
EXPERIENCIAS DE MANEJO EN LA ZONA COSTERA DEL PACÍFICO: LA BAHÍA DE GUAYMAS, UN CASO ESPECÍFICO

*José Alfredo Arreola-Lizárraga¹, Gustavo Padilla-Arredondo¹
y Alfredo Ortega-Rubio²*

¹CIBNOR, S.C., Unidad Guaymas, ²CIBNOR, S.C. Unidad la Paz

25

CASOS DE
ESTUDIO



RESUMEN

Se presenta la experiencia de un proceso dirigido a controlar los vertimientos de nitrógeno y fósforo a la Bahía de Guaymas, Sonora, México ($27^{\circ} 51' - 58' N$ y $110^{\circ} 49' - 51' W$). El proceso fue impulsado por dependencias del gobierno federal en vinculación con un centro de investigación científica con el propósito de establecer una Declaratoria de Clasificación (DC) de la bahía que incluiría las metas de reducción de las cargas de nutrientes y los plazos de cumplimiento. Con base en su localización, características morfométricas y tipo de agua residual recibida se reconocieron cuatro cuerpos receptores: Guaymas, El Rancho, Empalme y El Paraje. En cada cuerpo receptor se determinaron los tiempos de residencia y volumen de mezcla, y se estimaron cargas de nutrientes, indicadores del estado trófico (producción primaria, nutrientes, clorofila "a"), flujos de nutrientes y reducción de las cargas de nutrientes para prevenir efectos ambientales adversos. Se observó que los sistemas más afectados por sobre-enriquecimiento de nutrientes fueron Guaymas (receptor de aguas residuales urbanas) y El Paraje (receptor de aguas residuales industriales), los cuales avanzaron de un estado oligotrófico-mesotrófico hasta estados eutrófico e hipertrófico, respectivamente. La experiencia mostró que las DC son una opción factible para otros cuerpos de agua costeros del país y se concluye que: (1) la iniciativa puede surgir de uno o varios actores de la sociedad, (2) el planteamiento claro del problema y las bases científicas son elementales, (3) las instituciones científicas juegan un papel clave, (3) la participación de la CNA es decisiva, y (4) la participación de dependencias de los tres niveles de gobierno es importante para fortalecer el proceso y hacer más expedita la emisión de la DC.

ABSTRACT

The chapter present our experience with a process directed at controlling nitrogen and phosphorous inputs into the Bahía de Guaymas, Sonora, México ($27^{\circ} 51' - 58' N$ y $110^{\circ} 49' - 51' W$) is presented. The process was initiated by federal government agencies in coordination with a center for scientific research for the purpose of establishing an Act of Classification for the bay, which will include the goals of reducing nutrient inputs and developing compliance periods.

Manejo Costero en México

Based on location, morphometric characteristics and type of wastewater received, four receptors were identified: Guaymas, El Rancho, Empalme and El Paraje. Times of residence and mixing volume were determined for each receptor; as well as nutrient input, trophic state indicators (primary production, nutrients, and chlorophyll a), nutrient fluxes and the nutrient input reduction necessary to prevent adverse environmental effects were estimated. It was observed that the most affected systems by nutrient over-enrichment were Guaymas (a recipient of urban wastewater) and El Paraje (a recipient of industrial wastewater), both of which were elevated from an oligotrophic-mesotrophic state to eutrophic and hypertrophic states respectively. The experience showed that establishing Acts of Classification are viable options for other Mexican coastal waters and concluding that: (1) the initiative could come from one or various society components; (2) a clear definition of the problem and the scientific facts are essential; (3) scientific institutions play a key role, and the inclusion of the National Water Commission is decisive, and (4) the participation of agencies of all three governmental levels is important in order to strengthen the process and expedite the issuance of the Act of Classification.

INTRODUCCIÓN

En el proceso de manejo costero las actividades están orientadas a aprovechar y desarrollar la zona costera de manera sostenible; donde el papel de la comunidad científica es generar el conocimiento necesario para responder a preguntas y demandas de los sectores gubernamental, productivo y social.

En este trabajo presentamos la experiencia de un proceso dirigido a controlar los vertimientos de nitrógeno y fósforo a un cuerpo de agua costero en México. Primero, exponemos el marco conceptual y relevancia del tema, y posteriormente nuestro caso de estudio específico.

Las principales fuentes antropogénicas de nitrógeno y fósforo a la zona costera son las descargas de aguas residuales urbanas y agro-industriales (Tabla 1).

La preocupación estriba en que actualmente las actividades humanas, comparadas con las preindustriales, están incorporando aproximadamente el doble de la cantidad de nitrógeno reactivo a la biosfera. Asimismo se ha incrementado a más del doble la tasa de transferencia de fósforo desde la tierra al mar y estos grandes cambios han ocurrido en los últimos 30 años (Rabalais y Nixon, 2000).

La influencia de la zona costera en los ciclos del carbono y nutrientes es fundamental porque allí habita la mayor parte de la población humana. Por ello ha sido relevante el esfuerzo realizado desde 1993 a través del proyecto Interacciones Océano-Tierra en la Zona Costera (LOICZ, Land Ocean Interactions in the Coastal Zone: www.nioz.nl/noiz/info.htm) del Programa Geósfera-Biosfera para el desarrollo de herramientas metodológicas e indicadores comunes con el propósito de evaluar cuantitativamente los flujos de nutrientes en escalas global y regional (Talaue-McManus *et al.*, 2003).

EUTROFIZACIÓN: CAUSAS, CONSECUENCIAS Y MANEJO

El sobre-enriquecimiento de nutrientes es definido como la adición de nutrientes por fuentes antropogénicas, adicionales a los incorporados por procesos naturales, lo cual genera efectos ambientales adversos o limita los usos benéficos de un cuerpo de agua (EPA, 2001).

El sobre-enriquecimiento de nutrientes en aguas costeras origina el proceso de eutrofización definido como “un incremento en la tasa de suministro de materia orgánica a un ecosistema” (Nixon, 1995). Los efectos inmediatos de la eutrofización se manifiestan comúnmente con incrementos de la biomasa de fitoplancton, ocurrencia de fitoplancton indeseable o tóxico, exceso de biomasa de macroalgas y disminución de oxígeno disuelto en el agua (Vollenweider, 1992; Richardson y Jorgensen, 1996). Estos efectos están relacionados y normalmente afectan la calidad del agua y la salud de los ecosistemas costeros, con impactos negativos en la pesca, el turismo y la salud pública (Bricker *et al.*, 1999).

La eutrofización representa uno de los problemas emergentes en la zona costera en este siglo XXI (Goldberg, 1995) y las zonas más susceptibles al proceso de eutrofización son los cuerpos de agua costeros, particularmente los estuarios y lagunas costeras, porque: (1) son normalmente ricos en nutrientes que provienen de la atmósfera, ríos, escorrentías por lluvias, mantos acuíferos, el mar y por reciclaje interno, (2) son receptores directos de las cargas de nitrógeno y fósforo de las fuentes antropogénicas y (3) por sus características geomorfológicas presentan una variable, pero comúnmente limitado, intercambio de agua con el océano. La magnitud de los efectos adversos dependen de las

Tabla 1. Aportaciones de nitrógeno y fósforo por fuentes antropogénicas a la zona costera.
Fuente: Vollenweider, 1992

	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)
Aguas residuales urbanas	20 - 40	40 - 60 - (80)
Agro-industria: producción pecuaria, procesamiento de productos, fertilizantes.	40 - 60 - (80)	20 - 40
Otras: industrias, escorrentías urbanas, depositación atmosférica.	< 10 - 20	< 5 - 10

fuentes y magnitud de las cargas de nitrógeno y fósforo, así como de la susceptibilidad del cuerpo receptor.

El control de la eutrofización es complejo. Normalmente requiere de grandes cambios en prácticas agrícolas e industriales, así como desarrollo de mejores tecnologías en tratamiento de aguas residuales (Clark, 1998). En este sentido, el reconocimiento de la relación entre los estuarios y los vertimientos recibidos es fundamental para tener una apreciación de la complejidad, no solamente de las soluciones, sino también de la responsabilidad y disposición institucional para atender el problema y aplicar estrategias de manejo (McComb, 1995). La gestión institucional y legal para reducir las cargas de nitrógeno y fósforo a los sistemas costeros, debiera dirigirse a establecer metas de reducción de nutrientes y plazos de cumplimiento.

EL CONTEXTO NACIONAL

Los estuarios y lagunas costeras son cuerpos de agua costeros que tienen muchos procesos ecológicos en común (Margalef, 1969) y su valor ecológico, económico y social ha sido ampliamente reconocido (Ayala-Castañas y Phleger, 1969; UNESCO, 1978, 1981). En México existen 137 lagunas costeras y estuarios que cubren una superficie de 1,567,000 ha; en el Pacífico hay 92 y en el Golfo de México y el Caribe 45 (Conteras-Espinoza, 1993). Sin embargo, el nivel de conocimiento científico sobre el estado de eutrofización y la legislación para controlar y reducir las cargas de nitrógeno y fósforo son limitadas.

En particular, la norma oficial mexicana NOM-001-ECOL-1996 (DOF, 1996), establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos. Sin embargo, se observan algunas inconsistencias:

1. Considera tres tipos de aguas costeras: (a) explotación pesquera, navegación y otros usos, (b) recreación y (c) estuarios.

Observación: La clasificación es ambigua porque un estuario puede tener explotación pesquera y servir de recreación. Lo trascendente, sin embargo, es que en los primeros dos tipos, los nutrientes nitrógeno y fósforo no aplican.

2. No incluye al amonio en el cálculo del nitrógeno total.

Observación: Las aguas residuales urbanas e industriales son ricas en ión amonio y es una especie importante en la estimación de los flujos del nitrógeno.

3. Presenta valores máximos permisibles de nitrógeno y fósforo en unidades de concentración (mg l^{-1}).

Observación: Los valores máximos permisibles de nutrientes debieran corresponder a cargas (mg día^{-1}) estimadas en función de los gastos y concentración de nutrientes de las aguas residuales vertidas a los cuerpos receptores.

4. Los valores máximos permisibles de nitrógeno (mg l^{-1}) y fósforo (mg l^{-1}) en aguas residuales aplican por igual a todos los estuarios del país.

Observación: Los cuerpos de agua costeros del país son diversos en dimensiones, así como en sus características hidrográficas, hidrológicas, geomorfológicas y de intercambio de agua con el océano. Tienen diferente susceptibilidad al proceso de eutrofización.

La Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento confieren atribuciones a la Comisión Nacional del Agua para establecer los parámetros que deberán cumplir las descargas, determinar la capacidad de asimilación y dilución de los cuerpos de aguas nacionales y las cargas de contaminantes que éstos pueden recibir, así como las metas de calidad y los plazos para alcanzarlas, mediante la expedición de Declaratorias de Clasificación de los cuerpos de aguas nacionales, las cuales deberán ser publicadas en el Diario Oficial de la Federación (DOF, 1992). Este fue el fundamento legal de nuestro caso de estudio.



CASO DE ESTUDIO

EL ESCENARIO COSTERO

La Bahía de Guaymas es propiamente una laguna costera. Se localiza en las coordenadas geográficas 27° 51' - 58' N y 110° 49' - 51' W; tiene una superficie de 33.6 km², profundidad promedio de 3 m y se comunica al mar por medio de una boca de 1,200 m de ancho y 8 m de profundidad (Fig. 1). Por sus características geomorfológicas e intercambio de agua con el océano, es una laguna costera del tipo Restringida (Kjerfve, 1986 y Kjerfve y Magill, 1989), porque tiene comunicación permanente con el mar, presenta tres canales de entrada, tiene circulación por mareas bien definida y es un sistema bien mezclado verticalmente.

Su ubicación estratégica en la costa oriental del Golfo de California y los recursos pesqueros de la región fueron propicios para el desarrollo económico sustentado principalmente en la pesca e industrias conexas y movimiento de carga marítima; esto propició el establecimiento y crecimiento de los asentamientos humanos de Guaymas y Empalme que actualmente conforman una zona conurbada de 180,316 habitantes (Arreola-Lizárraga *et al.*, 2001). Sin embargo, el desarrollo urbano e in-

dustrial ha carecido de planeación ambiental y sus aguas residuales son vertidas sin tratamiento al cuerpo de agua costero que manifiesta efectos ambientales adversos.

EL PROCESO Y GESTIÓN ORGANIZACIONAL

Los problemas ambientales y los riesgos a la salud pública debido al vertimiento de aguas residuales urbanas e industriales sin tratamiento a la bahía han sido históricamente demandados por la sociedad de Guaymas y Empalme. Con estos antecedentes se inició un proceso dirigido al saneamiento ambiental de la bahía:

- Secretaría de Marina-Armada de México (SEMAR) a través de su VI Zona Naval convocó a instituciones de investigación locales y al H. Ayuntamiento de Guaymas para firmar un acuerdo de colaboración con el propósito de evaluar el estado de la contaminación de la Bahía de Guaymas.

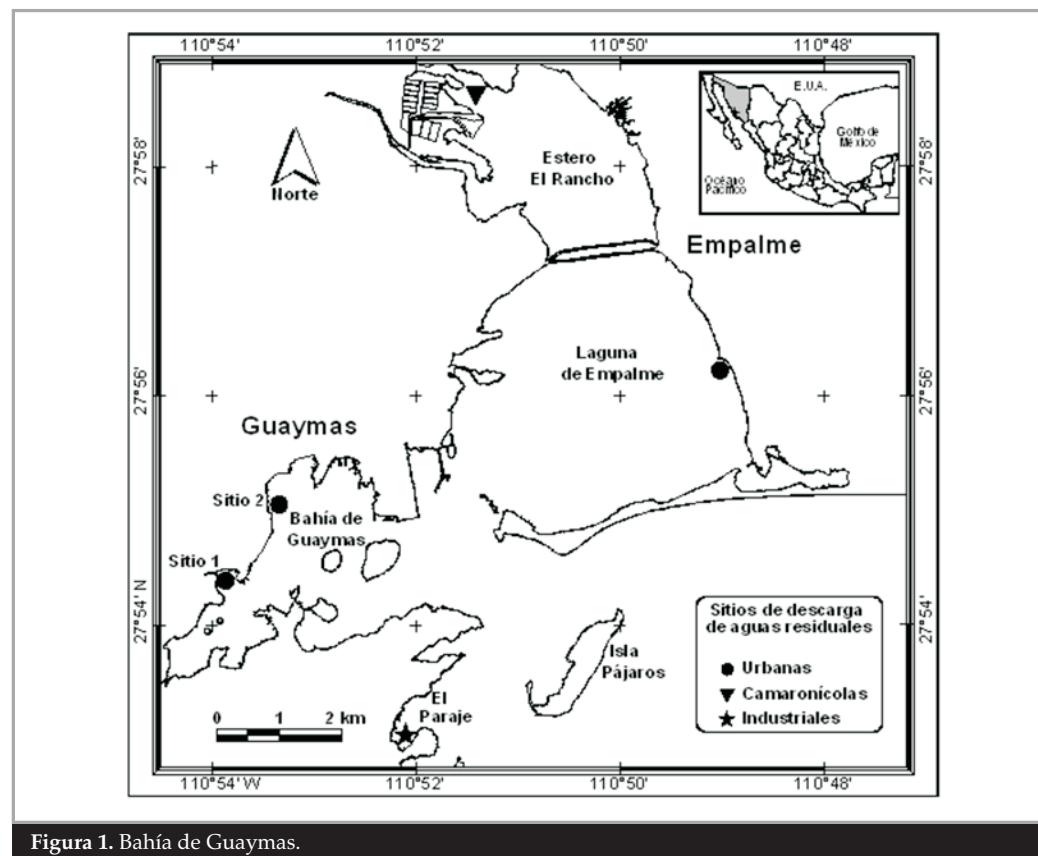


Figura 1. Bahía de Guaymas.

- La evaluación mostró impactos ambientales derivados de las aguas residuales urbanas e industriales vertidas sin tratamiento a la bahía, manifestados por: signos de sobre-enriquecimiento de nutrientes, contaminación por metales pesados, contaminación por patógenos y deterioro de hábitats (Arreola-Lizárraga *et al.*, 2001).
- La SEMAR, la Comisión Nacional del Agua (CNA) y el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. (CIBNOR) firmaron convenios para generar las bases de una Declaratoria de Clasificación de la Bahía de Guaymas.
- Cada organización desempeñó su función en los términos de sus facultades legales y de compromiso social. En lo operativo, la SEMAR proporcionó infraestructura, equipamiento y apoyo de personal, la CNA dispuso de recursos para financiar los estudios y el CIBNOR diseñó la estrategia de investigación y generó la información científica.
- Las bases técnicas para elaborar la declaratoria fueron presentadas a CNA para la revisión y procedimientos jurídicos correspondientes.
- El proceso descrito tuvo una duración de cuatro años (1999-2002), a la fecha la publicación de la declaratoria sigue en proceso.

LAS BASES CIENTÍFICAS

Preguntas:

Las preguntas claves fueron: (1) ¿qué características poseen los cuerpos receptores y qué cantidad de nitrógeno y fósforo reciben ?, (2) ¿cuál es la condición del estado trófico y flujos de nutrientes en cuerpos receptores, y su diferencia con respecto a lo observado en una laguna costera prístina de la región ? y (3) ¿cuánto se deben reducir las cargas de nitrógeno y fósforo para evitar efectos ambientales adversos ?.

Metodología:

El área de estudio se delimitó en cuerpos receptores con base en su ubicación, características morfo-métricas y tipo de agua residual recibida. La bahía

se dividió en tres cuerpos receptores, en lo sucesivo denominados: Guaymas, Empalme y El Rancho. Adicionalmente, se incluyó un cuarto cuerpo receptor, una ensenada externa a la bahía creada por la conexión de una isla a tierra firme, en lo sucesivo denominado El Paraje (Fig. 1).

Los gastos de las aguas residuales fueron proporcionados por la Comisión Nacional del Agua y la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de Sonora, Delegaciones Guaymas y Empalme.

La estrategia de muestreo consistió en determinar nutrientes (nitrito, nitrato, amonio y fosfato) en las aguas residuales, y temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes, clorofila "a" y productividad primaria acuática en los cuerpos receptores. En aguas residuales urbanas e industriales se realizaron muestreos en ciclos de 24 horas en tres campañas ($n=48$); en efluentes camaronícolas se realizaron muestreos de 24 horas durante un ciclo de cultivo ($n=36$); en los sitios de descarga de aguas residuales urbanas se determinó el gradiente salino en seis campañas ($n=120$); en los cuerpos receptores se cubrió un ciclo anual ($n=180$).

Los flujos de nitrógeno y fósforo se estimaron con el modelo biogeoquímico desarrollado para el proyecto LOICZ (Gordom, 1996). En este estudio los sitios de descarga de aguas residuales urbanas y el cuerpo receptor Guaymas fueron considerados cajas independientes, cuya frontera fue una franja entre 33 y 33.5 ups de salinidad; asimismo cada uno de los cuerpos receptores El Rancho, Empalme y El Paraje fueron cajas independientes. Los flujos netos ($\text{mg l}^{-1} \text{día}^{-1}$) fueron normalizados ($\text{mg m}^2 \text{día}^{-1}$) dividiendo entre el área de cada cuerpo receptor para hacer la comparación entre ellos. Los balances de agua y sal a partir de las ecuaciones del modelo se utilizaron para determinar el volumen de mezcla y el tiempo de renovación del agua de cada cuerpo receptor.

Las cargas de nutrientes que podrían recibir los cuerpos receptores sin riesgos de efectos adversos se estimaron con el método de la fracción de agua dulce (Giovanardi y Tromellini, 1992). El método se aplicó en el cuerpo receptor Guaymas que recibe aguas residuales urbanas sin tratamiento en dos sitios (Fig. 2). Para minimizar la incertidumbre, se determinó el gasto al momento de la descarga, el cual difiere de los promedios anuales y fueron: sitio 1 = $60 \text{ m}^3 \text{día}^{-1}$ y sitio 2 = $987 \text{ m}^3 \text{día}^{-1}$. En un escenario de simulación donde la concentración de la descarga varió, se determinó la concentración esperada en los dos sitios y con base en el valor promedio, el gasto ($\text{m}^3 \text{día}^{-1}$) y la reducción en la descarga ($\text{mg l}^{-1} = \text{g m}^{-3}$), se estimaron las cargas de nutrientes que deberían verterse. Los resultados fueron extrapolados a los otros cuerpos receptores utilizando el volumen de mezcla respectivo.



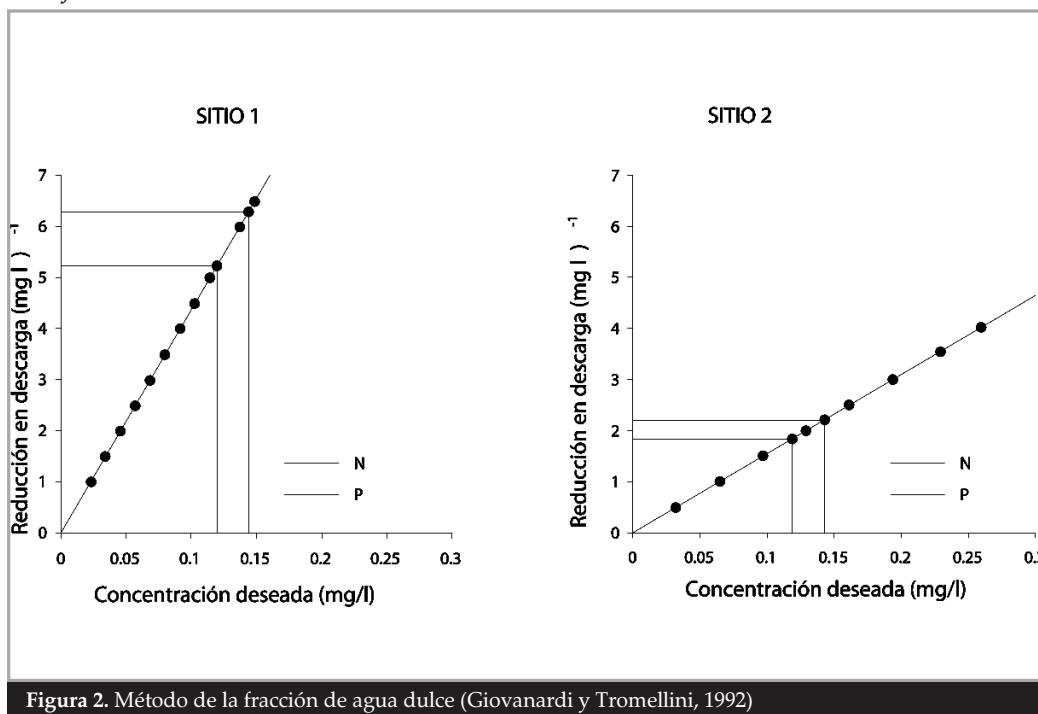


Figura 2. Método de la fracción de agua dulce (Giovanardi y Tromellini, 1992)

Los resultados de los cuerpos receptores se compararon con lo observado en una laguna costera prístina de referencia (Las Guásimas) (Padilla-Arredondo *et al.*, 2002) ubicada en la misma cuenca hidrológica y con características similares a la Bahía de Guaymas en términos de geomorfología e intercambio de agua con el océano.

Respuestas

1. Características de cuerpos receptores y cargas de nutrientes

Cada cuerpo receptor presentó características particulares en términos de sus dimensiones, salinidad, tiempo de renovación del agua y volumen de mezcla, así como del tipo y gastos de aguas residuales y cargas de nutrientes (Tabla 2). Estas características resultan útiles para tener una aproximación al problema; por ejemplo, se observó que el cuerpo receptor El Paraje recibe la mayor carga de nitrógeno, tiene el mayor tiempo de renovación del agua y el menor volumen de mezcla, cuyas implicaciones consecuentes se exponen más adelante.

2. Estados tróficos y flujos de nutrientes

Se han propuesto esquemas de clasificación del estado trófico de cuerpos de agua costeros basados en producción primaria, concentración de nutrientes y concentración de clorofila "a" (Tabla 3). Cabe

señalar que un cuerpo de agua costero puede mostrar estado eutrófico por procesos naturales y por ello es útil una referencia de un sistema prístico de la región.

Se observó que la laguna costera prística con base en concentración nutrientes y clorofila fue oligotrófica, pero en relación con su productividad fue mesotrófica. Los cuerpos receptores El Rancho y Empalme fueron mesotróficos, Guaymas fue eutrófico y El Paraje fue hipertrófico (Tabla 4). Esto fue consistente con los valores de oxígeno disuelto en el agua que indicaron síntomas de eutrofización en Guaymas donde se registraron eventos de hipoxia en los sitios de descarga de aguas residuales urbanas y en El Paraje que estuvo caracterizado por condiciones de hipoxia y anoxia (Tabla 4). Lo anterior implica que debido al sobre-enriquecimiento de nutrientes por fuentes antropogénicas, los cuerpos receptores Guaymas y El Paraje avanzaron de un estado oligotrófico-mesotrófico hasta estados eutrófico e hipertrófico, respectivamente.

Por otro lado, los flujos netos de nutrientes mostraron que la laguna prística funcionó como fuente de nutrientes hacia el mar adyacente, al igual que los cuerpos receptores Guaymas y El Paraje, pero estos últimos en ordenes de magnitud excesivas. El Rancho funcionó como sumidero de nutrientes con respecto a Empalme, y este a su vez sirvió como sumidero de nitrógeno y fuente de fósforo con respecto al mar adyacente (Tabla 5). A manera de ejemplo se muestra un esquema de los flujos de nutrientes en el sistema Guaymas (Fig. 3).

Tabla 2. Características de los cuerpos receptores, tipos y gastos de aguas residuales, y cargas de nitrógeno y fósforo que reciben.

	El Rancho	Empalme	Guaymas	El Paraje
Superficie (km ²)	7.78	15.98	9.02	0.34
Profundidad (m)	0.5	1	3.58	6.7
Volumen del sistema (millones de m ³)	3.1	36.9	20.1	2.3
Salinidad (ups)	38.8	37	35.8	35.3
Tiempo de residencia (días)	2.4	7.1	3.7	19.9
Volumen de mezcla (millones de m ³)	1.2	5.1	5.5	0.1
Tipo de agua residual recibida	Camarónícola	Urbana con tratamiento primario	Urbana sin tratamiento	Industrial sin tratamiento
Gasto anual (m ³ año ⁻¹)	2'124,570	182,500	6'279,486	691,675
Carga de N (Ton año ⁻¹)	0.066	0.3	176.4	179.7
Carga de P (Ton año ⁻¹)	0.072	1.5	38.4	8.1

N: NO₂ + NO₃ + NH₄; P: PO₄

Tabla 3. Clasificación y escalas del estado trófico aplicables a estuarios y lagunas costeras con base en criterios de niveles de producción primaria, nutrientes y clorofila "a".

	*Suministro de Carbono Orgánico (producción primaria) g C m⁻² año⁻¹	**Concentración de Nutrientes (μg at l⁻¹)			***Concentración de Clorofila "a" (mg m⁻³)
		N-NO₃	N-NH₃	P-PO₄	
Oligotrófico	= 100	0.23±0.21	0.38±0.23	0.03±0.03	1.7 (0.3 – 4.5)
Mesotrófico	100 - 300	0.26±0.17	0.84±0.47	0.09±0.05	4.7 (3 – 11)
Eutrófico	301 - 500	0.35±0.22	1.15±0.90	0.34±0.28	14.3 (3 – 78)
Hipertrófico	> 500				

* Nixon, 1995; **Ignatiades *et al.*, 1992; ***Wetzel, 1983.

La escala de clorofila se propuso para lagos, pero aplica a estuarios y lagunas costeras (Boland, 1993).

Otro estudio en la Bahía de Guaymas basado en el modelo LOICZ (Botello-Ruvalcaba, 1999) mostró que el sistema es heterotrófico lo que implica que un alto porcentaje de la materia orgánica producida en el sistema es retenida por diferentes procesos incluyendo crecimiento poblacional de fitoplancton y macroalgas, indicando signos de eutrofización.

En particular, algunas consideraciones importantes en la utilización del modelo LOICZ están re-

lacionadas con: (1) efecto del promedio temporal en cuerpos de agua costeros con fuertes variaciones estacionales, (2) efecto del promedio horizontal en cuerpos de agua con gradientes de salinidad y otras cargas de sustancias disueltas y (3) efecto del promedio vertical en cuerpos de agua que presentan estratificación de salinidad (Webster *et al.*, 2000). La Bahía de Guaymas es un sistema bien mezclado y no presenta estratificación salina, por lo tanto la incertidumbre del modelo disminuye.



Manejo Costero en México

Tabla 4. Indicadores del estado trófico de los cuerpos receptores de aguas residuales en la Bahía de Guaymas y una laguna costera prístina de la región.

Parámetro	Laguna Prística Prom. ± Desv. Est. (Intervalo)			
	Prom.	Desv. Est.		
N ($\mu\text{g at l}^{-1}$)	0.014 ± 0.008	(0.002 – 0.147)		
P ($\mu\text{g at l}^{-1}$)	0.028 ± 0.019	(0.001 - 0.119)		
Cl "a" (mg m^{-3})	3.3 ± 1.4	(1.9 - 6.3)		
PPN ($\text{g C m}^2 \text{ año}^{-1}$)	125 ± 98	(32 – 317)		
O ₂ (mg l^{-1})	7 ± 1.2	5.3 – 10)		
Parámetro	El Rancho		Empalme	
	Prom. ± Desv. Est. (intervalo)		Prom. ± Desv. Est. (intervalo)	
N ($\mu\text{g at l}^{-1}$)	1.054± 1.480	(0.013– 4.216)	0.685±0.817	(0.007– 1.891)
P ($\mu\text{g at l}^{-1}$)	0.101± 0.082	(0.016– 0.204)	0.116± 0.078	(0.021– 0.199)
Cl "a" (mg m^{-3})	3.18 ± 4.5	(0.38 – 11.16)	3.7 ± 2.5	0.42 – 9.2)
PPN ($\text{g C m}^2 \text{ año}^{-1}$)	285 ± 252	(51 - 613)	234 ± 284	(25 - 650)
O ₂ (mg l^{-1})	6 ± 1.3	(4.1 - 8.6)	6 ± 1.5	(3.8 – 11)
Parámetro	Guaymas		El Paraje	
	Prom. ± Desv. Est. (intervalo)		Prom. ± Desv. Est. (intervalo)	
N ($\mu\text{g at l}^{-1}$)	1.643 ± 2.533	(0.005 – 9.094)	4.98 ± 0.49	(0.49 – 4.84)
P ($\mu\text{g at l}^{-1}$)	0.335 ± 0.426	(0.044 – 1.763)	7.44 ± 7.51	(7.04 – 7.21)
Cl "a" (mg m^{-3})	5.8 ± 10.5	(0.14 – 50.17)	No determinada	
PPN ($\text{g C m}^2 \text{ año}^{-1}$)	449 ± 646	(33 - 1412)	No determinada	
O ₂ (mg l^{-1})	7 ± 1.8	(1.6 - 10.8)	1.3 ± 0.8	(0 – 2.6)

N: NO₂ + NO₃ + NH₄; P: PO₄; Cl "a": clorofila "a";
 PPN: productividad primaria neta; O₂: Oxígeno disuelto.

Tabla 5. Flujos de nutrientes en cuerpos receptores de la Bahía de Guaymas y una laguna costera prística de la región.

Parámetros	Laguna Prística	El Rancho	Empalme	Guaymas	El Paraje
ΔN mg m ⁻² día ⁻¹	+0.0001	-0.0001	-0.001	+0.37	+0.804
ΔN mg m ⁻² día ⁻¹	+0.0010	-0.0001	+0.001	+0.04	+4.712

Signos positivos significan fuentes de nutrientes; signos negativos significan sumideros de nutrientes.

3. Estimación de cargas de nutrientes

Para que la concentración en el cuerpo receptor sea similar a la laguna prística, en el sitio 1, el nitrógeno debe reducirse a 6.29 mg l⁻¹ y el fósforo debe reducirse a 5.2 mg l⁻¹; en el sitio 2 el nitrógeno debe reducirse a 2.2 mg l⁻¹ y el fósforo debe reducirse a

1.84 mg l⁻¹ (Fig. 2). Las cargas de nutrientes que deberían verterse a los cuerpos receptores se muestran en la Tabla 6.

Los modelos pueden reducir la complejidad del ecosistema a un nivel comprensible y práctico para fines de manejo. Nosotros presentamos una apro-

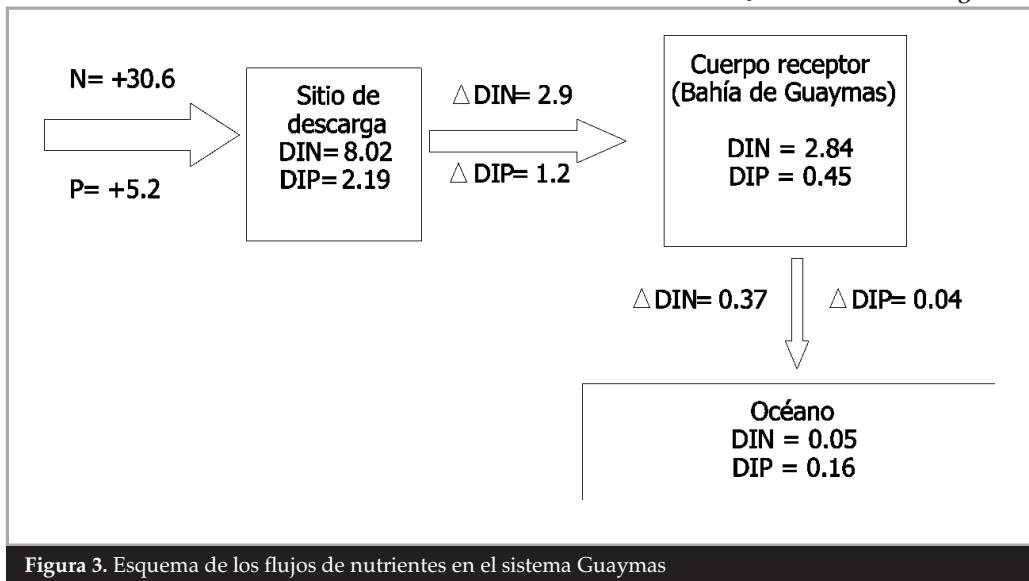


Figura 3. Esquema de los flujos de nutrientes en el sistema Guaymas

Tabla 6. Cargas máximas de nitrógeno y fósforo sugeridas en las aguas residuales vertidas a los cuerpos receptores de la Bahía de Guaymas.

Carga Máxima Estimada (g día ⁻¹)	El Rancho	Empalme	Guaymas	El Paraje
Nitrógeno	287	1,180	1,276	33
Fósforo	240	986	1,066	27

ximación al problema del sobre-enriquecimiento basada en modelos nivel I, pero es posible implementar predicciones con mayor precisión utilizando modelos de nivel II, III o IV, lo cual también implica mayor esfuerzo y recursos (EPA, 2001). El procedimiento metodológico que aplicamos utili-

zando dos modelos nivel I es relativamente simple y puede proporcionar respuestas a problemas locales de sobre-enriquecimiento de nutrientes.

CONSIDERACIONES FINALES

Se requiere una mejor comprensión de los procesos que contribuyen a la eutrofización y existe una gran necesidad de transferir mejor el conocimiento científico a estrategias de manejo y políticas efectivas para reducir y prevenir la eutrofización y sus efectos asociados (Howarth *et al.*, 2002). En nuestro país tenemos mucho que hacer en este sentido.

En la Bahía de Guaymas la principal causa del problema son las aguas residuales urbanas e industriales. La selección de las alternativas tecnológicas (plantas de tratamiento, emisores, etc.), las estrategias de control y la gestión de recursos económicos para su instrumentación requieren compromiso social y disposición política.

En nuestro caso de estudio, la disposición gubernamental de dependencias federales (SEMAR y CNA), la vinculación con el sector científico y el fundamento legal a través de la figura jurídica de Declaratoria de Clasificación (DC) de cuerpos de agua nacionales fortalecieron el proceso. Sin embargo, los municipios y las dependencias estatales deberían de jugar un papel más activo. En nuestro caso la emisión de la declaratoria sigue en proceso administrativo y jurídico en la CNA.

En México, la normatividad vigente para el control de los nutrientes en aguas residuales vertidas a los cuerpos de agua costeros NOM-001-ECOL-1996 (DOF, 1996), presenta inconsistencias y su



Manejo Costero en México

aplicación nacional resulta inoperante debido a la diversidad de escenarios costeros. En este sentido, las DC constituyen una opción factible para cuerpos de agua costeros receptores de aguas residuales sin tratamiento, y algunas consideraciones para establecer DC pueden resumirse en: (1) la iniciativa puede surgir de uno o varios actores de la sociedad, (2) el planteamiento claro del problema y las bases científicas son elementales, (3) las instituciones científicas juegan un papel clave, (3) la participación de la Comisión Nacional del Agua es decisiva, (4) la participación de dependencias de los tres niveles de gobierno son relevantes para fortalecer el proceso y (5) la declaratoria puede establecerse de manera más expedita.

En manejo costero, el énfasis en: (1) fortalecer la comunicación y diálogo entre distintos actores:

científicos, administradores, usuarios y público, (2) cooperar a niveles globales, regionales y locales, (3) utilizar conocimientos locales y (4) mejorar vínculos entre ciencia y sociedad (Hilderbrand, 1997), resulta un marco teórico aceptable que puede ser trasladado a estructuras gubernamentales. Por ejemplo, en nuestro país las Gerencias Regionales de la Comisión Nacional del Agua están delimitadas con base en criterios hidrológicos y de cuenca, además se han establecido Consejos de Cuenca como instancias de coordinación y concertación entre los tres órdenes de gobierno, los usuarios y la sociedad en general. Esta estructura y disposición gubernamental puede ser aprovechada en estrategias de control de fuentes de nutrientes que derivan a las partes terminales de las cuencas: los cuerpos de agua costeros.

LITERATURA CITADA

- Arreola-Lizárraga, J.A., G. Padilla-Arredondo, M. S. Burrola-Sánchez, D. Urias-Laborín, F. Dorado-Villanueva, A. Hernández-Ibarra, M.R. López-Tapia, L.C. Méndez-Rodríguez, y B. Acosta-Vargas, 2001.** Diagnóstico de la contaminación marina de la Bahía de Guaymas, Sonora y proximidades, Informe técnico externo, CIBNOR, S. C. 20 p.
- Ayala-Castañares, A., y F.B.Phleger (eds.), 1969.** Lagunas Costeras un Simposio. Memoria del Simposio Internacional sobre lagunas Costeras (Origen, dinámica y productividad) UNAM-UNESCO, México, D. F., 686 p.
- Boland, J.J., 1993.** Managing wastewater in a coastal urban areas. National Academic Press, Washington, D.C., 477 p.
- Botello-Ruvalcaba, M.A., 1999.** Physical, chemical, biological and management aspects of coastal ecosystems facing eutrophication: The Guaymas Bay, Sonora, México. Ph. D. Thesis, Hull University, England, 256 p.
- Bricker, S.B., C.G. Clement, D.E. Pihala, S.P. Orlando, y D.R.G. Farrow, 1999.** National Estuarine Eutrophication Assessment: effects of nutrients enrichment in the Nation's estuaries. NOAA, National Ocean Service and the National Centers for Coastal Ocean Science. 71 p.
- Clark, J.R., 1998.** Coastal Seas: The Conservation Challenge. Blackwell Science, 134 p.
- Contreras-Espinosa, F., 1993.** Ecosistemas Costeros Mexicanos. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, México, D. F., 415 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 1996.** Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Estados Unidos Mexicanos, Diario Oficial de la Federación, 24 de junio 1996.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 1992.** Ley de Aguas Nacionales. Estados Unidos Mexicanos, Diario Oficial de la Federación, 1 de diciembre 1992.
- EPA, 2001.** Nutrient Criteria Technical Guidance Manual: Estuarine and Coastal Marine Waters. United States Environmental Protection Agency. 363 p.
- Giovanardi, F., y E. Tromellini, 1992.** An empirical dispersion model for total phosphorus in a coastal area: the Po River-Adriatic system. p. 201-210. In: R.A. Vollenweider, R. Marchetti, R. Viviani (eds.). Marine Coastal Eutrophication. Proceedings of an International Conference, Bologna, Italy. 1310 p.
- Goldberg, E.D., 1995.** Emerging problems in the coastal zone for the twenty-first Century. *Marine Pollution Bulletin*, 31:(4-12): 152-158.
- Gordon, Jr. D.C, P.R. Boudreau, K.H. Mann, J.E. Ong, W.L. Silvert, S.V. Smith, G. Wattayaicom, F. Wulff, y T. Yanagi, 1996.** LOICZ Biogeochemical Modelling Guidelines, LOICZ Reports & Studies No. 5. 96 p.

- Hilderbrand, L.P., 1997.** Participation of local authorities and communities in integrated coastal zone management. p. 43-54. In: B. U. Haq, S.M. Haq, G. Kullenberg, J.H. Stel. Coastal Zone Management Imperative for Maritime Developing Nations. Kluwer Academic Publishers. 394 p.
- Howarth, R.W., A. Sharpley, y D. Walker, 2002.** Sources of nutrient pollution to coastal waters in the United States: Implications for achieving coastal water quality goals. *Estuaries*, 25 (4b):656-676.
- Ignatiades, L., M. Karydis, y P. Vounatsou, 1992.** A possible method for evaluating oligotrophy and eutrophication based on nutrient concentration scales. *Marine Pollution Bulletin*, 24:238-243.
- INEGI, 2000.** Sonora, XII Censo de Población y Vivienda, Tabuladores básicos, Tomo I. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, D. F.
- Kjerfve, B., 1986.** Comparative oceanography of coastal lagoons. p. 63-81. In: D.A. Wolfe, Estuarine Variability. Academic Press Inc. 509 p.
- Kjerfve, B., y K.E. Magill, 1989.** Geographic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons. *Marine Geology*, 88: 187-199.
- Margalef, R., 1969.** Comunidades planctónicas en lagunas litorales. p. 545-563. In: A. Ayala-Castañas, y F.B. Phleger (eds.). Lagunas Costeras un Simposio. Mem. Simposio Internacional de lagunas costeras, UNAM-UNESCO, México D.F. 686 p.
- McComb, A.J., 1995.** Introduction. p. 1-4. In: A.J. McComb, Eutrophic shallow estuaries and lagoons. CRC Press.
- Nixon, S.W., 1995.** Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, 41:199-190.
- Padilla-Arredondo G., J.A. Arreola-Lizárraga, y C.H. Lechuga-Devéze, 2002.** Las Guásimas coastal lagoon, Sonora, Mexico. In: V.F. Camacho-Ibar, V. Dupra, J.I. Marshall-Crossland, F. Wulff, S.V. Smith, C.J. Crossland. Estuarine Systems of the Latin American Region (Regional Workshop V), and estuarine systems of the Arctic Region: carbon, nitrogen and phosphorus fluxes. LOICZ Reports and Studies No.23. 115 p.
- Rabalais, N.N., y W. Nixon, 2002.** Preface: nutrient over-enrichment of the coastal zone. *Estuaries*, 25 (4b): 639.
- Richardson K., y B.B. Jorgensen, 1996.** Eutrophication: Definition, history and effects. p. 1-19. In: B.B. Jorgensen, K. Richardson. Eutrophication in Coastal Marine Ecosystems. Coastal and Estuarine Studies, American Geophysical Union. 272 p.
- Talaue-McManus, L., S.V. Smith, y R. W. Buddemeier, 2003.** Biophysical and socio-economic assessment of the coastal zone: the LOICZ approach. *Ocean and Coastal Management*, 46: 323-333.
- UNESCO, 1978.** Encuesta sobre lagunas costeras. UNESCO Technical Papers in Marine Science No. 31. 47 p.
- UNESCO, 1981.** Coastal Lagoons: Research, Present, and Future. UNESCO Technical Papers in Marine Science No 33. 347 p.
- Vollenweider, R.A., 1992.** Coastal marine eutrophication:principles and control. p. 1-20. In: R.A. Vollenweider , R. Marchetti, R. Viviani (eds.). Marine Coastal Eutrophication. Proceedings of an International Conference, Bologna, Italy. 1310 p.
- Webster, I.T., J.S. Parslow, y S.V. Smith, 2000.** Implications of Spatial and Temporal Variation for Biogeochemical Budgets of Estuaries. *Estuaries* 2000, 23(3): 341-350.
- Wetzel, R.G., 1983.** Limnology. Saunders, Philadelphia, Pennsylvania. 456 p.



