

Evaluación espacial y estacional del estado trófico en el sistema estuarino Urías, Mazatlán, México

Spatial and seasonal evaluation of the trophic state in the Urías estuarine system, Mazatlán, México

Miguel Ángel Sánchez Rodríguez,^{1,*}
Omar Calvario Martínez¹

Recibido: 24 de abril de 2018 - Aceptado: 9 de diciembre de 2019

RESUMEN: El estero de Urías, Mazatlán, es considerado el sistema más urbanizado y uno de los más impactados de la zona al ser receptor final de drenes domésticos, industriales, acuícolas y de la industria naval. Con el fin de determinar su estado trófico, se realizaron muestreos mensuales de agua durante un ciclo anual comprendido de enero a diciembre de 2015, colectando muestras de agua superficial representativas de las condiciones existentes del sistema, por lo que fueron tomadas en cada estación de muestreo de forma tal que mostrara los efectos antropogénicos, teniendo en cuenta el monitoreo de parámetros como temperatura, salinidad y oxígeno disuelto *in situ*, adicionalmente muestras de agua para la determinación de nitrógeno y fósforo, que fueron analizados en laboratorio. Una vez obtenidos los resultados para cada parámetro se utilizó el índice TRIX para evaluar los datos. La clasificación temporal del estado trófico TRIX en el estero de Urías,

corresponde a un nivel trófico alto con una calidad del agua mala y un nivel trófico muy alto con una calidad del agua pobre, situación que no se ha visto mejorada en los últimos años. La estación que representa al estero El Infiernillo, presentó un nivel trófico muy alto (calidad de agua pobre), durante los doce meses de estudio debido a la influencia que generan las descargas urbanas y a la baja capacidad de renovación de sus aguas.

PALABRAS CLAVE: Estado trófico, TRIX, Estero de Urías.

ABSTRACT: The Urías estuary is a coastal lagoon located south of the city of Mazatlán. It's considered the most urbanized system and one of the most impacted in the area due to anthropogenic activities; it's the final recipient of domestic, industrial, aquaculture and naval industry drains. In order to determine the trophic status of the system, water samples were taken monthly during

¹ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., México.

* Autor de correspondencia: msanchez@ciad.mx.

an annual cycle from January to December 2015, collecting surface water samples representative of the existing conditions of the system. The water samples were taken at each sampling station to identify and show the anthropogenic effects. Parameters such as temperature, salinity, dissolved oxygen were monitored in situ, additionally water samples for the determination of nitrogen and phosphorus which were analyzed in the laboratory. Once the results were obtained for each parameter, the *TRIX* index was used to evaluate the data. The temporal classification of the *TRIX* tro-

phic state in the Uriás estuary during the study period corresponds to a high trophic level with poor water quality and a very high trophic level with poor water quality, a situation that has not been improved in recent years. The station that represents the estuary El Infiernillo, presented a very high trophic level (poor water quality), during the twelve months of study due to the influence generated by urban discharges and the low capacity of renewal of its waters.

KEY WORDS: Trophic state, *TRIX*, Estero de Uriás.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha incrementado el interés por estudiar los ecosistemas costeros debido a la complejidad del comportamiento ecológico y el impacto que pueden ocasionar diversas fuentes de contaminación. En México, la investigación sobre la calidad de las aguas costeras se ha convertido en un tema de prioridad (INE, 2000), debido a que pueden contaminarse por sustancias derivadas de diferentes fuentes, en particular por efluentes municipales (Páez Osuna et al., 1998; Aranda Cirerol, 2001; Rivera Arriaga & Villalobos, 2001). De acuerdo con PNUMA (2002), se estima que entre 80 y 90 % de las aguas residuales se descargan en las costas sin tratamiento previo adecuado, siendo importante señalar que, en el Noroeste de México, muchos de los puertos y de las ciudades costeras más importantes muestran ya síntomas locales de contaminación por nutrientes (Páez Osuna et al., 1998). Dicha situación, en la mayoría de los casos, determina la cantidad de la productividad primaria en un sistema; aunque diversos factores pueden incrementar su productividad, el factor más común es un incremento de la cantidad de nitrógeno (N) y fósforo (P) que estos reciben, su distribución depende de las características químicas, físicas, sedimentológicas y biológicas. Algunos ejemplos de tales características son: la topografía, las corrientes, las reacciones químicas que se llevan a cabo, la producción biológica, el mezclado y la circulación (López Aguiar, 2006). La contaminación por nutrientes en las lagunas costeras son producto del exceso de las cargas de estos componentes derivados de los procesos naturales y de las actividades antropogénicas, en donde se han observado severos daños que van desde la mortandad de peces, fetidez, anoxias recurrentes, hasta la destrucción total de los ecosistemas (Páez Osuna et al., 2007).

El enriquecimiento de las aguas con estos nutrientes normalmente es conocido como “eutrofización”, que es el aumento en la acumulación de materia orgánica, particularmente algas, que es causada por el incremento de nutrientes de origen humano que son incor-

porados a la zona costera por diferentes vías, tales como descargas superficiales directas, enriquecimiento de aguas subterráneas y depositación atmosférica (Bricker et al., 2003).

Evaluar la eutrofización en lagunas costeras no es tarea fácil debido a la gran variabilidad de las condiciones espaciales y temporales de tales ambientes (Coelho et al., 2007), por lo que varios indicadores, índices y modelos se han desarrollado para el estudio de la eutrofización y calidad del agua en ambientes dulceacuícolas, costeros y marinos. En este sentido, algunos autores han propuesto índices o metodologías aplicables a ambientes marinos que se basan principalmente en la concentración de nutrientes o de *Clorofila a*, en la transparencia del agua y/o en la concentración del oxígeno disuelto (Karydis et al., 1983; Justic, 1991; Ignatiades et al., 1992; Vollenweider et al., 1998; Stefanou et al., 2000; Wasmund et al., 2002).

De todos los índices tróficos desarrollados para ambientes marinos, uno de los más exitosos es el *TRIX* (*TRhopic IndeX*, Vollenweider et al., 1998). Es la combinación de los logaritmos de cuatro variables (CHL *a* (clorofila *a*), NID ($\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$), PT (fósforo total) y el valor absoluto de la desviación del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto: a % OD). Una de las fortalezas del índice es incluir variables de presión (nutrientes), de respuesta biológica (CL *a* como un indicador de biomasa fitoplanctónica), así como de disturbio ambiental en la calidad del agua (oxígeno). Además, ofrece la ventaja de usar como componentes variables directamente medidas y rutinariamente colectadas en los estudios en ambientes costeros (Giovanardi & Vollenweider, 2004).

Debido a este potencial, tal índice multivariado ha sido aplicado para determinar la calidad del agua y el estado trófico en varias áreas costeras sujetas a presión antropogénica de Europa (Vascetta et al., 2004), especialmente en aguas italianas (Pettine et al., 2007), por lo que no necesariamente debe ser utilizado en todos los sistemas costeros, debido a que la fluctuación de estos ambientes está en función de su dinámica trófica específica. Por ello, para su utilización en otros ecosistemas marinos debe ser ajustado o validado (Nasrollahzadeh et al., 2008).

En México, los estudios para determinar el estado trófico en sistemas impactados son escasos y la mayoría describen únicamente la distribución de la concentración de nutrientes, y solo algunos usan un índice para determinar el estado trófico de esos ambientes costeros en ciclos anuales (Alonso Rodríguez et al., 2000; López Cortés et al., 2003; Aranda Cirerol, 2001; Magaña Álvarez, 2004; Ayala Rodríguez, 2008). Por tal motivo, Escobedo Urías (2010), validó el índice trófico *TRIX* de Vollenweider et al. (1998) para ambientes costeros, específicamente en el Golfo de California utilizando una base de datos de los complejos lagunares de Topolobampo (1987-2007) y Navachiste (1998-2007), en el estado de Sinaloa, para generar una ecuación ajustada a las condiciones de los ambientes costeros del Golfo de California a la cual se denominó TRIX_{GC} , los resultados obtenidos por Escobedo Urías (2010) demostraron que el índice TRIX_{GC} era estadísticamente similar al original, por tal motivo el utilizar *TRIX* es lo mismo que utilizar la ecuación validada para los ecosistemas del Golfo de California (TRIX_{GC}).

El estero de Urías es un cuerpo de agua impactado ambientalmente debido al crecimiento urbano desarrollado en los últimos años, al igual que muchos sistemas costeros mexicanos registra altos niveles de contaminación, entrando en un proceso que según Covantes (2005) se está colapsando ecológica y económicamente, sin embargo, se siguen explotando. Desde el punto de vista ecológico es de gran importancia para Mazatlán, ya que en él se reportan 169 especies fitoplanctónicas estuarino-lagunarias y marinas, predominando Diatomeas y Dinoflagelados, así como Macroalgas bentónicas predominando *Rhizoclonicem sp.*, y *Chaetomorpha sp.*; así como los fitoflagelados, *Nitzehia*, *Rhizosolenia*, *Chaetoeeros*, *Coscinodiseus*, *Cianofitas filamentosas*, *Skeletonema*, *Prorocentrum*, *Navieula*, *Gyrosigma*, *Lauderia*, *Rophatodia* y *Thalassiosira*.

Dentro de la zona del sistema estuarino de Urías, considerada como una zona de humedal, la vegetación está constituida básicamente por vegetación halófila y un abundante bosque de manglar en los márgenes del cuerpo de agua, principalmente hacia la cabeza lagunar. Este bosque está compuesto principalmente de mangle negro (*Avicennia germinans*), mangle blanco (*Laguncularia recemosa*) y mangle rojo (*Rhizophora mangle*), siendo importante señalar que estas tres especies están sujetas a “Protección Especial” de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2001, porque podrían llegar a encontrarse amenazadas por factores que inciden negativamente en su viabilidad, lo que determinaría la necesidad de propiciar su recuperación y conservación.

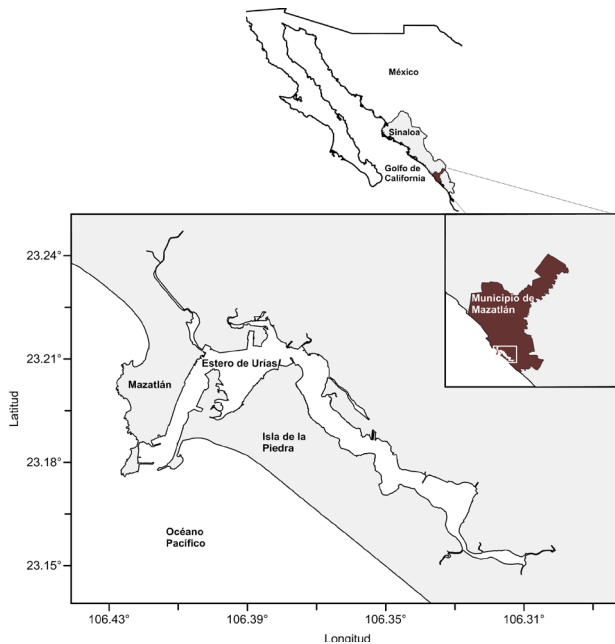
El sistema se caracteriza por tener una gran biodiversidad, observándose la presencia de aves acuáticas residentes, como el martín pescador (*Ceryle alcyon*), tijereta (*Fregata magnificens*), gaviota pico amarillo (*Larus delawarensis*), gaviota cabecinegra (*Larus philadelphia*), pelícano blanco (*Pelecanus erythrorhynchus*), pelícano café (*Pelecanus occidentalis*), y algunas aves migratorias que tienen temporalmente su hogar en el sistema, así como organismos de importancia económica para el desarrollo de los asentamientos humanos ubicados en sus cercanías, entre los que se destacan camarones del género *Litopenaeus*, jaibas del género *Callinectes*, peces como lisas (*Mugil curema* y *Mugil cephalus*), mojarra (familia *Gerridae*), constantino (*Centropomis robalito*), sábalo (*Chanos chanos*), chiro (*Elops affinis*), corvina (*Cynoscion sp.*) y pargos (familia *Lutjanidae*), bivalvos como ostiones de la especie *Crassostrea corteziensis*, mejillones de la especie *Mytella strigata* y caracoles de la especie *Littoraria avarnas* (Álvarez, 1980); de ahí la importancia que tiene el buen manejo del sistema estuarino para la obtención de dichos recursos de manera sustentable y garantizar su subsistencia para las generaciones futuras, también la importancia ecológica que brindan con la gran variedad de servicios ambientales como los considerados zonas de alimentación, refugio y crecimiento de crustáceos y alevines juveniles, actúan como sistemas naturales de control de inundaciones y como barreras contra huracanes e intrusión salina, controlan la erosión y protegen las costas, mejoran la calidad del agua al tener la función de filtro biológico, contribuyen en el mantenimiento de procesos naturales tales como respuestas a cambios en el nivel del mar, mantienen procesos de sedimentación, son refugio de flora y fauna silvestre, poseen un alto valor estético, recreativo y de investigación.

Con base en lo anterior, el presente estudio pretende determinar durante un periodo anual el estado trófico mediante $TRIX$ (equivalente al $TRIX_{GC}$) del estero de Urías ubicado en el Golfo de California, con la finalidad de contribuir a una mejor gestión de los recursos costeros, y de esta manera poder definir estrategias para un uso sustentable del sistema estero de Urías.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

FIGURA 1.
UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTERO DE URÍAS, MAZATLÁN, MÉXICO.



Fuente: elaboración propia.

El estero de Urías se localiza al sur del Estado de Sinaloa, en el municipio de Mazatlán, entre las coordenadas $23^{\circ}08'6.7''$ a $23^{\circ}13'35.4''$ LN y $106^{\circ}17'19.8''$ a $106^{\circ}25'43.0''$ LO. Está delimitado al norte por el puerto de Mazatlán, al este por el Océano Pacífico y el Golfo de California, y al sur por el poblado de la Isla de la Piedra y granjas camaronícolas (Figura 1). La boca que lo conecta con el Océano Pacífico y el Golfo de California es permanente, está situada al noroeste de manera semiparalela a la línea de costa, con una anchura de 200 m y

una profundidad de 15 m. Cuenta con aproximadamente 12.5 km² de superficie, un perímetro litoral de 23 km y una anchura que fluctúa entre 280 y 1,717 m.

El estero tiene forma de escuadra que penetra hacia el noroeste aproximadamente 3.8 km, luego gira hacia el este aproximadamente 2.6 km y finalmente hacia el sureste a 7.7 km, siendo este último, el transepto más largo y es paralelo a la línea de costa. En total se tiene un transepto de 14.1 km desde la boca hasta la cabeza del sistema lagunar.

Clima

El clima es tropical y subtropical, tipo cálido sub húmedo, según la clasificación de García (1973). Las temperaturas en el año oscilan entre 4 °C y 34 °C, con un promedio de 24.9 °C. Las precipitaciones ocurren en un periodo breve entre el fin del verano y los inicios del otoño, varían entre 400 y 1900 mm por año. En verano el viento occidental domina con velocidades promedio de 9.36 km hora⁻¹, mientras que en invierno el viento noroccidental es predominante con velocidades promedio de 9.0 km hora⁻¹. La evaporación es de 159.4 mm por año entre mayo y octubre, valor considerado de moderado a alto (Villalba, 1986). Los eventos climáticos extremos como nevadas y granizadas son poco frecuentes presentándose solo en las zonas serranas del municipio durante la época invernal.

Fuentes de contaminación antropogénicas

El estero de Urías se encuentra muy influenciado por las aguas residuales de la ciudad de Mazatlán (Figura 2), donde ha sido posible identificar 5 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), que desechan sus efluentes parcialmente tratados e inclusive sin tratar. Tal es el caso de la planta “El Castillo”, planta “Unidad habitacional 23 de noviembre” de la SEDENA, planta del fraccionamiento “Santa Fe”, planta de la empresa “Maz Industrial”, la planta de la Central Termoeléctrica “José Aceves Pozos” y la planta de tratamiento “Urías”, que está en operación desde 2014. Adicionalmente, se han identificado 17 descargas pluviales, la mayoría desembocan sobre el estero del Infiernillo (nombre coloquial que los locales dan al estero de Urías en una porción ubicada al norte, figura 2) y que atraviesa la ciudad de Mazatlán. Muchas de estas descargas normalmente se combinan con aguas de drenaje, debido a que se encuentran situadas a nivel del mar, inclusive a veces por debajo de este, acentuándose esta situación principalmente en épocas de lluvia. El estero de Urías cuenta con 5 canales de aguas provenientes de diversos asentamientos humanos, tal es el caso del canal Francisco I. Madero I y II, que recorre varias de las colonias más pobres de Mazatlán y donde se asientan algunas industrias importantes, como: Productos Kay, Pemex (Terminal de Almacenamiento y Distribución Mazatlán), Ferromex, Café El Marino, Hielo y Congelación del Pacífico, Bonatún, etc.

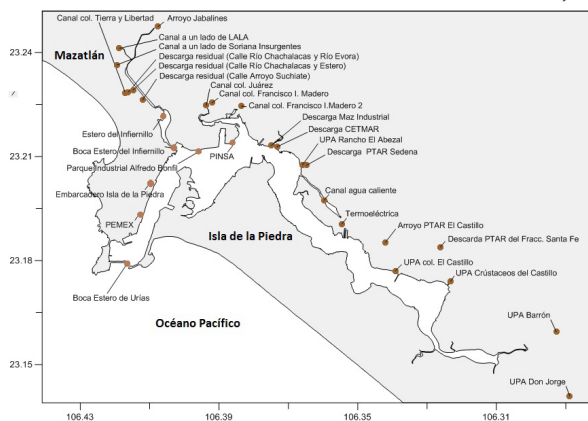
El canal de la colonia Juárez, que atraviesa una de las colonias más grandes de Mazatlán, en donde se ubica el segundo centro comercial más importante de la ciudad. El canal de la

colonia La Sirena, se encuentra al nivel del mar y en la parte sur de la ciudad, por lo que se dificulta aún más de lo normal el sistema de drenaje en dicha zona, las infiltraciones son muy comunes, así como los hogares que desechan sus aguas grises sobre las calles de dicha colonia, que convergen al mismo canal. Finalmente, un canal (arrollo natural) en la comunidad de “El Castillo” que sirve de desfogue de la PTAR “El Castillo”, y que desemboca en la cabeza del sistema lagunar de Urías, así como el escurrimiento de lixiviado proveniente del basurero municipal de Mazatlán que desemboca sobre este mismo canal.

En lo que respecta a las descargas industriales, se han identificado ocho, cinco procedentes de la central termoeléctrica antes citada, tres de la congeladora Gandhi (una en la colonia La Sirena y dos en la colonia Urías) y la última por Maz Industrial. Es importante señalar que en los márgenes del sistema estuarino se ubican dos planteles de educación, el Instituto Tecnológico del Mar (ITMAZ) y el Centro de Estudios Tecnológicos del Mar (CETMAR), los cuales no tienen sistema de drenaje municipal, esto originó que en sus instalaciones se instalara un sistema de trampas de sólidos, para posteriormente desechos el efluente resultante hacia el estero. Asimismo, es importante mencionar que el sistema lagunar incluye el área portuaria, en la que se asientan embarcaciones de gran calado de la industria camaronera y atunera, astilleros y embarcaciones de Pemex, que en la mayoría de los casos ejecutan acciones de mantenimiento sobre el sistema, por lo que muchos de sus residuos van a dar directamente al estero. Por otro lado, se tiene el parque industrial “Alfredo Bonfil”, cuyo sistema de drenaje está colapsado desde hace años, por lo que gran parte de sus descargas van a dar por infiltración al estero de Urías. La cabeza lagunar recibe los efluentes de granjas acuícolas dedicadas al cultivo de camarón, dichos efluentes provienen de cuatro unidades de producción acuícola (UPA), tal es el caso de las UPA Col. La Sirena, El Castillo, Don Jorge y la Acuícola Barrón.

FIGURA 2.

UBICACIÓN DE LOS DIFERENTES EFLUENTES DESCARGADOS SOBRE EL ESTERO DE URÍAS, MAZATLÁN, MÉXICO.



Fuente: elaboración propia.

Las aguas del estero de Urías son renovadas en un tiempo relativamente corto para la parte de entrada y el centro, el recambio hidrodinámico es del orden de 5-7 días lo que permite que las aguas residuales provenientes de la actividad antropogénica, industrial y portuaria sean reemplazadas rápidamente. Sin embargo, en la parte de la cabeza, donde se ubican las descargas de la actividad acuícola y la PTAR “El Castillo”, así como baja profundidad, provoca que el intercambio de la masa de agua sea mucho más lento, por lo que normalmente son zonas más susceptibles a la contaminación.

Recolección de muestras

Se realizaron muestreos de agua superficial de manera mensual durante 2015, distribuyendo 5 puntos de muestreo durante la bajamar, debido a que en la presencia de marea baja el estero de Urías se encuentra en las condiciones más críticas, con las mayores concentraciones de contaminantes, y por tanto, no influenciadas con la mezcla del agua proveniente de la bahía, considerando así solamente las condiciones del estero. Los 5 puntos de muestreo (Figura 3, Tabla 1), son representativos de las condiciones existentes en el sistema, debido a que se realizó un recorrido por tierra y otro por mar para encontrar los puntos clave (Figura 2), pudiendo registrar en esa zona los efectos de las descargas de las industrias, granjas y de la zona urbana de Mazatlán.

TABLA 1.
LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO EN EL ESTERO DE URÍAS, MAZATLÁN, MÉXICO.

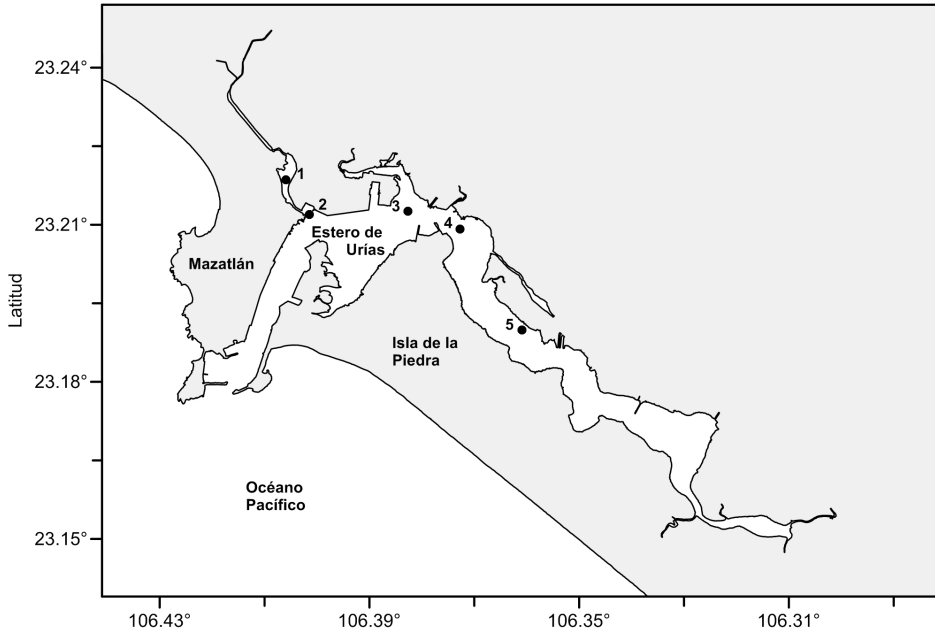
No. de estación	Nombre de la estación	Coordenadas geográficas	
		Latitud	Longitud
1	Esteros del Infiernillo	23° 13' 06.7"	106° 24' 32.0"
2	Puente Juárez	23° 12' 43.1"	106° 24' 16.1"
3	Frente al rastro	23° 12' 45.4"	106° 23' 08.5"
4	Frente a CETMAR	23° 12' 33.1"	106° 22' 32.6"
5	Frente a termoeléctrica	23° 11' 23.7"	106° 21' 50.1"

Fuente: elaboración propia.

Las muestras se tomaron en la parte superior de la columna de agua a 20 cm por debajo de la superficie, estas fueron representativas de las condiciones existentes en el sitio y de la hora de muestreo. Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos, se recolectó una muestra en recipientes con capacidad de 2 litros, esta se tomó realizando tres lavados previos del recipiente con la misma agua del estero para ambientar el recipiente. Una vez recolectadas las muestras se colocaron en hieleras a una temperatura menor a 4 °C.

FIGURA 3.

UBICACIÓN DE ESTACIONES DE MUESTREO EN EL ESTERO DE URÍAS, MAZATLÁN, MÉXICO.



Fuente: elaboración propia.

En cada estación de muestreo se utilizó una sonda multiparamétrica Hidrolab DS5X, previamente calibrada, los sensores instalados en esta sonda permitieron la medición de la concentración de oxígeno disuelto, temperatura y salinidad, de la cual se obtuvieron mediciones continuas cada 30 segundos y en cada uno de los puntos muestreados. Las muestras fueron trasladadas al laboratorio donde se realizarán los análisis correspondientes.

Análisis de laboratorio

Los análisis se realizaron por personal del Laboratorio de Química y Productividad Acuática del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Unidad Mazatlán, mediante las técnicas enlistadas en la tabla 2.

TABLA 2.

PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS ANALIZADOS PARA EL ESTERO DE URÍAS, MAZATLÁN, MÉXICO.

Parámetro	Método	Referencia
Temperatura, °C	HIDROLAB DS5X	-
Salinidad, UPS	HIDROLAB DS5X	-
Oxígeno disuelto, mg/L y % de Sat	HIDROLAB DS5X	-
Nitrógeno en forma de amonio, µM	Colorimétrico	Parsons et al. (1984)
Nitrógeno en forma de nitrito, µM	Colorimétrico	Parsons et al. (1984)
Nitrógeno en forma de nitrato, µM	Reducción con cadmio/colorimétrico	Parsons et al. (1984)
Fosforo total, µM	Espectrofotométrico	Parsons et al. (1984)
Clorofila a, µg/L	Espectrofotométrico	Parsons et al. (1984)

Fuente: elaboración propia.

Índice de eutroficación *TRIX*

El índice *TRIX* propuesto por Vollenweider et al. (1998) y validado por Escobedo Urías (2010) para el Golfo de California (equivalente al $TRIX_{GC}$, en lo sucesivo se utilizará la denominación *TRIX* cuando utilicemos la ecuación validada para los ecosistemas del Golfo de California), es útil para comparar información en un amplio intervalo de situaciones, al conjugar factores que están directamente relacionados con la productividad (la clorofila a y el oxígeno disuelto), y con los nutrientes (nitrógeno y fósforo), de acuerdo a la ecuación:

$$TRIX = \frac{(\text{Log}[\text{Chl a} \times \text{a\%OD} \times \text{NID} \times \text{PO}_4]) + 1.5}{1.2}$$

Dónde:

TRIX: índice del estado trófico

CHL A: concentración de Clorofila a en µg/L

A%OD: valor absoluto de la desviación del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, es decir $|100 - \% \text{OD}|$

NID: nitrógeno inorgánico disuelto ($\text{N-NO}_2^- + \text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$), en mg/L

PO₄: concentración de fósforo en forma de ortofosfatos en mg/L

Las constantes 1.5 y 1.2 se refieren respectivamente, a los valores mínimos de las variables que componen el índice y a los 4 niveles de jerarquía en que está diseñado, es decir, que el *TRIX* tiene valores entre 2 y 8 (Tabla 3). Estos representan una variedad de situaciones tróficas con una resolución muy fina, relacionadas con un ambiente costero desde condiciones oligo-

tróficas a eutróficas. Valores cercanos a 8 indican una fuerte eutrofización, caracterizados por altas concentraciones de nitrógeno, fósforo y clorofila a, además de una baja en el contenido de oxígeno, mientras que, cuando los valores del índice se aproximan a 2, indican aguas con bajo impacto antropogénico (Damar, 2003).

TABLA 3.
ESCALA TRIX.

TRIX	Calidad del agua	Características del agua
2-4	Alto	Aguas poco productivas Nivel trófico bajo
4-5	Bueno	Aguas medianamente productivas Nivel trófico medio
5-6	Malo	Aguas entre productividad media y alta Nivel trófico alto
6-8	Pobre	Aguas de alta productividad Nivel trófico muy alto

Fuente: elaboración propia con base en Penna et al., 2004.

Los datos del índice TRIx para las diferentes estaciones durante cada mes del año fueron sometidos a pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y homocedasticidad (Cochran). Posteriormente, debido a que los datos fueron normales ($p > 0.05$) y homocedásticos ($p > 0.05$), se aplicó un análisis de varianzas (ANOVA) de dos vías para analizar el efecto de los factores “Estación”, “Mes” y la interacción entre ambos factores (“Estación * Mes”) y un análisis *post hoc* de Fisher LSD. Todos los análisis se realizaron con un nivel de significancia de 0.05 en el paquete estadístico Statistica (v8.0).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperatura

Los resultados obtenidos muestran fluctuaciones en los valores de temperatura producto de la estacionalidad, ya que se midieron los valores máximos de temperatura en meses cálidos y mínimos durante los meses fríos, lo que corresponde al máximo y mínimo de irradiación solar respectivamente, presentando los valores más bajos de 26.05 ± 0.29 °C en enero y el valor más alto de 33.09 ± 0.41 °C en agosto, con un promedio anual de 29.81 ± 2.64 °C.

Esta situación es ligeramente más alta a la reportada por Izaguirre Flores (2011) para el estero de Urías, ya que reportó una temperatura anual promedio de 27.88 ± 2.64 °C.

La salinidad en las lagunas costeras muestra variaciones considerables tanto en el espacio como en el tiempo, ya que algunas de ellas reciben afluentes de ríos cuyo volumen cambia en cada estación, u otras, en su carácter de receptoras de aguas residuales, reciben aportes dulceacuícolas que alteran su contenido de sales disueltas (Foyn, 1969). Esta situación es similar a la que presenta el estero de Urías ya que se observan las menores salinidades en la estación 1 (estero del Infiernillo) y estación 2 (puente Juárez) con un promedio anual de estas estaciones de 32.02 ± 7.10 UPS y 33.47 ± 3.51 , ambas son estaciones de baja profundidad ($< 1\text{m}$) y además que es en la que se dan principalmente los aportes antropogénicos, así como el aporte continuo del arroyo Jabalines, aumentando su concentración hacia las zonas más profundas del estero y con mayor interacción con el agua oceánica que serían las estaciones 3, 4 y 5 con valores 34.17 ± 1.58 UPS, 34.20 ± 2.19 UPS y 34.04 ± 2.89 UPS respectivamente. Temporalmente, en septiembre se presentan las salinidades más bajas, adjudicadas a las mayores precipitaciones, el promedio para este mes fue de 23.12 ± 7.97 UPS, siendo la estación 1 (estero El Infiernillo) la que presentó el valor más bajo, de 9.73 ± 0.01 UPS, en tanto que julio presentó el mayor valor con una salinidad de 35.73 ± 0.21 UPS. El promedio anual para el estero de Urías registró un valor de 33.58 ± 3.91 UPS, valor por debajo del promedio reportado por Izaguirre Flores (2011) para el estero de Urías, ya que reportó una salinidad anual promedio de 35.50 ± 2.6 UPS.

Estado trófico

De acuerdo al índice trófico TRIX (Validado por Escobedo Urías (2010) para el Golfo de California) y al criterio de la clasificación de la legislación italiana (Tabla 3, Penna et al., 2004), el agua costera del sistema estuarino de Urías presenta valores entre 5 y 8 corresponden a un nivel trófico entre alto y muy alto, es decir, que durante todo 2015 las aguas de estas zonas fueron entre media, alta y altamente productivas, con un promedio anual TRIX de 6.57 ± 0.64 (Figura 4, Tabla 4).

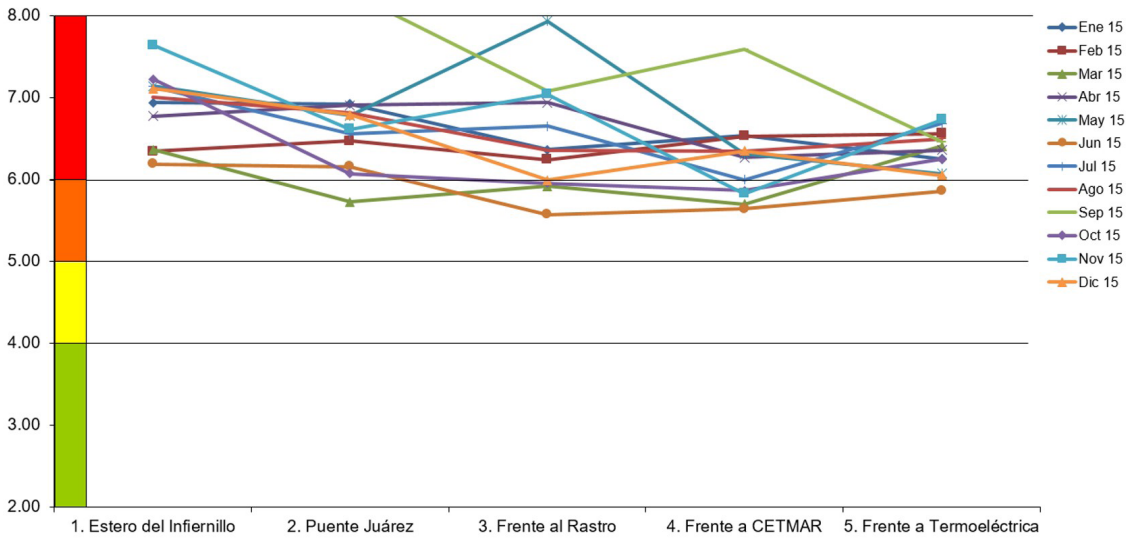
TABLA 4.
VARIACIÓN ANUAL DEL ÍNDICE DE EUTROFIZACIÓN TRIX PARA EL ESTERO DE URÍAS, MAZATLÁN, MÉXICO.

Estación de muestreo	TRIX											
	Ene 15	Feb 15	Mar 15	Abr 15	May 15	Jun 15	Jul 15	Ago 15	Sep 15	Oct 15	Nov 15	Dic 15
1. Estero del Infiernillo	6.93	6.34	6.36	6.77	7.13	6.18	7.13	7.00	9.03	7.22	7.64	7.11
2. Puente Juárez	6.92	6.47	5.72	6.90	6.78	6.15	6.55	6.81	8.27	6.07	6.61	6.79
3. Frente al Rastro	6.36	6.24	5.91	6.94	7.93	5.57	6.65	6.35	7.08	5.95	7.04	5.99
4. Frente a CETMAR	6.54	6.53	5.69	6.26	6.31	5.64	5.99	6.34	7.59	5.86	5.83	6.34
5. Frente a Termoeléctrica	6.25	6.56	6.40	6.36	6.07	5.85	6.68	6.49	6.46	6.24	6.73	6.05

Fuente: elaboración propia.

FIGURA 4.

VARIACIÓN ANUAL DEL INCIDE DE EUTROFIZACIÓN TRIx PARA EL ESTERO DE URÍAS, MAZATLÁN, MÉXICO.



Fuente: elaboración propia.

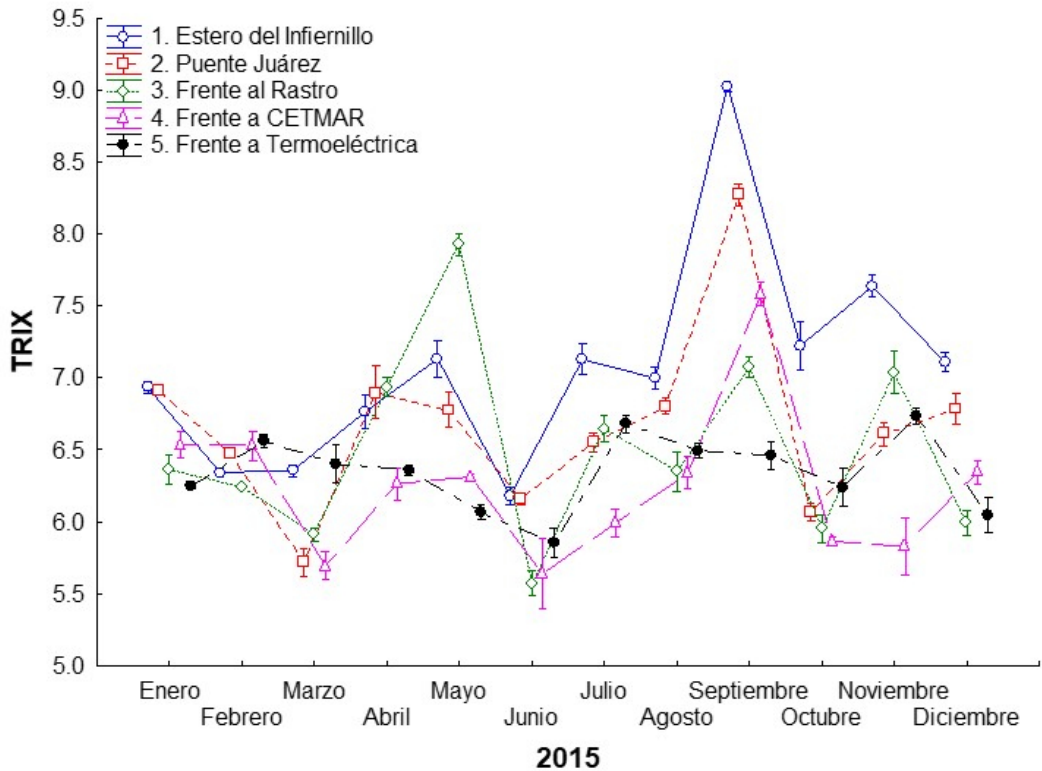
Los valores de TRIx presentaron un efecto significativo por parte de la interacción de los factores “Estación” y “Mes” ($p < 0.05$). De manera general, se pudieron observar incrementos y decrementos en los valores a lo largo del año y en las diferentes estaciones de muestreo, siendo septiembre (que se encuentra dentro de la temporada de lluvias) el mes con valores elevados, seguido de mayo y noviembre ($p < 0.05$), mientras que marzo y junio registran los valores promedio de TRIx más bajo a lo largo del estudio (Fig. 5).

Espacialmente, también se observaron fluctuaciones en los valores TRIx de las diferentes estaciones a lo largo del presente estudio. Sin embargo, la estación 1, correspondiente al estero del Infiernillo, presentó el nivel trófico más alto ($p < 0.05$) (Fig. 5) con una pobre calidad de agua la mayor parte del año. Lo anterior se debe a que esta parte de sistema estuarino de Urías se encuentra rodeada por la mancha urbana de Mazatlán. Además, la capacidad de renovación de sus aguas es baja debido al tamaño tan pequeño de la boca.

Seguida de la estación 1, se encuentran las estaciones 2, 3, 5 y 4, esta última presentó los valores promedio más bajos ($p < 0.05$) (Fig. 5).

FIGURA 5.

VARIACIÓN ANUAL A NIVEL ESPACIAL Y ESTACIONAL DEL INCIDE DE EUTROFIZACIÓN TRIX DE LAS DIFERENTES ESTACIONES
DE MUESTREO EN EL ESTERO DE URÍAS, SINALOA.



Fuente: elaboración propia.

Para el estero de Urias, sería prácticamente nulo el uso y aplicación de un índice de calidad, sin embargo, para la bahía de Mazatlán, se han realizado estudios de eutrofización, como pueden ser el trabajo realizado por Cortés (1994) señalando que el aumento de la eutrofización de las costas de Sinaloa se debe al aporte de aguas residuales de zonas turísticas. Alonso Rodríguez et al. (2000) y la Comisión Nacional de Agua (2001) atribuyeron la eutrofización a fuentes antropogénicas. Pérez Verdugo (2007) también concluyó que las diferentes actividades antropogénicas afectaban el ambiente de la bahía, debido a que el nitrito, nitrato y ortofosfatos presentaron concentraciones promedio muy elevadas, características de un sistema con alto nivel de eutrofización, Quiñones-Gallardo (2008), en una de sus conclusiones menciona que la contaminación por nutrientes es debida a la descarga de las granjas acuícolas.

El único trabajo sobre la utilización de un índice de calidad lo presentó Izaguirre Flores (2011) en un estudio que realizó al estero de Urías durante 2010, en donde menciona que el *TRIX* no muestra mucha diferencia durante toda la campaña de estudio y en las estaciones estudiadas, registrando valores prácticamente entre 5 y 8, es decir, aguas entre productividad media y alta (Nivel trófico alto) y aguas de alta productividad (Nivel trófico muy alto) con agua de calidad mala y pobre, con un promedio anual del *TRIX* de 6.22 ± 0.83 , misma situación que se observó en el presente trabajo de investigación, pero cinco años después sobre el sistema estuarino de Urías, pudiendo constatar que dicha situación no ha mejorado con el paso del tiempo, incluso ha empeorado, ya que el índice pasó de 6.22 en 2010 a 6.57 en 2015, lo que se atribuye al incremento de la población, al aumento de los aportes de nutrientes por la industria, las granjas acuícolas, a la descarga de la PTAR de Urías sobre esa zona que empezó sus operaciones en 2014, a los rellenos que van a la alza en los márgenes del estero y sobre todo a la poca o nulas acciones llevadas a cabo por las autoridades locales, estatales y federales.

CONCLUSIONES

La clasificación temporal del estado trófico *TRIX* en el estero de Urías, durante 2015 corresponde a un nivel trófico alto (calidad del agua mala) y un nivel trófico muy alto (calidad del agua pobre), situación que no se ha visto mejorada en los últimos años, al contrario, ha empeorado.

La estación que representan al estero el Infiernillo, independientemente del periodo de estudio, presentó un nivel trófico muy alto (calidad de agua pobre), debido a la influencia que generan las descargas urbanas y a la baja capacidad de renovación de sus aguas debido a la boca tan pequeña que presenta.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Daniel Alberto Palacios González por su colaboración en el muestreo de aguas para dicho trabajo de investigación.

REFERENCIAS

1. Alonso Rodríguez, R., Páez Osuna, F., & Cortés Altamirano, R. (2000). Trophic Conditions and Stoichiometric Nutrient Balance in Subtropical Waters Influenced by Municipal Sewage Effluents in Mazatlán Bay (SE Gulf of California). *Marine Pollution Bulletin*, 40, 331-339.

2. Álvarez, R. (1980). Hidrología y zooplancton de tres esteros adyacentes a Mazatlán, Sinaloa, México. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología*, 7 (1), 177-195.
3. Ayala Rodríguez, G. (2008). *Grupos funcionales del fitoplancton y estado trófico del Sistema Lagunar Topolobampo-Ohuira-Santa María* (Maestría). IPNCICIMAR.
4. Aranda Cierrol, N. (2001). Alimentando al mundo, envenenando al planeta: Eutrofización y calidad de agua. *Avance y Perspectiva*, 20, 293-303.
5. Bricker, S. B., Ferreira, J. G. & Simas, T. (2003). An integrated methodology for assessment of estuarine trophic status. *Ecological Modelling*, 169, 39-60.
6. Coelho, S., Gamito, S. & Pérez-Ruzafa, A. (2007). Trophic state of Foz de Almargem coastal lagoon (Algarve, South Portugal) based on the water quality and the phytoplankton community. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 71, 218-231.
7. Comisión Nacional del Agua. (2001). *Estudio de calidad del agua de la Bahía de Mazatlán, Subdirección regional técnica*. México: Conagua.
8. Comisión Nacional del Agua. (2010). Servicio Meteorológico Nacional. Temperatura y Precipitación. (<http://smn.cna.gob.mx/>). Fecha de acceso 15 de mayo el 2015.
9. Cortés, A. R. (1994). ¿Las mareas rojas están aumentando en las costas de México? Planctología Mexicana. *Boletín Informativo No. 14 de la Sociedad Mexicana de Planctología*. A. C.
10. Cortés, A. R., Hernández, B. D. U. y Luna, R. S. 1996. Red tides in México: A review. In Yasumoto T., Y. Oshima, y Y. Fukuyo (eds.). *Harmful and Toxic Algal Blooms*. IOC-UNESCO, Paris.
11. Covantes, R. C. (2005). *La percepción de los habitantes sobre los ecosistemas acuáticos en Mazatlán, Sinaloa*. Mexico: Editorial UAS.
12. Damar, A. (2003). *Effects of enrichment on nutrient dynamics, phytoplankton dynamics and productivity in Indonesian tropical waters: a comparison between Jakarta Bay, Lampung Bay and Semangka Bay* (Doctorado). Christian Albrechts Universität, Kiel.
13. Escobedo Urias, D. C. (2010). *Diagnóstico y descripción del proceso de eutrofización en lagunas costeras del norte de Sinaloa* (doctorado). Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.
14. Foyn, E. (1969). Waste disposal and pollution in coastal lagoons. In: UNAM-UNESCO. (Eds.). *Memorias del Simposio Internacional Lagunas Costeras*. Nov. 28-30, 1967. México, D.F. pp. 281-290.
15. García, E. (1973). *Modificaciones al sistema de Clasificación de Kopen*. México: UNAM.
16. Giovanardi, F. & Vollenweider, R. (2004). Trophic conditions of marine coastal waters: experience in applying the Trophic Index $TRIX$ to two areas of the Adriatic and Tyrrhenian seas. *Journal of Limnology*, 63, 199-218.
17. Ignatiades, L., Karydis, M. & Vonatsou, P. (1992). A possible method for evaluating oligotrophy and eutrophication based on nutrient concentration scales. *Marine Pollution Bulletin*, 24, 238-243.

18. INE. (2000). *La calidad del agua en los ecosistemas costeros tropicales. Programa de Medio Ambiente 1995-2000*. México: Instituto Nacional de Ecología/Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca.
19. Izaguirre Flores, E. (2011). *Variación anual de la calidad del agua del sistema estuarino de Uriás, Sinaloa, México* (Maestría). CIAD.
20. Justic, D. (1991). A simple oxygen index for trophic state description. *Marine Pollution Bulletin*, 22, 201-204.
21. Karydis, M., Ignatiades, L. & Moschopoulou, N. (1983). A Index associated with Nutrient Eutrophication in the Marine Environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 16, 339-344.
22. López Aguiar, L. K. (2006). *Distribución Espacial y Estacional de las principales especies químicas del nitrógeno en aguas de las lagunas costeras de Sinaloa* (Maestría). Instituto de Limnología y Ciencias del Mar. Universidad Autónoma de México.
23. López Cortés, D., Gárate Lizárraga, I., Bustillos Guzmán, J., Alonso Rodríguez, R. & Murillo Murillo, I. (2003). Variabilidad del estado trófico y la biomasa del fitoplancton de Bahía Concepción, Golfo de California (1997-1999). *Hidrobiológica*, 13, 195-206.
24. Magaña Álvarez, M. (2004). *Distribución de nutrientes y su efecto en el nivel trófico de la laguna Macapule, Sinaloa* (Maestría). IPN-CIIDIR.
25. Nasrollahzadeh, H. S., Din, Z. B., Foong, S.Y. & Makhloogh, A. (2008). Trophic status of the Iranian Caspian Sea based on water quality parameters and phytoplankton diversity. *Continental Shelf Research*, 28, 1153-1165.
26. Norma Oficial Mexicana, NOM-059-ECOL-2001. (2001). *Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*.
27. Páez Osuna, F., Guerrero-Galván, S. R. & Ruiz-Fernández, A. C. (1998). The environmental impact of shrimp aquaculture and the coastal pollution in Mexico. *Mar. Poll. Bull.*, 36, 65-72.
28. Páez Osuna, F., Ramírez Resendiz, G., Ruiz Fernández, A. C. & Soto Jiménez, M. F. (2007). *La Contaminación por nitrógeno y fósforo en Sinaloa: Flujos, Fuentes, Efectos y Opciones de Manejo*. México: Universidad Autónoma de México.
29. Parsons, T., Maita, C. & Lally, C. (1984). *A manual of chemical and biological methods of seawater analysis*. Oxford: Pergamon Press.
30. Penna, N., Capellacci, S. & Ricci, F. (2004). The influence of the Po River discharge on phytoplankton bloom dynamics along the coastline of Pesaro (Italy) in the Adriatic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 48, 3-4, 321-326.
31. Pérez Verdugo, F. (2007). *Determinación de variables físicas, químicas y nutrientes (nitratos y fosfatos) en el Estero de Uriás y en la Bahía de Mazatlán* (Licenciatura). UAS, FACIMAR.
32. Pettine, M., Casentini, B., Fazi, S., Giovanardi, F. & Pagnotta, R. (2007). A revisitation of TRIX for trophic status assessment in the Light of the European Water Framework Directive: Application to Italian coastal waters. *Marine Pollution Bulletin*, 54, 1413-1426.

33. PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) (2002). Zonas marinas y costeras, panorama mundial pasado, presente y futuro. En: *Geo 3 Perspectiva mundial del medio ambiente*.
34. Quiñonez-Gallardo, W. E. (2008). *Aportes de nitrógeno por efluentes acuícolas al estero de Urias: concentración de las especies químicas y composición isotópica* (Licenciatura). Instituto Tecnológico de Mazatlán.
35. Rivera Arriaga, E. & Villalobos, G. (2001). The coast of Mexico: approaches for its management. *Ocean and Coastal Management*, 44, 11-12, 729-756.
36. Stefanou, P., Tsirtsis, G. & Karydis, M. (2000). Nutrient Scaling for Assessing Eutrophication: The Development of a Simulated Normal Distribution. *Ecological Applications*, 10, 303-309.
37. Vascetta, M., Kauppila, P., Comino, E. & Rosso, M. (2004). Indicators for coastal marine eutrophication: application of Trophic Index $TRIX$ in the northern Gulf of Finland. *14 Meeting of Italian Association of Ecology*. <http://www.xivcongresso.societaitalianaecologia.org/articles/>.
38. Villalba, L. (1986). Descripción general del estero de Urias, Mazatlán, Sinaloa. *Ciencias del Mar*, 8, 32-37.
39. Vollenweider, R.A., Giovanardi, F., Montanari, G. & Rinaldi, A. (1998). Characterization of the Trophic Conditions of Marine Coastal Waters with Special Reference to the NW Adriatic Sea: Proposal for a Trophic Scale, Turbidity and Generalized Water Quality Index. *Environmetrics*, 9, 329-357.
40. Wasmund, N., Andrushaitis, A., Lysiak-Pastuszak, E., Müller-Karulis, B., Nausch, G., Neumann, T., Ojaveer, H., Olenina, I., Postel, L. & Witek, Z. (2002). Trophic Status of the South-Eastern Baltic Sea: A Comparison of Coastal and Open Areas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 53, 849-864.