

El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos.

Water Quality Index, a tool for water resources management

Lino Valcarcel Rojas, Nancy Alberro Macías, Daniel Frías Fonseca.
Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN)
Calle 30 No 502, entre 5ta y 7ma Ave, Playa. Ciudad de La Habana. Cuba. P.O. Box 6122
Telf: (537) 2066110, Fax: (537) 2066110
e-mail: lino@ceaden.edu.cu

Resumen

Este artículo tiene como objetivo presentar información sobre las posibilidades que ofrece el empleo de un Índice de Calidad de Agua (ICA) en la gestión de los recursos hídricos. Un ICA brinda una manera conveniente de resumir la gran cantidad de datos generados en los monitoreos y facilita la comunicación de estos resultados a una audiencia no especializada. Se presenta dos índices a modo de comparación, mostrándose el método de cálculo y la forma de presentar sus resultados. Se exponen ciertos aspectos a tener en cuenta al aplicar el índice de manera que se obtengan resultados confiables. Dado su capacidad para sintetizar información variada y compleja, así como su potencial como herramienta de comunicación, se perfila como un instrumento valioso para ayudar en la toma de decisiones.

Abstract

This article is intended to provide information about the possibilities offered by the use of a of water quality index (WQI) in the management of water resources. The index provides a convenient way to summarize the large amount of data generated in monitoring and facilitates communication of these results to a non-specialist audience. It presents two indices by way of comparison, showing the method of calculation and the way to present their results. Sets out certain aspects to take into account in applying the index of so as to obtain reliable results. Given its ability to synthesize complex information, as well as its potential as a tool of communication, is portrayed as a valuable tool for help in making decisions.

Plabras Clave: RECURSOS HIDRICOS, INDICE DE CALIDAD DEL AGUA, GESTION DE RECURSOS HIDRICOS

INTRODUCCIÓN

El agua se considera un recurso renovable pues se renueva constantemente a través del ciclo hidrológico. Sin embargo, esto no significa que es infinito. El consumo de este recurso aumenta rápidamente y sus fuentes de suministro están muy amenazadas por los contaminantes generados por el hombre. Se requiere entonces manejar adecuadamente este recurso y monitorear constantemente su calidad.

Una parte integral de cualquier programa de monitoreo ambiental es comunicar sus resultados a los gerentes y directores, así como al público en general. Es práctica tradicional redactar informes describiendo la conformidad o no de los valores hallados de cada parámetro analizado con los niveles establecidos en las normas. Sin embargo, en muchos casos, las personas encargadas de la toma de decisiones y el público no tienen la inclinación profesional y el entrenamiento, para estudiarlos en detalle. Preferiblemente requieren declaraciones relacionadas con el estado general del sistema en cuestión.

Si se puede reducir la naturaleza multivariada de los análisis sobre calidad de agua a un valor único, se podrá conocer rápidamente cual es el “estado de salud” del sistema monitoreado. Una manera de hacerlo es calcular un índice que combine matemáticamente a todas las medidas de calidad de agua y de esta manera provea una descripción general y fácilmente entendible de un cuerpo contaminado y reflejar la condición global del mismo (Fernández, y Solano, 2005).

Este trabajo tiene como objetivo presentar información relativa al empleo de los índices de calidad de agua, método de cálculo, ventajas y limitaciones, con el fin de despertar el interés de los organismos encargados del manejo de los recursos hídricos.

Índices de Calidad del Agua

Un índice de calidad de agua, consiste básicamente en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros que caracterizan la calidad del agua. Su ventaja radica en que puedes ser más fácilmente interpretado que una lista de valores numéricos. Los usuarios de esta información pueden estar estrechamente relacionados, como: biólogos, ingenieros sanitarios y ambientales, administradores de recursos hídricos; o en su defecto personas apenas familiarizados con la misma, como el caso de usuarios, abogados y público en general; sin embargo, unos y otros podrán rápidamente tener una idea clara de la situación que expresa el índice (contaminación excesiva, media o inexistente, entre otras).

Usos de los Índices

Los índices pueden ser usados para mejorar o aumentar y difundir la información sobre la calidad del agua. De acuerdo con Ott (1978), los posibles usos de los índices son seis:

- 1- Manejo del recurso: pueden proveer información a personas que toman decisiones sobre las prioridades del recurso.
- 2- Clasificación de Áreas: para comparar el estado del recurso en diferentes áreas geográficas.
- 3- Aplicación de normatividad: permite determinar si se está sobrepasando la normatividad ambiental y las políticas existentes.
- 4- Análisis de la tendencia: el análisis de los índices en un periodo de tiempo, pueden mostrar si la calidad ambiental está empeorando o mejorando.
- 5- Información pública: los índices pueden tener utilidad en acciones de concientización y educación ambiental.
- 6- Investigación Científica: simplificar una gran cantidad de datos de manera que se pueda analizar fácilmente y proporcionar una visión de los fenómenos medioambientales.

Formulación de un Índice de Calidad de Agua.

Muchos de los recientes índices de calidad de agua tienen como aspecto común, su cálculo sobre la base de los siguientes 3 pasos consecutivos:

- 1- Selección de Parámetros (usualmente entre 2 y 73 variables).
- 2- Determinación de los valores para cada parámetro: subíndices.
- 3- Determinación del Índice por la agregación de los subíndices.

Finalmente, la determinación del Índice de Calidad de Agua se da por la integración de los subíndices que lo conforman.

Desde sus principios la base de la mayoría de los índices, la constituyó la metodología Delphi, que se aplicó al índice de Calidad de Agua desarrollado por “The National Sanitation

Foundation (NSF)", y cuyo proceso de elaboración se describe a continuación

La técnica de investigación Delphi de la "Rand Corporation's" (Ball y Church 1980) es utilizada comúnmente en paneles de expertos Para la obtención del índice se llevaron a cabo tres estudios. En el primero, se presentaron 35 variables a incluir en el índice; las cuales fueron analizadas por los expertos y clasificadas en tres categorías de acuerdo a si el parámetro debía ser: "no incluido", "indeciso" o "incluido". Las variables seleccionadas a incluir debían ser calificadas entre 1 y 5 de acuerdo a su importancia, siendo uno la calificación de más importante (Ott, 1978; Brown et al., 1970).

En un segundo estudio, se presentó la evaluación comparativa de las respuestas dadas por todos los expertos. Como resultados se identificaron 9 variables importantes: Oxígeno Disuelto, DBO₅, Coliformes Fecales, pH, Nitratos, Fosfatos, Desviación de la Temperatura, Turbidez y Sólidos Totales.

Finalmente se elaboraron gráficos que representaban la variación de la calidad del agua con un rango de valores para cada parámetro escogido. Los niveles de Calidad de Agua tuvieron un rango de 0 a 100 que fueron localizadas en las ordenadas y los diferentes niveles de las variables en las abscisas. Estas curvas son conocidas como "Relaciones Funcionales" o "Curvas de Función (Ott, 1978; Brown et al., 1970)

El resultado final es interpretado de acuerdo con la siguiente escala de clasificación, en la que el fondo representa el color correspondiente a cada rango:

Excelente:	91-100
Buena:	71-90
Media:	51 -70
Mala:	26-50
Muy Mala:	0- 25

Las aguas clasificadas como excelentes y buenas pueden soportar una alta diversidad de vida acuática y son apropiadas para todo tipo de recreación y para la toma de agua para potabilización. Las de características medias o promedio generalmente poseen menos diversidad de organismos acuáticos y frecuentemente manifiestan un crecimiento anormal de algas. Aquellas aguas que caen dentro de la clasificación de regular pueden soportar una baja diversidad de vida acuática y probablemente experimenten problemas de contaminación. Las aguas dentro de la categoría de pobre solo pueden soportar un número limitado de organismos acuáticos, pudiendo esperarse que tengan grandes problemas de calidad. Normalmente no se consideran aceptables para actividades que involucren el contacto directo con el agua.

El método empleado en la elaboración de este índice implica la simplificación y el uso de juicios subjetivos (Alberti y Parker, 1991) por lo que existe la posibilidad de asignar mayor importancia a algunos parámetros o no considerar otros. Por tanto, es importante que los parámetros y valores que constituyen un índice se precisen adecuadamente. Los índices sólo son útiles como herramientas de decisión para los administradores ambientales, que a su vez estén de acuerdo con la estructura y pesos del índice. Es importante que éstos gestores ambientales sean conscientes de los métodos de diseño del índice (Alberti y Parker, 1991).

Otro ejemplo de índice es el CCME Water Quality Index (CCME WQI) de Canadá. El mismo es flexible respecto al tipo y número de parámetros que deben ser determinados (CCME WQI, 2003).

El cuerpo de agua al que se le aplicará el índice puede estar definido por un punto de muestreo o por varios. Con un solo punto se obtendrán buenos resultados si se cuenta con suficientes datos para el mismo. Entre más puntos se incluyan, más general será la conclusión a la que se llegue, aunque se perderá la información de la posible variabilidad entre dichos puntos.

El período de tiempo escogido dependerá de la cantidad de dato disponible y de los requerimientos del usuario. Usualmente se emplea un período mínimo de un año debido a que los datos sobre un cuerpo de agua se colectan para cubrir este espacio de tiempo. Se pueden combinar datos de años diferentes, especialmente cuando la información en cierto año está incompleta, pero al igual que con los puntos de muestreo se perderá información sobre la variabilidad.

Aunque no se especifica un número máximo de parámetros, es recomendable que para el cálculo del índice se empleen como mínimo cuatro parámetros del que se tengan al menos cuatro valores (4 muestreos). La selección de los parámetros es crítica para garantizar que el índice nos de una información acertada del sistema que se estudia. Escoger un pequeño número de parámetros para los cuales no se cumple con lo normado dará una idea muy diferente del sistema de la que se obtiene si se considera un gran número de variables de las cuales solo un número pequeño no cumplirán con lo deseado.

Para el cálculo del índice son necesario tres factores:

F1 (alcance) representa el porcentaje de parámetros que no cumplen con lo normado (“parámetros fallidos”), al menos una vez en el periodo que se analiza, con respecto al número total de parámetros que se escogieron:

$$F1 = \left(\frac{\text{parámetros} \cdot \text{fallidos}}{\text{total} \cdot \text{de} \cdot \text{parámetros}} \right) \times 100$$

F2 (frecuencia) representa el porcentaje de ensayos individuales que dieron resultados diferentes a lo normado (ensayos fallidos) del total de ensayos que se realizaron. Con ensayos se refiere a análisis de laboratorio que se realizan para cada parámetro.

$$F2 = \left(\frac{\text{ensayos} \cdot \text{fallidos}}{\text{total} \cdot \text{de} \cdot \text{ensayos}} \right) \times 100$$

F3 (amplitud) representa cuan diferente dio el resultado del ensayo con respecto al valor establecido. Este factor se calcula en tres etapas:

- 1 El numero de veces por el cual cada valor fallido es mayor (o menor, en el caso de que lo normado sea un valor mínimo) que el valor establecido se denomina “excursión”. En el caso de que el valor calculado no deba exceder lo normado se calcula de la siguiente forma:

$$\text{excursión}_i = \left(\frac{\text{valor} \cdot \text{fallido}_i}{\text{valor} \cdot \text{normado}_j} \right) - 1$$

En el caso de que el valor calculado no deba ser menor que lo normado se calcula de la siguiente forma:

$$\text{excursión}_i = \left(\frac{\text{valor} \cdot \text{normado}_j}{\text{valor} \cdot \text{fallido}_i} \right) - 1$$

- 2 A continuación se calcula la suma normalizada de las excursiones (nse, siglas en inglés), dividiendo la sumatoria de las excursiones entre el total de ensayos realizados (tanto los que dieron valores que no cumplen con lo normado como aquellos que si cumplen):

$$nse = \frac{\sum_{i=1}^n \text{excursión}_i}{\text{total} \cdot \text{de} \cdot \text{ensayos}}$$

- 3 Finalmente el factor F3 se calcula mediante la formula siguiente:

$$F3 = \left(\frac{nse}{0.01nse + 0.01} \right)$$

Una vez que se tienen los tres factores, el índice puede calcularse, sumándose los tres valores como si fueran vectores. La suma de los cuadrados de cada factor es igual al cuadrado del índice. Esta aproximación trata al índice como un espacio tridimensional donde los factores se colocan a lo largo de cada eje (x, y, z). Con este modelo, el índice cambia de manera directamente proporcional con los cambios que se produzcan en los valores de los factores.

$$CCME \cdot WQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732} \right)$$

El valor de 1.732 normaliza el resultado a un valor entre 0 y 100, donde 0 representa la “peor” calidad y 100 la “mejor” calidad de agua.

Existen cinco categorías dependiendo del valor obtenido:

- Excelente:** (95-100) – la condición del recurso es casi igual a la de su estado natural, sin apenas deterioro de su calidad.
- Buena:** (80-94) – la condición del recurso es cercana a la de su estado natural o a lo deseado, el deterioro de su calidad es menor.

- Regular:** (65-79) – la condición del recurso a veces difiere de su estado natural o lo deseado, la calidad del agua esta ocasionalmente perjudicada.
- Marginal:** (45-64) – la condición del recurso en numerosas ocasiones difiere de su estado natural o lo deseado, la calidad se deteriora frecuentemente.
- Pobre:** (0-40) – la condición del recurso usualmente difiere de su estado natural o lo deseado, la calidad casi siempre esta deteriorada.

Como puede apreciarse, este índice tiene como ventaja que no requiere de realizar transformaciones a los parámetros que participan de la evaluación y evita la subjetividad de asignar diferente importancia o peso de los mismos dentro del cálculo del índice. Asimismo, identifica aquellos parámetros que no cumplen con los niveles establecidos y la frecuencia en que se esto se produce.

A diferencia del índice de la NSF que se calcula como el promedio ponderado de las transformaciones de los distintos parámetros, este representa la distancia geométrica entre los niveles que establecen la legislación para los diferentes parámetros que lo caracterizan y el estado en que se encuentra el recurso. En su elaboración no se obliga a adoptar parámetros específicos para el cálculo, sino que deja abierta la elección de los mismos al buen juicio profesional, situación diferente en los otros índices donde no se admiten que los parámetros sean modificados de acuerdo a las características naturales del recurso.

CONCLUSIONES

El ICA es una herramienta muy útil para comunicar información sobre la calidad del agua a las autoridades y al público. Puede darnos rápidamente una imagen general del estado del recurso. Es muy útil para propósitos comparativos, por ejemplo que puntos de muestreo muestran peor calidad del agua. Cualquier índice, por su diseño, contiene menos información que los datos a partir del cual se obtiene y del que constituye un resumen, por tanto no puede reemplazar el análisis detallado de los datos obtenidos a partir de un plan de monitoreo. Tampoco debe usarse como único criterio para la toma de decisión y el manejo de los recursos hídricos.

BIBLIOGRAFIA

- Alberti, M., Parker, J. 1991. Indices of Environmental Quality: The Search for Credible Measures. *Environmental Impact Assessment Review*, 11, 95-101
- Ball, R., Church, R. 1980. Water Quality Indexing and Scoring. *Journal of the Environmental Engineering Division, American Society of Civil Engineers*, 106, 757-771.
- Brown R., Mcclelland N., Deininger R., Tozer R. 1970. A Water Quality Index- Do We Dare? *Water and Sewage Works*. October, 339-343.
- Brown, R., Mcclelland, N. (1973). Water Quality Index. Application In The Kansas River Basin. US-EPA Report, EPA Region VII. 76 p.
- CCME National Water Quality Index workshop (2003). A path forward for consistent Implementation and reporting. Workshop proceeding. Halifax, Nova Scotia, Canada, 81 p.
- Fernández, N., Solano, F. (2005) Indices de Calidad de Agua e Indices de Contaminación. Universidad de Pamplona, Colombia, 310 p.
- Ott, W. (1978). *Environmental Indices, Theory And Practice*, Aa Science, Ann Arbor, Michigan, USA, 371 p.