

BP-67

ÍNDICES PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL DEL ESTADO TRÓFICO DE LAS AGUAS EN BAHÍAS CUBANAS SEMICERRADAS.

Mabel Seisdedo¹, Gustavo Arencibia²

¹Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC). mabel@gestion.ceac.cu

Calle 17 esq. Ave 46 s/n. Reparto Reina, Cienfuegos 55100, Cuba.

² Centro de Investigaciones Pesqueras.

5^{ta} Ave y calle 246. Santa Fe. C.P.17100. Ciudad de La Habana. Cuba.

RESUMEN

Las investigaciones sobre la eutrofización en sistemas tropicales y estuarinos son necesarias teniendo en cuenta la complejidad de las interacciones ecológicas en los estuarios y la identificación de pequeños focos de mareas rojas en determinadas áreas de estos sistemas. Además, la mayoría de las investigaciones existentes sobre este tema refieren casos de países de latitudes templadas. Existen diversos índices de eutrofización, así como otras formas de clasificación según los intervalos de nutrientes; sin embargo la aplicación de algunos índices ha generado resultados no satisfactorios y se ha evidenciado discrepancias en los intervalos de concentración de nitrógeno y fósforo. Lo anterior sugiere la falta de representatividad de dichos métodos de evaluación y la necesidad de obtener herramientas científicas fidedignas como soporte de la definición de políticas en función de la gestión integral de la zona costera. Para esto, se realizó un análisis de la frecuencia de uso de indicadores de estado, una revisión de indicadores de presión y el análisis de los mismos en dos bahías cubanas semicerradas. Esto generó la propuesta de índices de presión y estado (IP y IE) como herramientas científicas dentro la gestión ambiental de estos sistemas, los cuales brindan evaluaciones del estado trófico de las aguas que están en correspondencia con las presiones que representan las cargas de nutrientes sobre sus características ambientales.

INTRODUCCION

Entre los ecosistemas costeros que reciben mayor afectación de la calidad de sus aguas se encuentran las bahías, principalmente las semicerradas. A menudo se realiza la evaluación del estado trófico mediante la aplicación de índices generados en estudios a determinadas zonas marinas y estuarinas ubicadas en latitudes templadas. Sin embargo, Coelho *et al.* (2007) y Salas *et al.* (2008) señalan la ineficacia de algunos índices en contextos diferentes.

Para evaluar la calidad de las aguas en sistemas marino-costeros cubanos, existen dos normas; sin embargo, los criterios de calidad expuestos se consideran rigurosos para las condiciones de los ecosistemas marino-costeros semicerrados e incluso, algunos criterios no se exponen de forma cuantitativa.

En este sentido, el propósito de este trabajo es proponer dos índices como herramientas científicas fidedignas para la gestión ambiental de bahías cubanas semicerradas, los cuales tengan como base la correspondencia de las respuestas de estos sistemas con las presiones que representan las cargas de nutrientes sobre las características ambientales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para valorar las presiones que representan las cargas de nutrientes sobre las características ambientales del sistema, se seleccionaron los indicadores de presión propuestos en la literatura consultada (USEPA 2001, Bricker *et al.* 2003, Cardoso y Carmona 2004) y se realizó un análisis de los criterios existentes para éstos, mediante la correspondencia con diferentes evaluaciones del estado trófico obtenidas para dos bahías cubanas semicerradas con características similares, teniendo en cuenta algunas metodologías (USEPA 2001, Cardoso y Carmona 2004). Se realizó un análisis de la similitud entre la bahía de Cienfuegos y la bahía de La Habana, considerando los criterios como: medidas asociadas con la morfología, la variabilidad de la salinidad y temperatura, además de criterios de manejo relacionados con los usos y objetivos de calidad.

La definición de los indicadores de presión, los rangos de éstos y la forma de combinarlos, se realizó mediante consultas a un grupo de expertos.

Para la selección de las variables a incluir dentro del índice de estado, se analizó la importancia ambiental de las variables hidrológicas consideradas en estudios de evaluación de estado tróficos en sistemas marino-costeros, mediante la frecuencia de uso, tanto en propuestas publicadas de índices para dicho propósito, como en aplicaciones de éstos a nivel nacional e internacional, considerando un valor mayor o igual a 50 % y que fueran variables respuestas.

Los criterios de calidad para cada variable de estado seleccionada fueron obtenidos a partir de literatura consultada, en la cual se han registrado efectos nocivos asociados a la eutrofización en sistemas estuarinos.

Para la agrupación de las variables dentro del índice de estado, se tuvo en cuenta la propuesta de CCME (2001). Para la definición de la cantidad de indicadores se realizó un análisis de correlación no paramétrica (Spearman).

En la etapa de validación se aplicó el índice de estado propuesto en ambos sistemas con características similares. Para la selección de estos datos se tuvo en cuenta que el mes de muestreo correspondiera a la temporada poco lluviosa, donde los sistemas están más propensos a presentar eventos de eutrofización por presentar un mayor tiempo de residencia, según Herrera-Silveira (2006).

Teniendo en cuenta el apoyo que, tanto un índice de estado como de presión, pueden representar a la definición y evaluación de acciones de gestión ambiental, se decidió evaluar la eficacia del índice de estado trófico desarrollado mediante el análisis de la correspondencia entre las evaluaciones generadas de la aplicación del mismo con los nuevos resultados y las presiones que representan las cargas de nutrientes sobre sus características ambientales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propuesta de índice de presión (IP)

Al analizar los resultados ya expuestos sobre las evaluaciones de los estados tróficos de las dos bahías consideradas y los de la combinación de las clasificaciones obtenidas para las características físicas consideradas, se obtuvo escasa diferencia en cuanto a las susceptibilidades de estos sistemas. Teniendo en cuenta esto, se relacionó por sistema acuático, la carga diaria estimada con la capacidad de dilución, ya que se

obtuvo un mejor indicador relacionado con la capacidad de asimilación del sistema por ser más sensible por la inclusión de dos factores de importancia.

A partir de las evaluaciones del estado trófico de los dos sistemas acuáticos analizados, se definieron los intervalos de las dos clasificaciones para este nuevo indicador mediante la diferencia de órdenes, de acuerdo a los criterios de los expertos.

Para la obtención del resultado final del IP, considerando los criterios de los expertos consultados, se propuso combinar de la forma expuesta en el **Tabla 1**.

Tabla 1. Clasificaciones propuestas para el índice de presión.

t_{res} (d)	Q/V_{est} ($\times 10^{-9}$ ton/m ³)	Evaluación final de IP	Significado
Alto (> 45)	2 Alto	Alto (\geq 2 Alto)	Los elementos de presión pueden favorecer condiciones eutróficas desde un punto de vista global
Medio (15 - 45)		Medio (1Alto+2 Bajo)	Los elementos de presión pueden influir en la presencia de condiciones eutróficas en uno de los puntos analizados
Bajo (< 15)	2 Bajo	Bajo (1Medio+2 Bajo) o (3 Bajo)	Los elementos de presión no favorecen condiciones eutróficas

Propuesta de índice de estado (IE)

Variables a considerar.

El análisis de la frecuencia del uso de variables para estos tipos de estudios reflejó que: el oxígeno disuelto (OD), tanto en mg/L o en % de saturación, la clorofila *a* (Cl.*a*) y los nutrientes son las que en mayor porcentaje se utilizan en las evaluaciones de estados tróficos de las aguas marinas y estuarinas.

Teniendo en cuenta la dificultad que existe en la definición de criterios de nutrientes en sistemas estuarinos, tal cual exponen Borja *et al.* (2008); solo se considera el OD y la

Cl. a. Se decidió considerar como mejor indicador al porcentaje de saturación de oxígeno en vez de la concentración de OD en mg/L solo para el nivel más profundo de la columna de agua considerando el modelo de Cloern (2001). También, se decide incluir para la evaluación del estado trófico de las aguas, el análisis de los niveles de clorofila *a* en la zona fótica.

Obtención de criterios para niveles eutróficos en sistemas estuarinos.

Un sistema se considera carente de oxígeno o anóxico con 0 % de saturación de oxígeno, mientras que se considera hipóxico entre 1 y 30 % de saturación, intervalo en el que no sobreviven muchos peces. También Cisterna *et al.* (2008) ha usado como criterio de hipoxia, intervalos de valores iguales o menores de 30% saturación de oxígeno y en sistemas estuarinos de Australia, se han reportado para el nivel del fondo, valores de este indicador superiores a 40 % antes de ocurrir eventos de eutrofización que han generado la reducción a valores inferiores de 20 % (Cook *et al.* 2010). Como en el índice se analiza el % de saturación de OD, el criterio estándar que se consideró para este estudio es el intervalo de valores menores e iguales que 30 %.

Respecto a la clorofila *a*, Contreras *et al.* (1994) y Bricker *et al.* (2003) en la definición de intervalos de concentraciones de este pigmento correspondientes a niveles tróficos altos, coinciden en exponer para sistemas estuarinos el criterio de valores superiores a 20 mg Cla./m³. En este sentido, se ha reportado (USEPA 2001) que sistemas estuarinos enriquecidos de EUA, durante el verano, han mostrado con frecuencia valores de concentraciones en el rango de 20 a 40 µg/l. Por ello, en este estudio se consideró para la clorofila *a* como criterio estándar, el intervalo de valores mayores de 20 µg/l.

Formulación del índice de estado

Para el agrupamiento de estos dos tipos de variables respuesta del proceso de eutrofización, se tuvo en cuenta el método propuesto por CCME (2001). Por tanto, el índice del estado trófico de las aguas quedó conformado por los indicadores siguientes:

$$Ird = C(Cl.a) \quad \text{y} \quad Iri = C(sat.OD)$$

(x) es cada variable analizada

$C(x)=0$ si el valor obtenido se encuentra dentro del intervalo considerado estándar o no eutrófico para cada variable ambiente.

$C(x)=1$ si el valor obtenido no se encuentra dentro del intervalo considerado estándar para cada variable ambiente.

Considerando la necesidad de establecer un intervalo fácilmente manejable, se le agregó un valor que normaliza los resultados entre 0 y 1.

$$IE = 0,71\sqrt{(Ird)^2 + (Iri)^2}$$

Validación del índice de estado trófico propuesto.

El análisis comparativo entre los dos sistemas semicerrados analizados arrojó que en la bahía de La Habana, de sus cinco estaciones hidrológicas existentes, dos de ellas presentaron valores de Cl.a que muestran condiciones eutróficas ($> 20 \mu\text{g/L}$), mientras que dicho estado solo se constató mediante los valores de sat. OD ($\leq 30 \%$) en una sola estación. Por otro lado, desde un punto de vista global, los valores medios de ambos indicadores de respuestas considerados dentro del índice, mostraron la presencia de condiciones eutróficas de las aguas, relacionado con la respuesta directa del sistema y no con la respuesta indirecta.

Por su parte, en la bahía de Cienfuegos, no se constató presencia de condiciones eutróficas en ninguna de las estaciones existentes en su programa de monitoreo. El análisis global arrojó valores medios que clasifican a esta bahía como no eutrófica; aunque no debe obviarse la posibilidad de que al menos en algún punto de ella se manifiesten respuestas indicadoras de condiciones eutróficas, tal cual se obtuvo por Seisdedo *et al.* (2010).

En correspondencia con el análisis anterior, se obtuvieron valores de IE que reflejan desde el punto de vista global, estado eutrófico para las aguas de la bahía de La Habana y no eutrófico para las aguas de la bahía de Cienfuegos. En este análisis se apreció que entre las dos bahías seleccionadas, apenas existen diferencias entre los resultados considerados en la definición del IP y los resultados obtenidos de la aplicación del IE con los nuevos datos, lo cual muestra la correspondencia entre las evaluaciones de ambos índices.

CONCLUSIÓN

El desarrollo de dos índices (IP y IE) como herramientas científicas dentro la gestión ambiental de bahías cubanas semicerradas, permite obtener evaluaciones del estado trófico de las aguas que están en correspondencia con las presiones que representan las cargas de nutrientes sobre sus características ambientales. De este modo, se brindan dos herramientas científicas que responden de manera fidedigna a la gestión

del estado trófico de las aguas de estos sistemas, lo que constituye un resultado novedoso y de gran contribución a la gestión ambiental.

REFERENCIA

Borja, A. y Dauer D.M. (2008). Assessing the environmental quality status in estuarine and coastal systems: comparing methodologies and indices. *Ecol. Indic.* 8 (4), 331–337.

Bricker, S. B, Ferreira, J.G. y Simas T. (2003). An integrated methodology for assessment of Estuarine Trophic Status. *Ecol. Model.* 169, 39-60.

Cardoso, M. y Carmona, A. (2004). Environmental Indicators as tools for the management of estuaries-Methodology and the case study of the Tejo Estuary. *J. Coastal Conservation.* 10, 13-24.

CCME (2001). Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux: Indice de qualité des eaux du CCME 1.0. Manuel de l'utilisateur, dans *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*, 1999, Conseil anadien des ministres de l'environnement, Winnipeg. 6 pp

Cisterna, J.A., Saldías, G.S. y Cáceres C.W. (2008). Efecto de la hipoxia en la conducta de forrajeo de *Cancer setosus* (Molina, 1782) (Crustacea: Decapoda) alimentado con *Mytilus chilensis* (Hupé, 1854). *Rev. Biol. Mar. Oceanog.* 43(2), 419-423.

Cloern, J.E. (2001). Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 210, 223-253.

Coelho, S, Gamito, S. y Pérez-Ruzafa A. (2007). Trophic state of Foz de Almargem coastal lagoon (Algarve, South Portugal) based on the water quality and the phytoplankton community. *Estuar. Coast. Shelf. S.* 71(1–2), 218–231.

Contreras, F., Castañeda, O. y Torres R. (1997). Hidrología, nutrientes y productividad primaria en las lagunas costeras del estado de Oaxaca, México. *Hidrobiología.* 7, 9-17.

Cook, P.L.M., Holland, D.P y Longmore A.R. (2010). Effect of a food event on the dynamics of phytoplankton and biogeochemistry in a large temperate Australian lagoon. *Limnol. Oceanogr.* 55(3), 1123-1133.

Herrera-Silveira (2006). Lagunas costeras de Yucatán (SE, México): INvestigación, diagnostic y manejo. *ECOTROPICOS. Sociedad Venezolana de Ecología.* 19(2), 94-108.

Salas, F., Teixeira, H., Marcos, C., Marques, J.C. y Pérez-Ruzafa A. (2008). Applicability of the trophic index TRIX in two transitional ecosystems: The Mar Menor lagoon (Spain) and the Mondego estuary (Portugal). *ICES J. Mar. Sci.* 65, 1442-1448.

Seisdedo, M, Arencibia, G, Moreira, A. y Morales Y. (2010). Análisis comparativo del estado trófico de las aguas la bahía de Cienfuegos (2009). Memorias. V Taller Internacional Contaminación y Medio Ambiente 2008. La Habana, 1 al 5 de marzo 2010. CD-ROM

USEPA. (2001). EPA-822-B-01-003. Nutrient Criteria Technical Guidance Manual. Estuarine and Coastal Marine Waters. United States Environmental Protection Agency. Office of Water 4304, Manual. Washington, DC. 362 pp