014). In short, it is an amazing compendium that is important to the development of the field of bioindicators.

The book is remarkable for its breadth and diversity. For example, less than ten years ago a review of the literature on bioindicators showed that most papers in the field dealt with plants and invertebrates, and far less with vertebrates (Burger 2006). Vertebrates, however, can be extremely useful as bioindicators because they often intergrade over time and space (Landres *et al.* 1988; Burger *et al.* 2013). Their populations often face several different stressors, and thus provide an indication of global change. The switch in this book to include a wide range of vertebrates is refreshing, given that such bioindicators are not only representative of the full trophic range, but are of most interest to the public. And public interest leads directly to funding and the potential to develop long-term data sets that can fully reflect local and global changes. Such data are essential for sustainability in a changing world.

After reading the first chapter, I suggest that readers begin with the chapters on species or types of bioindicators of most interest, and then to expand to species in similar habitats, facing similar problems. Finally, chapters farther removed from reader's primary interests will provide background and suggest ideas that can increase the usefulness and applicability of bioindicators. The chapters are sufficiently broad, and readable that the book can be used by students at all levels, as well as professionals and the public. While some aspects are technical, everyone will find the background and context useful.

Each chapter is carefully crafted to provide both an introduction and overview, and detailed data to illustrate its use or importance. Chapters can be read alone, or in combination to provide the reader with sufficient information to aid in designing specific biomonitoring plans. The diversity of chapters allows a range of public policy makers, regulators, managers, and the public to understand why biomonitoring is essential, why bioindicators should be selected to meet several needs and be suitable for long-term monitoring, and why the public should support the development and implementation of bioindicators for local and regional use. Only by such development can scientists provide governments with the information needed to protect, conserve, and wisely use local resources, monitor and manage pollution,

and ensure sustainability of resources essential for both ecological and human health and well-being.

Overall, this book is a must read for anyone interested in assessing the condition of our natural environment, and in methods to assess and monitor changes over time. The bioindicators themselves will provide a window to the future, suggesting ways to make our ecosystems more sustainable for the species comprising them, as well as for people living within them and depending upon them for food, fiber, medicines, and other goods and services. In total, it is an up-to-date look at bioindicators in a complex and changing world.

REFERENCES

- Amoozadeh, E., M. Malek, R. Rashidinejad, H. Salehi, S. Nabavi, M. Karbassi, R. Ghayoumi, G. Ghorbanzadeh-Zafarai, and B. Sures. 2014. Marine organisms as heavy metal bioindicators in the Persian Gulf and the Gulf of Oman. *Environmental Science and Pollution Research* **21**: 2386-2395.
- Bolognesi, C. 2014. Genotoxicity biomarkers in aquatic bioindicators. *Current Zoology* **60**: 273-284.
- Burger, J. 2006. Bioindicators: a review of their use in the environmental literature 1970-2005. *Environmental Bioindicators* **1**:136-144.
- Burger, J., M. Gochfeld, C. W. Powers, L. Niles, R. Zappalorti, J. Feinberg, and J. Clarke. 2013. Habitat protection for sensitive species: balancing species requirements and human constraints using bioindicators as examples. *Natural Science* **5**: 50-62.
- Landres, P. B., J. Verner, J.W. Thomas. 1988. Ecological uses of vertebrate indicator species: a critique. *Conservation Biology* **2**: 316-328.

INVERTEBRADOS ACUÁTICOS

8

Los organismos bentónicos como bioindicadores de la salud ecológica de los océanos

The benthic organisms as bioindicators of oceans ecological health

Silvia Margarita Ortiz-Gallarza y Alfredo Ortega-Rubio

Resumen. Los bioindicadores ayudan a detectar alteraciones en los ecosistemas tales como explotación excesiva, contaminación o cambio climático. Permiten establecer fuentes de afectación y señalar rutas de acción. Las algas y los invertebrados, son algunos de los grupos recomendables para observar la evolución de la salud ambiental en ambientes acuáticos. Su naturaleza sedentaria permite la realización de análisis espacio-temporales de los efectos que producen las alteraciones de su entorno. Los organismos sésiles integran los efectos de las variables ambientales, dependiendo de ciclos de vida, densidad ecológica y tasas de colonización. Por su facilidad de manejo, algunos ya se han establecido como especies “indicadoras” pues su presencia se correlaciona con la incidencia de distintos impactos, los más comunes, los aportes antropogénicos de materia orgánica. Pueden señalar que están presentes ciertas características, se encuentran temporalmente ausentes, o no suceden. Pueden denotar una necesidad, puntualizar la naturaleza de algo, mostrar una causa, sugerir una acción o remedio. Un organismo seleccionado puede servir para caracterizar un sitio de forma breve o para expresar una generalización. Sin embargo, el uso de los indicadores no puede sustituir la investigación de las comunidades, ni los registros fisicoquímicos de la calidad ambiental. A lo largo del capítulo se mostrarán evidencias de estudios de caso en los cuales se pone de manifiesto que las especies bioindicadoras constituyen herramientas valiosas para la toma de decisiones, así como, en política pública la identificación espacio temporal de áreas prioritarias para restauración, protección, conservación y otras políticas públicas de manejo de recursos naturales. Asimismo, son útiles para la toma de decisiones sobre la jerarquía de especies como objeto de estudio, con fines de preservación, conservación o por su potencial de uso sustentable.

Palabras clave: bentos, bioindicadores, contaminación marina, sedimentos, océanos

Abstract. Bioindicators help to detect an increase or a decrease of alterations in the ecosystems like over exploitation, pollution or climate change. They allow establishing put-on sources and pointing out action programs. Algae and invertebrates are some of the advisable groups to carry out observations about the evolution of environmental health in aquatic environments. Their sedentary nature allows carrying out spatiotemporal analyses of the effects that environmental alterations produce. Sessile organisms integrate the effect of environmental variables depending on their life cycles, ecological density and colonization rates. Due to the easiness of their handling, they are recommended to evaluate the effect of diverse impacts. Some of this species have already been established as indicator species because their presence is correlated with the incidence of different impacts, mainly of those related with the anthropogenic contribution of organic matter to ecosystems. These organisms can be used to direct the attention to the environmental health. They can point out that certain characteristics exist, are temporary absent or do not happen. They can denote a need, point out the nature of something, show a cause, and suggest an action or remedy. A selected organism can help to characterize a site in a brief manner or to express a generalization. However, the use of bioindicators cannot substitute the communities' research or the physicochemical analyses of environmental quality. Along the chapter, evidences will be shown about case studies in which it is evident that bioindicator species constitute valuable tools for decision making and other management politics of natural resources. Also, they are useful for decision making about species hierarchy as study objects with preservation or conservation purposes or potentially sustainable use.

Keywords: benthos, bioindicators, marine pollution, sediments, oceans

Los bioindicadores ayudan a detectar alteraciones en los ecosistemas, como pueden ser las generadas debido a su explotación excesiva, la contaminación o el cambio climático, permitiendo establecer las fuentes de afectación y señalar posibles rutas de acción. Los invertebrados bentónicos son recomendables para efectuar observaciones de la evolución de la salud ambiental en ambientes acuáticos. Su naturaleza sedentaria permite la realización de análisis espacio-temporales de los efectos que producen las alteraciones de su entorno. En organismos bentónicos es común poder identificar los efectos que tienen sobre ellos las variables ambientales; por su facilidad de manejo, son recomendables para evaluar los efectos de diversos impactos. A lo largo del capítulo se mostrarán evidencias de estudios de caso en los cuales se pone de manifiesto que los bioindicadores constituyen herramientas valiosas para determinar la salud ecológica de los océanos.

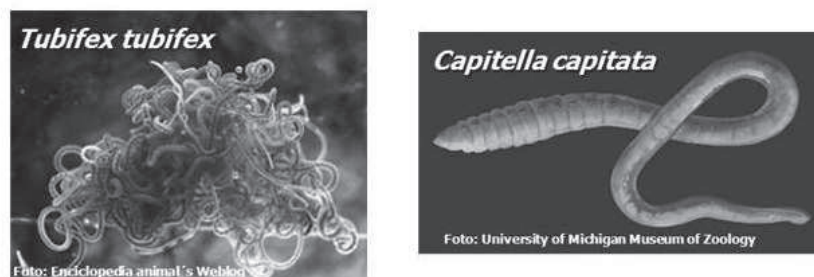
Los organismos bioindicadores pueden utilizarse para dirigir la atención sobre la salud del ambiente, entendiendo este concepto como el mantenimiento de las variables y parámetros básicos —físicos, químicos, sedimentológicos y ecológicos—, dentro de los niveles considerados como aceptables en la literatura científica derivada de estudios e investigaciones (Ortiz-Gallarza 2007). Sin embargo, el uso de los bioindicadores no puede sustituir la investigación de las comunidades, ni los monitoreos fisicoquímicos de la calidad ambiental (Ortiz-Gallarza 2001; Ortiz-Gallarza *et al.* 2005).

PRIMEROS ESTUDIOS

Los primeros bioindicadores utilizados en las evaluaciones de los ecosistemas acuáticos de agua dulce y marino fueron los anélidos bentónicos. En Alemania, Wilhelmi (1916) detectó al poliqueto *Capitella capitata* como especie indicadora de contaminación en áreas marinas. De manera similar, *Tubifex tubifex* fue detectada por sus predecesores Forbes y Richardson (1913) y Kolkwitz y Marsson (1908) en áreas lacustres contaminadas. En todos los casos, los aportes de descargas domésticas con una alta carga de materia orgánica, produjeron una proliferación muy alta de estas especies bioindicadoras cosmopolitas (Figura 1).

Diversos estudios han encontrado una correlación negativa entre la biodiversidad y la distancia de la fuente de los contaminantes. Blegvad (1932) encontró en la Bahía de Copenhague en Dinamarca, un gradiente de diversidad de especies entre la distancia de la fuente de contaminantes y la diversidad de especies macrobentónicas (Tabla 1). Por su parte Reish (1959) en la zona portuaria de Long Beach, California (EE.UU.), encontró una asociación no sola-

Figura 1. Los anélidos fueron las primeras especies usadas como bioindicadoras de contaminación por descargas domésticas.



mente entre la biodiversidad y la distancia con la fuente de los contaminantes, sino también fue capaz de determinar el grado de contaminación de acuerdo a las especies predominantes (Tabla 2). Lo mismo encontraron Gilet (1960) y Bellan (1967) en la Bahía de Marsella, Francia, donde fue posible diferenciar tres zonas: 1) carente de organismos con niveles de contaminación muy elevados, 2) con alta abundancia de *Capitella capitata* y *Scolecopis fuliginosa* y escasos especímenes de *Nereis caudata*, *Staurocephalus rudolphii* y *Audouinia* spp, considerada contaminada y 3) con dos especies de moluscos dominantes *Corbula gibba* y *Thyasira flexuosa*.

En la Bahía de San Pablo, y el estero de la Bahía de San Francisco California, Filice (1954a, 1954b), tras analizar el gradiente espacial de la diversidad de especies bentónicas respecto a la distancia y tipo de efluentes domésticos, industriales y mixtos, encontró que la composición y abundancia de las especies se correlacionaba con el tipo de contaminante (Tabla 3). De ese modo fue

Tabla 1. Categorías de contaminación en la Bahía de Copenhague, Dinamarca (Blegvad 1932).

Categoría de contaminación	Diversidad
Severa	Ausencia de fauna macrobéntica
Intermedia	Dos a tres especies dominantes
Baja	Relativamente escasa
Ausente	Alta

Tabla 2. Relación entre la concentración de contaminantes y las especies dominantes en Long Beach, California, EE.UU. (Reish 1959). Las zonas se dividieron de acuerdo al gradiente del nivel de contaminación: de 1= muy contaminado, a 5= no contaminado.

Zona	Especies dominantes
1	Azoica
2	<i>Capitella capitata</i>
3	<i>Cirriformia luxuriosa</i>
4	<i>Polydora paucibranchiata</i> y <i>Dorvillea articulata</i>
5	<i>Tharyx parvus</i> , <i>Cossura candida</i> y <i>Nereis procerca</i>

posible regular las descargas residuales que se vertían al litoral californiano. Cuando se observaba mayor proliferación de *Rhithropanopeus harrisi*, se incrementaba el control sobre las descargas industriales y cuando lo hacía *C. capitata*, éste se ejercía sobre las descargas de origen doméstico y mixto (Filice 1958, 1959).

Tabla 3. Clasificación del tipo de contaminación de la bahía de San Pablo y el estero de la bahía de San Francisco según la diversidad bentónica (Filice 1954a y 1954b).

Categoría	Densidad de especies (spp/10 litros)
Industrial	3
Doméstica	5
Normal	39
Cuasi industrial	12
Cuasi doméstica	11.5

Reish y Barnard (1960), Gilet (1960), Fujiya (1961, 1965) y Reish (1966) iniciaron el desarrollo de diseños experimentales en el laboratorio, llamados bioensayos, con el fin de conocer con mayor precisión la relación entre los efectos fisiológicos, bioquímicos y patológicos sufridos por los organismos marinos y el tipo de contaminante, a partir de las especies bioindicadoras. Por ejemplo, Fujiya (1965) efectuó experimentos para determinar los efectos de la disminución del oxígeno disuelto y del exceso de material orgánico en la fisiología del ostión japonés, *Crassostrea gigas*, los cuales resultaron en una disminución en la absorción de calcio, la muerte de células estomacales, decremento de ARN en las células estomacales e intestinales y en las glándulas digestivas, así como un incremento en la secreción de mucus en los sistemas digestivo y respiratorio.

La eficiencia de los bioindicadores para evaluar la salud ecológica del ambiente ha hecho que en países miembros de la Unión Europea como Dinamarca y Alemania (DIN38410 2004; Universidad de Sevilla 2007) y algunos otros como Costa Rica (Springer 2006; La Gaceta Digital 2007; Stein *et al.* 2008; Maue y Springer 2008) y El Salvador (Pérez *et al.* 2010; Sermeño-Chicas *et al.* 2010), existan metodologías estándares validadas para determinar la calidad del ambiente a partir de las especies bioindicadoras.

CONSIDERACIONES ECOLÓGICAS

Los sistemas acuáticos están formados por una amplia gama de organismos que coexisten entre sí y que interactúan con distintos factores ambientales que afectan la abundancia, composición de especies, productividad y condición fisiológica de las poblaciones nativas, siendo el factor más importante en los sistemas acuáticos, la calidad del agua. La estructura biológica abarca la composición y abundancia de las especies, los cambios temporales en las comunidades y las relaciones entre las especies de la comunidad, por lo que algunas comunidades son útiles para determinar las condiciones de los ecosistemas y su calidad (Gray 1981). La diversidad ecológica consiste en la estimación probabilística de la complejidad y de la variedad presente en las comunidades bióticas (Washington 1984). Cairns Jr. (1977), la definió como una expresión numérica empleada para poder efectuar comparaciones ecológicas entre comunidades.

El Índice de Diversidad de Shannon-Wiener (1963) es una función de las proporciones poblacionales de las distintas especies que configuran la comunidad dentro de un ecosistema. La connotación de diversidad máxima de dicho índice, expresa las mayores proporciones poblacionales de las especies de una comunidad y la comparación de la diversidad calculada en cada localidad, contra este valor máximo factible de encontrar, señalan la condición ecológica actual de cada comunidad, respecto al tiempo y a las fluctuaciones que es capaz de soportar cada ecosistema en razón de su resiliencia (Pielou 1975).

ESTUDIOS DE CASO EN MÉXICO

Golfo de México, litoral de Tamaulipas

Ortiz-Gallarza *et al.* (2000) en el litoral de Altamira (Tamaulipas), próximo a la desembocadura del río Pánuco (22°18'36"-22°22'11"N; 97°46'33"-97°50'08"O), estudiaron las comunidades de fitoplancton, zooplancton y bentos en tres períodos climáticos: —estiaje, lluvias y nortes—, junto con la caracterización físico-química, sedimentológica y de los principales contaminantes (metales pesados, grasas y aceites, hidrocarburos, fenoles) contenidos en las descargas industriales en la columna de agua -a cinco niveles de profundidad- y el sedimento. Entre los efectos de los contaminantes de origen industrial sobre los organismos analizados se destacan a continuación los siguientes:

- Fitoplancton. Los pigmentos fotosintéticos, el índice de Margalef y la productividad orgánica primaria, registraron la influencia de las variaciones estacionales de las corrientes costeras y de la descarga industrial en el litoral de Altamira, Tamaulipas. En las estaciones de muestreo más influidas por la descarga industrial, por la cercanía y los flujos predominantes, se registraron bajos valores de estos tres estimadores de la comunidad fitoplanctónica y alto contenido de feofitinas, evidenciando la degradación de las clorofilas debido a la toxicidad. La comunidad del fitoplancton resultó ser un buen bioindicador de impacto regional.
- Zooplancton. Esta comunidad estuvo influida por el patrón estacional de circulación de las corrientes. La densidad y la biomasa mostraron decrementos notorios entre el período de estiaje y el de nortes; los valores más bajos se presentaron en las estaciones de muestreo más cercanas a las descargas industriales. La comunidad del zooplancton también constituyó un buen bioindicador de impacto regional.
- Bentos. La poliquetofauna se vio afectada por los vertimientos de las aguas residuales industriales, con una zona continua sin vida macrofaunal sobre el sitio más impactado. La diversidad y abundancia de éstos se incrementaron con el gradiente de la distancia desde las descargas principales. También se vieron reflejadas las variaciones propias de los períodos climáticos al estimar el índice trófico de la infauna, que reflejó una mayor contaminación, más extendida durante el estiaje, que en lluvias y nortes. Solo se encontraron seis especies de moluscos en el litoral de Altamira: *Arca zebra*, *Oliva sayana*, *Pteria colymbus*, *Polinices duplicatus*, *Spondylus ictericus* y *Splengeria rostrata*. Adicionalmente, se encontró más alterada la composición, abundancia y distribución de la malacofauna, lo cual indica una mayor sensibilidad a la contaminación industrial por parte de los moluscos, en comparación con los poliquetos.

Estos autores emplearon ejemplares de la comunidad bentónica como centinelas de las concentraciones de metales traza presentes en un gradiente de distancia desde un efluente industrial. *Oliva sayana* registró hasta 1.116 µg/g de hierro en el período de lluvias, mientras *Polinices duplicatus* alcanzó 2.016 µg/g y *Spondylus ictericus* 954 µg/g en base peso húmedo durante el período de los nortes.

Los factores de acumulación de metales pesados en sedimentos con referencia a los organismos fueron mayores para hierro y manganeso, seguidos

de Aluminio, Vanadio y Cromo. El orden de los factores de acumulación de metales pesados fue 1) sedimento, 2) organismos, y 3) columna de agua. Resultante de este estudio fue la determinación del impacto presente y de las afectaciones a la fauna a partir de las descargas industriales. A partir de los resultados fue posible emitir recomendaciones respecto al tren de tratamiento más apropiado para eliminar los metales pesados de las descargas antes de ser depuestas al litoral norte del Golfo de México, con el fin de reducir las afectaciones tanto al ambiente como a otras actividades socioeconómicas como la pesca, la acuicultura, los servicios turísticos y mejorar la salud de las poblaciones humanas asentadas en el litoral de Altamira, Tamaulipas y sitios circunvecinos.

GOLFO DE CALIFORNIA, LITORAL DE SONORA

Como consecuencia de los excedentes de materia orgánica en la Bahía de Guaymas, Sonora (27°54'-27°59'N; 110°48'-110°55'O), se destacaron por su abundancia y frecuencia de aparición espacio-temporal las siguientes especies de la clase Gastropoda: *Caecum californicum*, *Acteocina carinata*, *Alabina effusa*, *Turbonilla (Stryoturbonilla) stylina*, *Dendropoma lituella* y *Turritella nodulosa* y de la clase Bivalvia: *Corbula (Caryocorbula) nuciformis*, *Chione (Chionopsis) gnidia*, *Nuculana (Saccella) impar*, *Corbula (C.) marmorata*, *Tellina (Angulus) subtrigona* y *Corbula (C.) nasuta*. Por el efecto de los dragados recientes, la mayoría de los ejemplares colectados correspondieron a los estadios protoconcha y juvenil, de especies en estadio adulto registradas por Shasky y Campbell (1964), Dushane y Poorman (1967) y Pérez-Rodríguez (1974), además de especies de micromoluscos, cuya distribución corresponde al litoral Pacífico y al Golfo de California (Ortiz-Gallarza 2001).

La zonación de las comunidades coincidió con la de los parámetros físico-químicos. La bahía propiamente dicha (Zona I), fue la más afectada con las descargas contaminantes, con velocidad de la corriente promedio de 0,33 cm/s, índice de calidad del agua (ICA) de 0,047 a 0,682 unidades ICA, índice de fineza promedio de los sedimentos (IFS) de 12,5 unidades IFS, a la vez registraron riquezas, abundancias y diversidades bajas y condiciones azoicas. El área de la laguna (Zona II) fue de una contaminación intermedia por menos descargas, con velocidad de la corriente promedio de 1,35 cm/s, ICA de 0,57 a 0,68 unidades ICA, fineza promedio de los sedimentos de 12,47 unidades IFS, con riquezas, abundancias y diversidades intermedias. El área más oceánica (Zona III) fue ligeramente contaminada por las descargas, con velocidad de la

corriente promedio de 3,33 cm/s, ICA de 0,57 a 0,74 unidades ICA, fineza promedio de los sedimentos de 7,98 unidades IFS, así como riquezas, abundancias y diversidades relativamente mayores (Figura 2) (Ortiz-Gallarza 2001).

Con estudios bénticos consecutivos (Shasky y Campbell 1964; Dushane y Poorman 1967; Pérez-Rodríguez 1974; SEDEMAR 1990 y 1991; IMP 1998) fue posible reconstruir los rasgos predominantes de la estructura de la comunidad bentónica en la Bahía de Guaymas, la cual sufrió modificaciones importantes a lo largo de casi cinco décadas (Figura 3).

Durante el periodo de mayor impacto por el gran volumen de residuos generados por la descarga municipal y por los desperdicios de la industria pesquera entre 1975 y 1986 se indujo la proliferación excesiva de especies de poliquetos de las Familias Chaetopteridae y Onuphidae, dada la notable cantidad de estructuras quitinosas y fragmentos de concha encontrados en los estudios posteriores (Ortiz-Gallarza 2001).

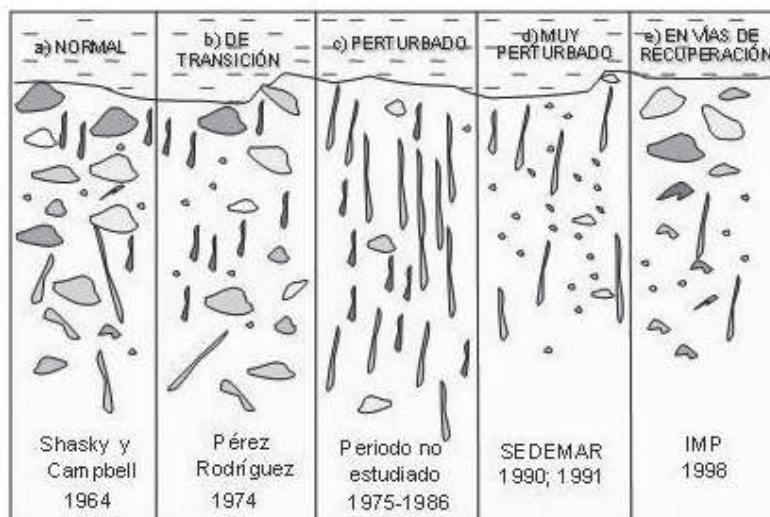
MAR CARIBE DE MÉXICO, BAHÍA DE CHETUMAL

Llanes-Baeza y González (2002) efectuaron dos campañas de recolección de organismos sésiles en el sustrato rocoso de la Bahía de Chetumal en cinco localidades durante los períodos climáticos de estiaje (mayo) y lluvias (octubre).

Figura 2. Croquis de la zonación en la Bahía de Guaymas (Sonora), con base en la calidad ambiental (Ortiz-Gallarza 2001).



Figura 3. Modelo sucesional de la fauna béntica de la Bahía de Guaymas, Sonora, 1967-1998 (Ortiz-Gallarza 2001).



Obtuvieron 3 445 mejillones de los cuales 2 466 correspondieron a la especie *Mytilopsis sallei* y 979 a *Brachidontes exustus*. *Mytilopsis sallei* se presentó en todas las estaciones y su abundancia disminuyó respecto a la cercanía a la zona urbana, mientras que *B. exustus* no se encontró en la localidad más urbanizada, y su abundancia aumentó hacia las estaciones más alejadas a la ciudad. Esta información corresponde a la línea base para considerar el uso de éstos mitílidos como especies bioindicadoras para el monitoreo de la región sureste de México y así controlar las condiciones de contaminación y detectar los cambios derivados del cambio climático global. En los Estados Unidos de América se desarrolló el programa nacional denominado *The Mussel Watch* (Kimbrough *et al.* 2008) a partir de la selección de especies de mejillón empleadas hasta la actualidad como especies centinelas y biomonitoras para establecer las pautas del manejo sustentable de los ecosistemas marinos, los mecanismos de control de la seguridad e inocuidad de los alimentos marinos (Arkansas-Oklahoma Compact 2003) y la restauración, protección y conservación de las condiciones ecológicas adecuadas o ambientalmente sanas.

DISCUSIÓN

El estudio del bentos es de suma importancia para entender los cambios sobre clima, productividad, pesquerías y contaminación, por ser una comunidad circunscrita al fondo marino de movilidad restringida, ya que a partir de comunidades bentónicas marinas ha sido posible encontrar especies indicadoras de ecosistemas alterados (Ortiz-Gallarza 2000, 2001). Estas comunidades están constituidas por todas aquellas especies que viven en relación íntima con el sedimento (Vegas 1980) y muchas de las adaptaciones morfológicas y fisiológicas de los organismos bentónicos dependen de las propiedades de los sedimentos (Holme y McIntyre 1970). Debido a la forma de vida de estos organismos, el efecto que generan sobre el sustrato al cual se asocian, es muy importante, ya que mezclan y transportan las partículas de sedimento, el agua intersticial y los gases disueltos, alterando los sedimentos (Vegas 1980).

Los organismos bentónicos poseen una estrecha dependencia del sitio en que habitan y dado que en los sedimentos son atrapados y almacenados temporalmente muchos contaminantes, la respuesta del bentos ante las perturbaciones es más fácil de asignar a un agente causal concreto. Entonces el bentos puede ser considerado como una agrupación de elementos integradores de la calidad del agua (Salazar-Vallejo 1991) ideal para seleccionar especies bioindicadoras, especialmente moluscos bivalvos y anélidos poliquetos.

En los ecosistemas lóticos los bioindicadores más adecuados son el perifiton y los macroinvertebrados bentónicos, además de los peces. Los índices de integridad biótica calculados a partir de la diversidad dentro de los grupos tróficos son una medida práctica del grado de salud ambiental que se encuentra presente en los ecosistemas acuáticos (Li *et al.* 2010). El uso de los insectos como bioindicadores de las condiciones ambientales está muy extendido y se aplica fundamentalmente a los ecosistemas dulceacuícolas (Springer 2006; La Gaceta Digital 2007; Stein *et al.* 2008; Maue y Springer 2008; Sermeño-Chicas *et al.* 2010).

Díaz-Castañeda y Reish (2009) analizaron la importancia del monitoreo periódico de los anélidos poliquetos como organismos bioindicadores del estado de la calidad ambiental de los ecosistemas marinos y estuarinos. Estos autores han estudiado diversos tipos de ecosistemas bentónicos salobres y marinos en muchos países del mundo y proporcionan pautas para establecer monitoreos periódicos de la comunidad bentónica en ambientes marinos y estuarinos, ya que sus cambios espaciales y temporales determinan el grado de salud que se presenta en aquellas localidades de interés. Marrón-Aguilar

(1975) y Solís-Weiss (1982a y 1982b) se encuentran entre los investigadores mexicanos pioneros en el estudio de las especies bioindicadoras en nuestro país, junto a Carreño-López (1982), Solís-Weiss y Carreño-López (1986), Reveles-González (1983), Escobar-Briones (1984), Ibáñez-Aguirre (Ibáñez Aguirre y Solís-Weiss 1986) y Díaz-Castañeda (1987), tal como lo ha sido la dinastía Reish en los Estados Unidos de América.

OTROS BIOINDICADORES POTENCIALES

Entre los peces, las especies planas de hábitos bentónicos revisten una importancia especial como bioindicadoras de los niveles de contaminantes en el compartimento sedimentario. Un claro ejemplo corresponde a tres especies de lenguados, la platija suela *Parophrys vetulus*, el lenguado de roca *Lepidopsetta bilineata*, y el lenguado estelar *Platichthys stellatus*, procedentes del estrecho de Puget, el cual se localiza en la costa noroccidental del Estado de Washington (Estados Unidos de América) (Stein y Collier 1992). En este caso se colectaron dichas especies en cinco localidades de muestreo, con la finalidad de medir un conjunto de variables químicas y bioquímicas sensibles a la exposición a concentraciones distintas de contaminantes. Los índices examinados fueron a) niveles de policlorobifenilos (PCB) en el hígado, b) compuestos aromáticos fluorescentes en la bilis, c) aril hidrocarburo-hidroxilasa y etoxi-resorufina O dietilasa hepáticas, d) GSH hepática total, y e) aductos de ADN hidrofóbicos xenobióticos en hígado, según lo medido mediante post-etiquetado con P³². Los resultados señalaron: 1) que todos los índices examinados podrían discriminar entre sitios que exhiben grados de contaminación química diferentes, 2) que las especies difirieron en el ámbito de respuesta de la mayoría de los índices medidos y 3) que el uso de los índices parece mejorar las estimaciones respecto a la exposición a los contaminantes y a la determinación de los efectos subletales. En México las diversas especies de peces planos podrían funcionar como centinelas, tal como las gaviotas se han empleado en algunos países (Gabrielsen *et al.* 1995; Cleemann *et al.* 2000; Braune *et al.* 2005; Vander-Pola *et al.* 2009; Verreault *et al.* 2010), habría que complementar las estimaciones sobre niveles de contaminación con el empleo de otros bioindicadores sésiles.

Una novedad científica en el ámbito de los bioindicadores de contaminación es la determinación del sexo que predomina en algunas poblaciones de moluscos. La presencia de algunas sustancias alóctonas a los ambientes acuáticos produce cambios de sexo. Entre los contaminantes en la columna de agua, el sedimento y los suelos, los compuestos organoestañosos o estañosos, ya han

sido estudiados en este sentido. Estos son hepatotóxicos y neurotóxicos, usados como biocidas en la agricultura e industria, y vertidos al ambiente como consecuencia de este uso. Uno de estos compuestos, el tributilestaño o TBT (por sus siglas en inglés) tiene efectos masculinizantes duraderos en las hembras de numerosas especies de caracoles marinos del orden Neogastropoda, por lo que se considera un bioindicador útil de la presencia de TBT en el ambiente (Bigatti *et al.* 2009). A este efecto masculinizante se le ha denominado imposex o pseudohermafroditismo. Estos efectos se han observado también en *Pomacea canaliculata*, *Nassarius vibex*, *Voluta ebraea*, *Nucella lapillus* y *Hexaplex trunculus*, entre otras especies de moluscos (Silva-Cardoso *et al.* 2010). Otros compuestos que promueven el efecto imposex son el cobre (Nias *et al.* 1993), el nonilfenol (Evans *et al.* 2000) y los bifenilos policlorados (PCB, como el Aroclor®) (Maran *et al.* 2006; Garaventa *et al.* 2008).

Con base en el análisis efectuado a lo largo de este capítulo se considera que los invertebrados bentónicos son entonces elementos clave en la vigilancia de la salud ambiental de los océanos. *Corbula*, *Acteocina*, *Odostomia*, *Mytilus*, *Crassostrea* y *Dreissena*, son algunos de los géneros de moluscos bivalvos que han sido seleccionados para los programas de biomonitoreo en diversas partes del mundo, así como las especies de poliquetos: *Capitella capitata*, *Scolelepis fuliginosa* y *Nereis caudata*.

CONCLUSIONES

Los organismos bioindicadores son una herramienta muy valiosa para complementar las estimaciones relativas a las condiciones abióticas del medio, puesto que integran la respuesta del compartimento biótico de los ecosistemas de interés ante los diversos tipos y grados de perturbación a los que éstos se encuentran sujetos en los gradientes espacio-temporales. Las alteraciones causadas por la contaminación, el dragado, la agricultura, la ganadería, la explotación forestal, la acuicultura, la pesca, la industria, el urbanismo, el turismo y muchas otras actividades económicas que inciden en el ambiente, modifican la estructura y función de los sistemas biológicos (Wilhm 1975; INE 1997). Los cambios observados, específicamente dentro de las comunidades bióticas, enfatizan la necesidad de efectuar un monitoreo ambiental continuo en los sitios cercanos a las áreas de mayor influencia antrópica, para poder determinar dichas alteraciones y aplicar oportunamente las medidas preventivas, de restauración y remediación para la conservación de la salud ambiental de dichos ecosistemas.

AGRADECIMIENTOS

La información presentada en los estudios de caso del litoral de Altamira (Tamaulipas) y la Bahía de Guaymas (Sonora), fue producida en la Dirección General de Oceanografía Naval por personal de la Dirección de Prevención de la Contaminación Marina, el Centro de Datos y Servicios Oceánicos y la Estación de Investigación Oceanográfica de Tampico; con apoyo de la Planta de Pigmentos y Productos Químicos de Dupont en Altamira (Tamaulipas), el Centro Científico de la International Business Machines Corporation [IBM] en México y el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey-Campus San Carlos (Sonora). Los Almirantes Gilberto López Lira (q.e.p.d.) y Luis Daniel Salastorrea Rengel (q.e.p.d.), proporcionaron las facilidades y autorizaron la publicación de los resultados institucionales; el Ph.D. Almirante retirado Alberto Mariano Vázquez De La Cerda y los Dres. Guadalupe de la Lanza Espino (Universidad Nacional Autónoma de México) y Roberto Pérez Rodríguez (Universidad Autónoma Metropolitana-Campus Xochimilco), aportaron observaciones muy valiosas acerca de los estudios de caso de los litorales del Golfo de México y del Golfo de California, respectivamente. Agradecemos a los Editores de este libro, Dr. César Alberto González Zuarth, Dra. Adriana Vallarino, Mtro. Antonio Low Pfeng y Dr. Juan Carlos Pérez y a dos revisores anónimos, el tiempo y el esfuerzo que le dedicaron a mejorar las versiones previas de nuestro manuscrito. Este trabajo es resultado de la labor en Red temática CONACYT en Áreas Naturales Protegidas (RENANP).

LITERATURA CITADA

- Arkansas-Oklahoma Compact. 2003. Water Quality Monitoring Report Illinois River Basin. CY 2002. http://www.owrb.ok.gov/studies/reports/reports_pdf/ArkOKCompactRpt03.pdf.
- Bellan, G. 1967. Pollution et peuplements benthiques sur substrat meuble dans la région de Marseille. Deuxième partie. L'ensemble Portuaire Marseillais. *Revue Internationale d' Oceanographie Médicte* **8**: 51-95.
- Bigatti, G., M. A. Primost, M. Cledón, A. Averbuj, N. Theobald, W. Gerwinski, W. Arntz, W. Morricon, I. Elba y P. E. Penchaszadeh. 2009. Biomonitoring of TBT contamination and imposex incidence along 4,700 km of Argentinean shoreline (SW Atlantic: From 38°S to 54°S). *Marine Pollution Bulletin* **58**: 695-701.
- Blegvad, H. 1932. Investigations of the bottom fauna at outfalls of drains in the Sound. *Reports of the Danish Biological Station* **37**: 1-20.

- Braune, B. M., P. M. Outridge, A. T. Fisk, D. C. G. Muir, P. A. Helm, K. Hobbs, P. F. Hoekstra, Z. A. Kuzyk, M. Kwan, R. J. Letcher, W. L. Lockhart, R. J. Norstrom, G. A. Stern y I. Stirling. 2005. Persistent organic pollutants and mercury in marine biota of the Canadian Arctic: An overview of spatial and temporal trends. *Science of the Total Environment* **351-352**: 4-56.
- Cairns Jr., J. 1977. Quantification of Biological Integrity. Páginas 171-187 en R.F. Ballentine y L. J. Guarraia, editores. *The Integrity of Water*. EPA Publications. New York.
- Carreño-López, S. 1982. Algunos aspectos ecológicos de la macrofauna bentónica de las praderas de *Thalassia testudinum* de la Laguna de Términos, Campeche, Tesis Profesional. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cleemann, M., F. Riget, G. B. Paulsen y R. Dietz. 2000. Organochlorines in Greenland Glaucous gulls (*Larus hyperboreus*) and Icelandic gulls (*Larus glaucoides*). *Science of the Total Environment* **245**: 117-130.
- Díaz-Castañeda, V. M. 1987. Quelques données préliminaires sur la colonisation benthique de substrats meubles pollués en mer du nord (Port de Dunkerque, France). *Journal de Recherche Oceanographique* **12**: 21-26.
- Díaz-Castañeda, V. y D. J. Reish. 2009. Polychaetes in environmental studies. Páginas 205-227 en D. H. Shain, editor. *Annelids as model systems in the biological sciences*. Wiley-Blackwell. John Wiley & Sons, New Jersey.
- DIN 38410. 2004. German standard methods for the examination of water, waste water and sludge - Biological-ecological analysis of water (group M) - Part 1: Determination of the saprobic index in running waters (M 1).
- Dushane, H. y R. Poorman. 1967. A Checklist of mollusks for Guaymas, Sonora, México. *The Veliger* **9**: 413-440.
- Escobar-Briones, E. G. 1984. Comunidades de macroinvertebrados bentónicos en la Laguna de Términos, Campeche: Composición y estructura. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Evans, S. M., E. Kerrigan y N. Palmer. 2000. Causes of Imposex in the Dogwhelk *Nucella lapillus* (L.) and its use as a biological indicator of Tributyltin contamination. *Marine Pollution Bulletin* **40**: 212-219.
- Filice, F. P. 1954a. An ecological survey of the Castro Creek area in San Pablo Bay. *The Wasmann Journal of Biology* **12**: 1-24.
- Filice, F. P. 1954b. A study of some factors affecting the bottom fauna of a portion of the San Francisco Bay Estuary. *The Wasmann Journal of Biology* **12**: 257-292.

- Filice, F. P. 1958. Invertebrates from the estuarine portion of San Francisco Bay and some factors influencing their distributions. *The Wasmann Journal of Biology* **16**: 159-211.
- Filice, F. P. 1959. The effect of wastes on the distribution of bottom invertebrates in San Francisco Bay estuary. *The Wasmann Journal of Biology* **17**: 1-17.
- Forbes, A. y R. E. Richardson. 1913. Studies on the biology of the upper Illinois River. *The Bulletin of the Illinois Natural History Survey* **9**: 481-574.
- Fujiya, M. 1961. Effects of kraft pulp mill wastes on fish. *Journal of the Water Pollution Control Federation* **33**: 968-977.
- Fujiya, M. 1965. Physiological estimation on the effects of pollutants upon aquatic organisms. *Advances in Water Pollution Research* **2**: 315-331.
- Gabrielsen, G. W., J. U. Skaare, A. Polder y V. Bakken. 1995. Chlorinated hydrocarbons in glaucous gull (*Larus hyperboreus*). *Science of the Total Environment* **160-161**: 337-346.
- Garaventa, F., E. Centanni, S. Fiorini, S. Noventa, A. Terlizzi, M. Faimali y B. Pavoni. 2008. New implications in the use of imposex as a suitable tool for tributyltin contamination: experimental induction in *Hexaplex trunculus* (Gastropoda, Muricidae) with different stressors. *Cell Biology and Toxicology* **24**: 563-571.
- Gilet, R. 1960. Water pollution in Marseilles and its relation with flora and fauna. Páginas 39-56 en E.A. Pearson, editor. *Waste Disposal in the Marine Environment*. Pergamon Press, London.
- Gray, J. S. 1981. *The Ecology of Marine Sediments. An Introduction to the structure and function of benthic communities*. Cambridge University Press.
- Holme, N. A. y A. D. McIntyre. 1970. *Methods of the study of Marine Benthos*. J. B. P. Handbook No. 16. International Biological Programme. Blackwell Scientific Publications. Oxford. Edimburgh.
- Ibáñez-Aguirre, A. L. y V. Solís-Weiss. 1986. Anélidos Poliquetos de las praderas de *Thalassia testudinum* del Noroeste de la Laguna de Términos, Campeche, México. *Revista de Biología Tropical* **34**: 35-47.
- IMP (Instituto Mexicano del Petróleo). 1998. Creación de Marcos de Referencia Ambientales para los dragados de mantenimiento en terminales marítimas de PEMEX-Refinación. Terminal Marítima de Guaymas, Sonora. DOC-8040. Instituto Mexicano del Petróleo. Informe final.
- INE (Instituto Nacional de Ecología). 1997. Laguna de Términos: un modelo de Desarrollo Sustentable. Programa de Manejo y Ordenamiento Ecológico del Área de Protección de Flora y Fauna "Laguna de Términos". Instituto Nacional de Ecología. Dirección General de Ordenamiento Ecológico e Impacto Ambiental.

- Kimbrough, K. L., W. E. Johnson, G. G. Lauenstein, J. D. Christensen y D. A. Apeti. 2008. An assessment of two decades of contaminant monitoring in the Nation's Coastal Zone. Silver Spring, MD. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS 74.
- Kolkwitz, R. y M. Marsson. 1908. Ökologie der pflanzlichen Saprobien. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft* **26**: 505-519.
- La Gaceta Digital. 2007. Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales. Presidencia de la República, Ministerio de Ambiente y Energía y Ministerio de Salud. Diario Oficial.
- Li, L., B. Zheng y L. Liu. 2010. Biomonitoring and bioindicators used for river ecosystems: Definitions, approaches and trends. *Procedia Environmental Sciences* **2**: 1510-1524.
- Llanes-Baeza, C.A. y N. E. González. 2002. Evaluación de los mejillones *Mytilopsis sallei* (Reclúz) y *Brachidontes exustus* (Linné) como bioindicadores de materia orgánica en la Bahía de Chetumal, México. *Universidad y Ciencia* **18**: 29-41.
- Maran, C., E. Centanni, F. Pellizzato y B. Pavoni. 2006. Organochlorine compounds (polychlorinated biphenyls and pesticides) and polycyclic aromatic hydrocarbons in populations of *Hexaplex trunculus* affected by imposex in the Lagoon of Venice, Italy. *Environmental Toxicology and Chemistry* **25**: 486-495.
- Marrón-Aguilar, M. A. 1975. Estudio cuantitativo y sistemático de los poliquetos (Annelida Polychaeta) bentónicos de la Laguna de Términos, Campeche, México. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Maue, T. y M. Springer. 2008. Effect of methodology and sampling time on the taxa richness of aquatic macroinvertebrates and subsequent changes in the water quality index from three tropical rivers, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* **56** (supl 4): 257-271.
- Nias, D. J., S. C. McKillup y K. S. Edyvane. 1993. Imposex in *Lepsiella vinosa* from Southern Australia. *Marine Pollution Bulletin* **26**: 380-384.
- Ortiz-Gallarza, S. M. 2001. Fauna béntica de la bahía de Guaymas, Son.; indicadora de contaminación de origen orgánico. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Ortiz-Gallarza, S. M. 2007. Sustentabilidad ecológica, salud ambiental y contaminación en ecosistemas acuáticos. Tesis Doctor en Ciencias, Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales, Orientación en Ecología. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.

- Ortiz Gallarza, S. M., A. Hernández Llamas y A. Ortega Rubio. 2005. Diseño, construcción y aplicabilidad del Índice de Evaluación Ambiental de Ecosistemas Acuáticos (IEAEA). *Interciencia* **30**: 126-133.
- Ortiz-Gallarza, S. M., A. Gil-Zurita, M. R. García-Hernández, S. Vergara-Méndez y M. L. García-Leal. 2000. Estudio prototipo de caracterización del impacto que produce el difusor de una descarga industrial sobre el medio marino. *Ingeniería, Investigación y Tecnología* **I-4**: 141-156.
- Pérez-Rodríguez, R. 1974. Estudio poblacional de moluscos litorales relacionados a problemas de contaminación en la Bahía de Guaymas, Son. Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo. Secretaría de Marina, México.
- Pérez, D., L. Serrano Cervantes, J. Miguel Sermeño Chicas, M. Springer, M. R. Paniagua Cienfuegos, M. Á. Hernández Martínez, A. W. Rivas Flores, A. J. Monterrosa Urías, B. L. Bonilla de Torres, F. A. Carranza Estrada, J. M. Flores Tensos, C. de los Ángeles González, P. E. Gutiérrez Fonseca, R. A. Menjívar Rosa, A.Y. Arias de Linares, J. M. Chávez Sifontes, S. M. Muñoz Aguillón y N. A. López Turcios. 2010. Clasificación de la calidad del agua de los principales ríos de El Salvador y su relación con las poblaciones de macroinvertebrados acuáticos. En: *Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos*. UES-OEA. Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador.
- Pielou, E. C. 1975. *Ecological Diversity*. John C. Wiley and Sons.
- Reish, D. J. 1959. An ecological study of pollution in Los Angeles-Long Beach Harbors, California. *Occasional Papers of the Allan Hancock Foundation* **22**: 1-119.
- Reish, D. J. 1966. Relationship of polychaetes to varying dissolved oxygen concentrations. *Proceedings of the Third International Conference Water Pollution Research Munich, Section 3, paper* **10**: 10.
- Reish, D. J. y J. L. Barnard. 1960. Field toxicity tests in marine waters utilizing the polychaetous annelid *Capitella capitata* (Fabricius). *Pacific Naturalist* **1**: 1-8.
- Revels-González, M. B. 1983. Contribución al estudio de los Anélidos Poliquetos asociados a las praderas de *Thalassia testudinum* en la porción este sur de Laguna de Términos, Campeche. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Salazar-Vallejo, S. 1991. Contaminación Marina. Centro de Investigaciones de Quintana Roo. Fondo de publicaciones y ediciones. Gobierno de Quintana Roo. México.
- SEDEMAR. 1990. Estudio de la Calidad del Agua del Puerto de Guaymas, Sonora y Proximidades. Dir. Gral. de Oceanografía Naval/DPCM.

- SEDEMAR. 1991. Estudio de la Calidad del Agua del Puerto de Guaymas, Sonora y Proximidades. Reporte Técnico/S. M. VI Zona Naval Militar.
- Sermeño-Chicas, J. M., L. Serrano-Cervantes, M. Springer, M. R. Paniagua Cienfuegos, D. Pérez, A. W. Rivas Flores, R. A. Menjívar Rosa, B. L. Bonilla de Torres, F. A. Carranza Estrada, J. M. Flores Tensos C. A. González, P. Gutiérrez-Fonseca M. A. Hernández Martínez, A. J. Monterrosa Urias y A. Y. Linares. 2010. Determinación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando invertebrados acuáticos: índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010). Informe Técnico. Editorial Universitaria, San Salvador 2010. Determinación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando invertebrados acuáticos: índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010). Informe Técnico. Editorial Universitaria UES, San Salvador.
- Shannon, D. E. y N. Wiener. 1963. *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urban.
- Shasky, D. y B. Campbell. 1964. New and other wise interesting species of Mollusks from Guaymas, Son, Mex. *The Veliger* 7: 114-120.
- Silva-Cardoso, R., C. H. Soares Caetano y T. M. Barbosa Cabrini. 2010. Imposex in *Nassarius vibex*: relationship with harbor and yachting activities at five beaches in Sepetiba Bay, RJ, Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 5: 540-545.
- Solís-Weiss, V. 1982a. Estudio de las poblaciones macrobentónicas en áreas contaminadas de la Bahía de Marsella (Francia). *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* 9: 1-18.
- Solís-Weiss, V. 1982b. Aspectos ecológicos de la contaminación orgánica sobre el macrobentos de las cuencas de sedimentación en la Bahía de Marsella (Francia). *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* 9: 19-44.
- Solís-Weiss, V. y S. Carreño-López. 1986. Estudio prospectivo de la macrofauna béntica asociada a las praderas de *Thalassia testudinum* en la Laguna de Términos, Campeche. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México* 13: 201-216.
- Springer, M. 2006. Clave taxonómica para larvas de las familias del orden Trichoptera (Insecta) de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 54: 273-286.
- Stein, J. E. y T. K. Collier. 1992. Bioindicators of contaminant exposure and sublethal effects: Studies with benthic fish in Puget Sound, Washington. *Environmental Toxicology and Chemistry* 11: 701-714.
- Stein, H., M. Springer y B. Kohlmann. 2008. Comparison of two sampling methods for biomonitoring using aquatic macroinvertebrates in the Dos Novillos River, Costa Rica. *Ecological Engineering* 34: 267-275.

- Universidad de Sevilla. 2007. Geografía del Mar en la Unión Europea y los Estados Unidos. Conceptos, Datos, Recursos y Conflictos/Gestión. http://ocw.us.es/geografia-humana/geografia-del-mar/contenidos/gestion/page_02.htm
- Vegas, V. M. 1980. Introducción a la Ecología del Bentos Marino. Secretaría General, Organización de Estados Americanos. Washington, D. C.
- Vander Pola, S. S., P. R. Beckera, M. B. Ellisora, A. J. Moorsa, R. S. Pugha, y, D. G. Roseneaub. 2009. Monitoring organic contaminants in eggs of glaucous and glaucous-winged gulls (*Larus hyperboreus* and *Larus glaucescens*) from Alaska. *Environmental Pollution* **157**: 755-762.
- Verreault, J., G. W. Gabrielsen y J. O. Bustnes. 2010. The Svalbard glaucous gull as bioindicator species in the european arctic: insight from 35 years of contaminants research. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* **205**: 77-116.
- Washington, H. G. 1984. Diversity, biotic and similarity indices. A review with special relevance to aquatic ecosystems. *Water Research* **18**: 653-694.
- Wilhelmi, J. 1916: Übersicht über die biologische Beurteilung des Wassers. Sitzungsber. Der Gesellschaft Naturforschender Freunde zu Berlin **9**: 297-306.
- Wilhm, J. L. 1975. Biological Indicators of pollution. Páginas 375-402 en B.A. Whitton, editor. *River Ecology. Studies in ecology*. Volumen 2. University of California Press. Berkeley, California.

2001. The project VALIMAR (VALIDation of bioMARKers for the assessment of small stream pollution): objectives, experimental design, summary of results, and recommendations for the application of biomarkers in risk assessment. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery* **8**: 161–178.

UNEP. 2000. Mining and sustainable development II: challenges and perspectives. United Nations Environment Programme Division of Technology, Industry and Economics.

Revisores

Peer-Reviewers

Nuestro más profundo agradecimiento a todos y cada uno de los revisores por sus valiosos comentarios encaminados a mejorar la calidad académica del presente libro.

ABEL SENTÍES GRANADOS

Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, México, D.F.

ALEJANDRO LÓPEZ CORTÉS

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, IPN, La Paz, B.C.S., México

ALEJANDRO YÁÑEZ ARANCIBIA

Instituto de Ecología A. C., Xalapa, Ver., México

ALFREDO LAGUARDA FIGUERAS

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México, D.F.

ALFREDO ORTEGA RUBIO

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, IPN, La Paz, B.C.S., México

ANA ELENA ESCALANTE HERNÁNDEZ

Instituto de Ecología, UNAM, México, D.F.

ANNA HORVÁTH

El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal, Chis., México

ANNA TRAVESET VILAGINES

Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados, España

ANNE DAMON

El Colegio de la Frontera Sur, Tapachula, Chis., México

ANGELINA MARTÍNEZ YRIZAR

Instituto de Ecología, UNAM, Hermosillo, Son., México

ANTONIO GÓMEZ SAL

Universidad de Alcalá, Madrid, España

ANTONIO JUAN GARCÍA FERNÁNDEZ

Universidad de Murcia, Murcia, España

ANTONIO M. LOW PFENG

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México, D.F.

ARTURO TRIPP QUEZADA

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, B.C.S., México

BEATRIZ TORO RESTREPO

Universidad de Caldas, Manizales, Colombia

CESAR FLORES COTO

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México, D.F.

CIPRIANO GARCÍA GUTIÉRREZ

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional,
Guasave, Sin., México

DAVID GONZÁLEZ SOLÍS

El Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, Q. Roo, México

EDMUNDO DÍAZ PARDO

Universidad Autónoma de Querétaro, Qro., México

EDUARDO CARRILLO JIMÉNEZ

Universidad Nacional de Costa Rica, Costa Rica

EDUARDO SUÁREZ MORALES

El Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, Quintana Roo, México

EDUARDO VALLARINO

Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina

EVANGELINA PÉREZ SILVA

Instituto de Biología, UNAM, México, D.F.

FERNANDO DÍAZ BARRIGA
Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S.L.P., México

FERNANDO HERNÁNDEZ BAZ
Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver., México

FRANCISCO ALONSO SOLÍS MARÍN
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México, D.F.

GABRIELA PARRA OLEA
Instituto de Biología, UNAM, México, D.F.

GISELA HECKEL
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C., México

GORGONIO RUÍZ CAMPOS
Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., México

GUILLERMO AGUILAR OSORIO
Facultad de Química, UNAM, D.F., México

GUILLERMO FERNÁNDEZ ACEVES
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Sinaloa, México

GUILLERMO SALGADO MALDONADO
Instituto de Biología, UNAM, México, D.F.

GUADALUPE DE LA LANZA ESPINO
Instituto de Biología, UNAM, México, D.F.

HÉCTOR HUGO NAVA BRAVO
Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jal., México

IRERI SUAZO ORTUÑO
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich., México

JAIME ENRIQUE GARCÍA GONZÁLEZ
Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

JOAN NAVARRO
Institut de Ciències del Mar, Barcelona, Espanya

JOSÉ ANTONIO RUIZ MARTÍNEZ
Universidad de Córdoba, Córdoba, España

JOSÉ G. PALACIOS VARGAS
Facultad de Ciencias, UNAM, D.F., México

JOSÉ JESÚS VARGAS HERNÁNDEZ
Colegio de Posgraduados, Texcoco, Estado de México, México

JOSÉ LUIS ANDRADE TORRES
Centro de Investigación Científica de Yucatán, Mérida, Yucatán, México

JOSÉ LUIS NAVARRETE HEREDIA
Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jal., México

JORDAN GOLUBOV FIGUEROA
UAM, Xochimilco, México, D.F.

JOSÉ LUIS REYES CARRILLO
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México

JUAN FERNANDO MÁRQUEZ FARÍAS
Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Sin., México

JUAN JACOBO SCHMITTER SOTO
El Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, Quintana Roo, México

JUAN JOSÉ LUIS CARBALLO
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Mazatlán, Sinaloa, México

MANUEL FUENTES GARCÍA
Centro de Investigación del Cáncer (Universidad de Salamanca-CSIC), España

MARÍA DE LOS ÁNGELES HERRERA CAMPOS
Instituto de Biología, UNAM, México, D.F.

MARÍA DEL CÁRMEN BLÁZQUEZ MORENO
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, IPN, La Paz, B.C.S., México

MARÍA DEL CARMEN CUEVAS DÍAZ
Universidad Veracruzana, Veracruz, México

MARIA CHANTAL GENDRON
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, Baja California Sur, México

MARÍA DEL CORO ARIZMENDI
ENEP Iztacala, UNAM, México, D.F.

MARÍA EUGENIA VEGA CENDEJAS
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Mérida, Yucatán, México

MARÍA EVA HERNÁNDEZ PLAZA
Universidad de Córdoba, Córdoba, España

MARÍA LUISA JIMÉNEZ JIMÉNEZ
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, IPN, México

MARTÍN FEDERICO SOTO JIMÉNEZ
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Mazatlán, Sinaloa, México

MICHEL HENDRICKX RENERS
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Mazatlán, Sinaloa, México

MIGUEL ÁNGEL MORÓN RÍOS
Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Veracruz, México

MOHAMMAD BADI
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chih., México

MÓNICA LARA UC
Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B.C.S., México

MONIKA SPRINGER
Universidad de Costa Rica, Costa Rica

NOÉ VELÁZQUEZ ROSAS
Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver., México

NURIA FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ
Universidade da Coruña, Vigo, España

OSCAR EFRAÍN HOLGUIN QUIÑONES
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Baja California Sur, La Paz, B.C.S., México

OSCAR SOSA NISHIZAKI
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada,
B.C., México

PAULA SUAREZ
Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela

RAFAEL REYNA HURTADO
El Colegio de la Frontera Sur, Campeche, Camp., México

RAFAEL RIOSMENA-RODRÍGUEZ
Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B.C.S., México

RAMIRO SARANDÓN
Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina

RAÚL ACOSTA RIVAS
Universitat de Barcelona, Barcelona, Espanya

RAÚL URIBE HERNÁNDEZ
Instituto Mexicano del Petróleo, D.F., México

RICARDO LÓPEZ WILCHIS
Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, D.F., México

RODOLFO NORIEGA TREJO
Centro de estudios de desarrollo sustentable y aprovechamiento de la vida silvestre,
Campeche, Camp., México

ROGEL VILLANUEVA GUTIÉRREZ
El colegio de la Frontera Sur, Chetumal, Q. Roo. México

SERGIO RAFAEL SILVESTRE CEVALLOS
Instituto de Geología, UNAM, México, D.F.

SILVIA EMILIA IBARRA OVANDO
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional,
La Paz, B.C.S., México

TERESA ÁLVAREZ LEGORRETA
El Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, Quintana Roo, México

VÍCTOR MANUEL COBOS GASCA
Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yuc., México

VÍCTOR MANUEL BANDALA
Instituto de Ecología A.C, Xalapa, Ver., México

VIVIANNE SOLÍS WOLFOWITZ
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Puerto Morelos, Quintana Roo, México

YANN HÉNAUT
El Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, Quintana Roo, México

YURI B. OKOLODKOV
Universidad Veracruzana, Veracruz, México

ZENÓN CANO SANTANA
Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F.

Autores

Authors

Lugar de trabajo y dirección electrónica de los autores del libro *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ecológico*.

ADRIANA VALLARINO
Instituto Tecnológico de Chiná
Chiná, Campeche, México
avallarinom@gmail.com

AÍDA JIMENA VELARDE-SALCEDO
Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C.
San Luis Potosí, San Luis Potosí, México
aida.velarde@ipicyt.edu.mx

ALF MELING
Universidad de Sonora
Hermosillo, Sonora, México
ameling@guayacan.uson.mx

ALFREDO ORTEGA-RUBIO
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
La Paz, Baja California Sur, México
aortega@cibnor.mx

ANA CAROLINA RUIZ-FERNÁNDEZ
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México
Mazatlán, Sinaloa, México
caro@ola.icmyl.unam.mx

ANA PAULINA BARBA DE LA ROSA
Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C.
San Luis Potosí, San Luis Potosí, México
apbarba@ipicyt.edu.mx

ANGÉLICA MARÍA BARRERA GARCÍA
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas
Instituto Politécnico Nacional
La Paz, Baja California Sur, México
angelicabg84@gmail.com

ARMANDO LUIS MARTÍNEZ
Museo de Zoología
Facultad de Ciencias
Universidad Nacional Autónoma de México
México, D. F., México
alm@ciencias.unam.mx

BERTHA E. LAVANIEGOS ESPEJO
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada
Ensenada, Baja California, México
berlav@cicese.mx

CARLOS JULIO POLO SILVA
Oficina de Generación del Conocimiento y la Información
Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca
Bogotá, Colombia
carlosjpolo@gmail.com

CARMEN POZO DE LA TIJERA
El Colegio de la Frontera Sur
Chetumal, Quintana Roo, México
cpozo@ecosur.mx

CÉSAR ALBERTO GONZÁLEZ ZUARTH
El Colegio de la Frontera Sur
San Francisco de Campeche, Campeche, México
cagonzal_z@yahoo.com

CÉSAR ILIZALITURRI-HERNÁNDEZ
Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
San Luis Potosí, San Luis Potosí, México
cesar.ilizaliturri@uaslp.mx

CRISTINA PANTI
Università di Siena
Siena, Italia
panti4@unisi.it

DANIEL ROBLEDO RAMÍREZ
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados
Instituto Politécnico Nacional
Mérida, Yucatán, México
robledo@mda.cinvestav.mx

DAVID ÁLVAREZ FERNÁNDEZ
Universidad de Oviedo
Oviedo, Asturias, España
dalvarezf@gmail.com

DEMIÁN HINOJOSA GARRO
Centro de Desarrollo Sustentable y de Aprovechamiento de la Vida Silvestre
Universidad Autónoma de Campeche
San Francisco de Campeche, Campeche, México
dhinojos@uacam.mx

DONAJI GONZÁLEZ MILLE
Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
San Luis Potosí, San Luis Potosí, México
donaji.gonzalez@uaslp.mx

EK DEL VAL DE GORTARI

Centro de Investigaciones en Ecosistemas
Universidad Nacional Autónoma de México
Morelia, Michoacán, México
ekdelval@cieco.unam.mx

FEDERICO PÁEZ-OSUNA

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México
Mazatlán, Sinaloa, México
paezos@ola.icmyl.unam.mx

FELIPE GALVÁN MAGAÑA

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas
Instituto Politécnico Nacional
La Paz, Baja California Sur, México
fgalvan@ipn.mx

FERNANDO DÍAZ-BARRIGA

Facultad de Medicina
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
San Luis Potosí, San Luis Potosí, México
fdia@uaslp.mx

GABRIELA CASTAÑO-MENESES

Facultad de Ciencias
Universidad Nacional Autónoma de México
Juriquilla, Querétaro, México
gabycast99@hotmail.com

GABRIELA CILIA-LÓPEZ

Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología
San Luis Potosí, San Luis Potosí, México
Gabriela.cilia@uaslp.mx

GEMMA ABISAY ORTIZ HARO

Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México
México, D.F., México
abisay@gmail.com

GERARDO CEBALLOS GONZÁLEZ
Instituto de Ecología
Universidad Nacional Autónoma de México
México, D.F., México
gceballo@ecologia.unam.mx

GERARDO PÉREZ PONCE DE LEÓN
Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México
México, D.F., México
ppdleon@ib.unam.mx

GRISelda BENÍTEZ BADILLO
Instituto de Ecología A. C.
Xalapa, Veracruz, México
griselda.benitez@inecol.mx

GUADALUPE DE LA LANZA ESPINO
Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México
México, D.F., México
gdlle@ib.unam.mx

GUILLERMO ESPINOSA REYES
Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
San Luis Potosí, San Luis Potosí, México
guillermo.espinosa@uaslp.mx

GUILLERMO IBARRA NÚÑEZ
El Colegio de la Frontera Sur
Tapachula, Chiapas, México
gibarra@ecosur.mx

HÉCTOR REYES BONILLA
Universidad Autónoma de Baja California Sur
La Paz, Baja California Sur, México
hreyes@uabcs.mx

HEIKE VIBRANS LINDEMANN

Colegio de Postgraduados
Texcoco, Estado de México, México
heike@colpos.mx

HELIOT ZARZA VILLANUEVA

Universidad Autónoma Metropolitana
Lerma, Estado de México, México
h.zarza@correo.ler.unam.mx

HUGO DELFÍN GONZÁLEZ

Universidad Autónoma de Yucatán
Mérida, Yucatán, México
gdelfin@uady.mx

ISELA LETICIA ÁLVAREZ BARAJAS

Universidad de Guadalajara
Zapopan, Jalisco, México
ialvarez@cucba.udg.mx

JUAN PATIÑO MARTÍNEZ

Estación Biológica Doñana
Sevilla, España
juanpatino@ebd.csic.es

JOAN-ALBERT SÁNCHEZ-CABEZA

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México
jasanchez@cmarl.unam.mx

JORGE LLORENTE BOUSQUETS

Facultad de Ciencias
Universidad Nacional Autónoma de México
México, D. F., México
ENANTIA@PRODIGY.NET.MX

JORGE MANUEL LÓPEZ CALDERÓN

Universidad Autónoma de Baja California Sur,
La Paz, Baja California Sur, México
jlopez@uabcs.mx

JORGE RICARDO RUELAS-INZUNZA

Instituto Tecnológico de Mazatlán
Mazatlán, Sinaloa, México
jrruelasi@itmazatlan.edu.mx

JORGE TORRE COSIO

Comunidad y Biodiversidad A.C
Guaymas, Sonora, México
jtorre@cobi.org.mx

JORGE URBÁN RAMÍREZ

Universidad Autónoma de Baja California Sur
La Paz, Baja California Sur, México
jurban@uabcs.mx

JOSÉ DE JESÚS MEJÍA SAAVEDRA

Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
San Luis Potosí, San Luis Potosí, México
jjesus@uaslp.mx

JOSÉ F. GONZÁLEZ-MAYA

Instituto de Ecología
Universidad Nacional Autónoma de México
México, D.F., México
fgonzalezmaya@gmail.com

JOSÉ JESÚS VARGAS-HERNÁNDEZ

Colegio de Postgraduados
Texcoco, Estado de México, México
vargashj@colpos.mx

JOSÉ G. GARCÍA-FRANCO

Instituto de Ecología A. C.
Xalapa, Veracruz, México
jose.garcia.franco@inecol.mx

JOSÉ GUADALUPE PALACIOS-VARGAS
Facultad de Ciencias
Universidad Nacional Autónoma de México
México, D.F., México
JGPV@HP.FCIENCIAS.UNAM.MX

JOSÉ LUIS ÁLVAREZ PALACIOS
Instituto de Ecología A. C.
Xalapa, Veracruz, México
luis.alvarez@inecol.mx

JOSÉ LUIS CARBALLO CENIZO
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México
Mazatlán, Sinaloa, México
jcarballo@ola.icmyl.unam.mx

JULIÁN EQUIHUA BENÍTEZ
Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad
México, D. F., México
jequihua@conabio.gob.mx

JUAN MANUEL LÓPEZ-VIVAS
Universidad Autónoma de Baja California Sur
La Paz, Baja California Sur, México
jmlopez@uabcs.mx

JUAN JACOBO SCHMITTER-SOTO
El Colegio de la Frontera Sur
Chetumal, Quintana Roo, México
jschmitt@ecosur.mx

KAREN LEVY GÁLVEZ
Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México
México, D.F., México
karen.levy.galvez@gmail.com

LAURA GUZMÁN-DÁVALOS
Universidad de Guadalajara
Guadalajara, Jalisco, México
lguzman@cucba.udg.mx

LETIZIA MARSILI
Università di Siena
Siena, Italia
marsilil@unisi.it

LUÍS E. EGUIARTE
Instituto de Ecología
Universidad Nacional Autónoma de México
México, D. F., México
fruns@servidor.unam.mx

LUIS R. VÍQUEZ-R
Instituto de Ecología
Universidad Nacional Autónoma de México
México, D. F., México
luisviquez@gmail.com

LUIS ZAMBRANO GONZÁLEZ
Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México
México, D.F., México
zambrano@ibiologia.unam.mx

LORENZO ROJAS-BRACHO
Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
Ensenada, Baja California, México
lrojas@cicese.mx

MARÍA CRISTINA FOSSI
Università di Siena
Siena, Italia
fossi@unisi.it

MARÍA DINORAH HERRERO PÉREZRUL
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas
Instituto Politécnico Nacional
La Paz, Baja California Sur, México
dherrero@ipn.mx

MARYSOL TRUJANO-ORTEGA
Museo de Zoología
Facultad de Ciencias
Universidad Nacional Autónoma de México
México, D. F., México
marysol_trujano@yahoo.com.mx

MELANIE KOLB
Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad
México, D. F., México
mkolb@conabio.gob.mx

MICHAEL SCHMIDT
Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad
México, D. F., México
michael.schmidt@conabio.gob.mx

MIGUEL ÁNGEL MORÓN RÍOS
Instituto de Ecología, A. C.
Xalapa, Veracruz, México
miguel.moron@inecol.mx

MIGUEL EQUIHUA ZAMORA
Instituto de Ecología A. C.
Xalapa, Veracruz, México
miguel.equihua@inecol.mx

MORENA AVITIA CAO ROMERO
Instituto de Ecología
Universidad Nacional Autónoma de México
México, D. F., México
morenit@gmail.com

NASHIELI GARCÍA ALANÍZ
Instituto de Ecología
Universidad Nacional Autónoma de México
México, D.F., México
ngalaniz@gmail.com

NOEMÍ SALAS-SUÁREZ
El Colegio de la Frontera Sur
Chetumal, Quintana Roo, México
nsalas@ecosur.mx

OCTAVIO PÉREZ-MAQUEO
Instituto de Ecología A. C.
Xalapa, Veracruz, México
octavio.maqueo@inecol.mx

OFELIA ESCOBAR SÁNCHEZ
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas
Instituto Politécnico Nacional
La Paz, Baja California Sur, México
escobars.ofelia@gmail.com

PATRICIA HERNÁNDEZ-DE LA ROSA
Colegio de Postgraduados
Texcoco, Estado de México, México
pathr@colpos.mx

PEDRO DÍAZ MAEDA
Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad
México, D. F., México
Pedro.diaz@conabio.gob.mx

RAFAEL RIOSMENA-RODRÍGUEZ
Universidad Autónoma de Baja California Sur,
La Paz, Baja California Sur, México
riosmena@uabcs.mx

RAQUEL MUÑIZ-SALAZAR
Universidad Autónoma de Baja California
Ensenada, Baja California, México
ramusal@uabc.edu.mx

RICARDO AYALA
Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México
México, D. F., México
rayala@ib.unam.mx

RODRIGO A. MEDELLÍN LEGORRETA
Instituto de Ecología
Universidad Nacional Autónoma de México
México, D.F., México
medellin@ecologia.unam.mx

SALVADOR HERNÁNDEZ PULIDO
Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México
México, D.F., México
fshp@ib.unam.mx

SILVIA MARGARITA ORTIZ-GALLARZA
Facultad de Ciencias
Universidad Autónoma de Baja California,
Ensenada, Baja California, México
ortiz.silvia@uabc.edu.mx

SILVIA PAJARES MORENO
Instituto de Ecología
Universidad Nacional Autónoma de México
México, D. F., México
silvipamo@gmail.com

SYLVIE LE BORGNE LE GALL
Universidad Autónoma Metropolitana
México, D.F., México
sylvielb@correo.cua.uam.mx

TARIN TOLEDO-ACEVES
Instituto de Ecología A. C.
Xalapa, Veracruz, México
tarin.toledo@inecol.mx

THORSTEN KRÖMER
Centro de Investigaciones Tropicales
Universidad Veracruzana
Xalapa, Veracruz, México
tkromer@uv.mx

VALERIA SOUZA SALDIVAR
Instituto de Ecología
Universidad Nacional Autónoma de México
México, D. F., México
souza@unam.mx

VIRGINIA MELÉNDEZ RAMÍREZ
Universidad Autónoma de Yucatán
Mérida, Yucatán, México
virmelen@uady.mx

YASSIR EDEN TORRES ROJAS
Instituto de Ecología, Pesquería y Oceanografía del Golfo de México
Universidad Autónoma de Campeche
San Francisco de Campeche, Campeche, México
yassirtorres@yahoo.com.mx

YOLANDA FREILE-PELEGRÍN
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados
Instituto Politécnico Nacional
Mérida, Yucatán, México
freile@mda.cinvestav.mx

Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental
se terminó de imprimir en diciembre de 2014, en los
talleres de S y G Editores, Cuapinol 52, Santo Domingo,
Coyoacán, México, D.F. La coordinación
editorial, el diseño de interiores y la formación
estuvieron a cargo de Raúl Marcó del Pont Lalli
El tiraje fue de 200 ejemplares

La contaminación ambiental, las especies exóticas invasoras y el cambio climático global entre otros, pueden alterar de manera severa la estabilidad de los ecosistemas y por ende a la biodiversidad que en ellos habita. En consecuencia, es imperativo identificar de manera temprana las señales que nos permitan impedir que dichos daños sean irremediables, ya que las consecuencias que implica la destrucción de los ecosistemas son incalculables. Por otro lado, su restauración o rehabilitación implica altos costos y es poco probable que se alcance el mismo estado inicial de los ecosistemas.

La sensibilidad mostrada por las especies indicadoras ante disturbios ambientales, cuantificados a través de las modificaciones de sus patrones conductuales, de distribución y abundancia, así como en sus alteraciones genéticas, bioquímicas, fisiológicas y morfológicas, han probado ser una herramienta confiable en la detección de disturbios ambientales de tan baja intensidad que no pueden ser detectados por otros medios.. Además, la información que pueden proveer los organismos bioindicadores es de suma utilidad para orientar las políticas públicas en materia de conservación y protección de los ecosistemas.

Te invitamos a conocer las ventajas y en algunos casos desventajas del uso de los organismos bioindicadores para evaluar distintos tipos de perturbaciones ambientales y las técnicas necesarias para hacerlo con éxito. En un futuro cercano, estas especies jugarán un papel primordial en la preservación de nuestros recursos naturales y dada nuestra íntima interdependencia, también determinarán en buena medida, nuestra propia existencia.



INECC
INSTITUTO NACIONAL
DE ECOLOGÍA
Y CAMBIO CLIMÁTICO