



Índice numérico cualitativo para medir la calidad de las aguas costeras cubanas de uso recreativo

Numerical and qualitative index to measure water quality in recreational Cuban coastal waters

Miravet, M. E., Ramírez, O., Montalvo, J., Delgado, Y. y E. Perigó.
Instituto de Oceanología. Ave.1ra e/184 y 186. Rpto. Flores. Ciudad Habana. Cuba.
Mail: maelena@oceano.inf.cu

RESUMEN

A escala internacional existen diversos índices numéricos que se usan para evaluar la calidad del agua a partir de las ponderaciones de variables físico químicas y biológicas seleccionadas de acuerdo al uso que se le dé al agua. Tienen la ventaja de ser fáciles de usar y proporcionan una idea rápida y resumida de la calidad. En Cuba, Suárez, Romero y Perigó (2003) propusieron un índice de contaminación para investigaciones ecológico-pesqueras el cual permite clasificar las áreas de interés pesquero de la plataforma cubana. Cuando se trata de evaluar la calidad del agua en zonas costeras accesibles al baño y la recreación, se aplica la norma nacional NC: 22 (1999), la cual considera las concentraciones de algunos microorganismos indicadores de la contaminación fecal, por su incidencia en la salud humana, sin que se consideren otros parámetros indicadores del deterioro de la calidad del agua. El objetivo del presente trabajo fue elaborar y proponer un índice numérico cualitativo (ICAg), para evaluar la calidad de las aguas costeras con fines recreativos, considerando indicadores físico químicos y microbiológicos. El ICAg se obtuvo por medio de una fórmula matemática que pondera las calidades obtenidas para nueve variables, ocho físico-químicas y una microbiológica, obteniéndose un resultado numérico entre 0 y 100, que califica las aguas en cuatro categorías de calidad: “mala” , “regular”, “buena” y “excelente”. Se incluye el resultado de la aplicación del ICAg en un grupo de estaciones situadas en la costa norte de Ciudad Habana y en el sur de provincia La Habana, respectivamente.



ABSTRACT

At the international scale, there are different numerical indexes used to assess water quality starting from the pondering of physico-chemical and biological variables selected taking into account the uses of the water. The advantage of these indexes is that they are easily applied and provide a rapid and concise idea of water quality. Suárez, Romero and Perigó (2003) proposed a pollution index for ecological-fisheries researches (ICIEP) that allows classifying the areas of fishery interest in the Cuban shelf. Nonetheless, when evaluating water quality in bathing and recreational sites of the coastal zone, there is a national standard NC: 22 (1999) which considers the concentrations of some pathogenic microorganisms without taking into consideration other water quality indicators. The objective of the present paper was to elaborate and propose a qualitative numeric index (ICAg) to assess the quality of coastal waters for recreational purposes, taking into account physico-chemical and microbiological indicators. The ICAg was obtained by means of a mathematical formula that ponders the qualities obtained for eleven variables, eight physico-chemicals and three microbiological; obtaining a numeric result between 0 and 100 that classifies waters into four quality categories: “bad”, “reasonable”, “good” and “excellent”. Results include the ICAg application to a group of stations located north of Havana City and south of Havana Province.

Palabras claves: índice numérico, calidad de aguas, aguas costeras.

Key words: *numerical index, water quality, coastal waters.*

INTRODUCCIÓN

Para evaluar la calidad ambiental se utilizan ciertos factores o parámetros ambientales, que presentan un determinado comportamiento en función de sus propiedades intrínsecas ó de las presiones ejercidas por la actividad humana. Estos parámetros ambientales son conocidos como “indicadores ambientales” y su análisis en conjunto se denomina “índice ambiental” (UNESCO, 2003).

Salazar (1999) definió “índice ambiental” como una agregación de estadísticas y/o indicadores, los cuales resumen una gran cantidad de información relacionada,



usando algún procedimiento sistemático de ponderación, escala y agregado de variables múltiples en un único resumen. El propósito del índice es simplificar la información y hacer más fácil la labor de decisión.

A nivel internacional, existen diferentes índices de calidad ambiental. En 1970 la Fundación de Sanidad Nacional de Estados Unidos desarrolló un índice para evaluar la calidad del agua de los ríos (WQI), que considera nueve variables y califica la calidad en cinco categorías: “muy mala”, “mala”, “media”, “buena” y “excelente”. Posteriormente, Mingo Magro (1981), propuso un índice de calidad que pondera 23 variables físico-químicas y microbiológicas que pueden ser a su vez “básicas” o “complementarias”, de acuerdo al uso del agua.

En España el índice más empleado es el Índice de Calidad General ICG, desarrollado por el antiguo Ministerio de Obras Públicas (MOPU) en 1983. Este índice es un valor adimensional obtenido a partir de 23 parámetros de calidad de las aguas, procesados mediante ecuaciones lineales (Agencia Catalana del Agua, 2003).

En México el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua elaboró un índice que incluye seis variables ambientales (León, 2003) y permite obtener valores de calidad del agua según sus diferentes usos. También, Troncoso, Marín y Martín (2003) formularon un índice de calidad de aguas marinas y estuarinas (ICAM_{PPFF}) para Colombia que emplea seis variables físico-químicas y seis “contaminantes”. Según estos autores, este índice sirve para resumir la información ambiental existente de manera que se emita un concepto unificado de la calidad de las aguas.

En Cuba, Suárez *et al.* (2003) propusieron un índice numérico para evaluar la contaminación (ICIEP) el cual permite clasificar las áreas de interés pesquero de la plataforma cubana. Sin embargo, cuando se trata de evaluar la calidad ambiental en lugares accesibles al baño y a la recreación de la población, la aplicación de este índice no es factible, ya que no tiene en cuenta indicadores microbiológicos que cuantifican la presencia de bacterias patógenas para la salud humana.

El objetivo del presente trabajo es elaborar y proponer un índice numérico cualitativo para evaluar la calidad de las aguas costeras con fines recreativos, a partir de indicadores físico químicos y microbiológicos.



MATERIALES Y MÉTODOS

Para elaborar el índice, se seleccionaron las variables físico-químicas y microbiológica en base al criterio profesional de especialistas con conocimientos relativos al medio marino y los focos de contaminación, y a la información que aparece en la literatura al respecto (León, 2003; Mendoza-Salgado, Lechuga y Ortega, 2005):

- ◆ bacterias coliformes fecales (NMP/100 mL): variable indicadora de contaminación fecal,
- ◆ oxígeno disuelto (mg/L), demanda bioquímica de oxígeno (mg/L), amonio (mg/L) y nitrógeno orgánico (mg/L): variables indicadoras de contaminación orgánica,
- ◆ nitratos (mg/L), fosfatos (mg/L) y fósforo total (mg/L): variables indicadoras de contaminación inorgánica,
- ◆ salinidad (UPS): variable indicadora de influencia terrígena y
- ◆ transparencia (%): variable física que indica la capacidad del agua de ser atravesada por la luz en ausencia de sólidos en suspensión, coloidales o finos, orgánicos o inorgánicos.

Una vez seleccionadas las variables, se recopilaron los valores de las mismas (n=495) obtenidos de los muestreos en cinco estaciones situadas en un sector costero de comprendido entre La Puntilla y el estuario del río Santa Ana (Ciudad Habana), realizados desde el 2004 hasta el 2007.

Se tuvo en cuenta también, el valor límite permisible de concentración de coliformes fecales que establece la Norma cubana NC: 22 (1999) para lugares de baño en costas y en masas de aguas interiores.

Los parámetros físico-químicos seleccionados se determinaron siguiendo las metodologías que proponen FAO (1975), IOC/UNESCO (1993) y APHA (1995), y las concentraciones de coliformes fecales siguiendo la metodología de diluciones seriadas y Tubos Múltiples (Número Mas Probable) de la APHA (1995).

Los valores medidos de cada variable se calificaron mediante una función de ajuste, la cual le asignó un valor entre 0 y 100, siendo 0 “mala calidad” y 100 la mejor condición posible a alcanzar (calidad “excelente”).



Una vez calificadas las variables, se calcularon los coeficientes de ponderación de acuerdo a la importancia que cada variable tiene en la caracterización de las condiciones ambientales de las aguas costeras (Norma cubana NC: 22, 1999; Montalvo, Perigó, Martínez y Pérez, 2003; Mendoza-Salgado, 2005).

Teniendo en cuenta la importancia clasificadora de cada variable y el significado de cada una de ellas, se elaboró una fórmula para el cálculo numérico del índice de calidad del agua.

Después de elaborado el índice de calidad de agua, se aplicó en diferentes estaciones de trabajo situadas en la zona costera de Ciudad Habana que se muestrearon en marzo y julio del 2008, respectivamente, y a un grupo de estaciones muestreadas por Espinosa y colaboradores (1999) en la costa sur de la Provincia Habana.

RESULTADOS Y DISCUSION

Aunque no existen variables universales indicadoras de la calidad del agua, las que se consideran en este índice son representativas de la calidad de las aguas marinas costeras que se usan con fines recreativos y se emplean internacionalmente para evaluar la calidad higiénico sanitaria y la contaminación por materia orgánica e inorgánica en el ecosistema marino (Mingo Magro, 1981; Troncoso *et al.* 2003; León, 2003; U.S. EPA, 2004).

Según León (2003) para que un índice sea práctico debe reducir la enorme cantidad de parámetros a determinar durante el monitoreo de un cuerpo de agua, cuidando escoger aquellos indicadores que sean más representativos del problema que se quiere evaluar.

Para la determinación del índice de calidad del agua los coeficientes de ponderación que se utilizaron como constantes en la fórmula variaron en base a la importancia que se le atribuyó a cada variable (Tabla 1).

Tabla 1. Coeficientes de ponderación para cada variable (O₂: oxígeno disuelto, CF: coliformes fecales, DBO: demanda bioquímica de oxígeno, NH₄: amonio, Pt: fósforo total, N_{ORG}: nitrógeno orgánico, PO₄: fosfatos, T: transparencia y S: salinidad).

Table 1. Pondering coefficient for each variable (O₂: dissolved oxygen, CF: fecal coliforms, BOD: biochemical oxygen demand, NH₄: ammonia, Pt: total phosphorus, N_{ORG}: organic nitrogen, PO₄: phosphates, T: transparence, and S: salinity).

Variables	Coeficientes de ponderación
O ₂	0.17
CF	0.16
DBO	0.13
NH ₄	0.10
Pt	0.10
N _{ORG}	0.09
PO ₄	0.09
T	0.08
S	0.08

Ott (1978) indicó que el asignar pesos específicos a los parámetros tiene el riesgo de introducir cierto grado de subjetividad en la evaluación, pero por otro lado, sugiere que es importante una asignación racional y unificada de dichos pesos de acuerdo al uso del agua y de la importancia de los parámetros en relación al riesgo que implique el aumento o disminución de su concentración.

Finalmente, el índice de calidad del agua (*ICAg*) obtenido a partir de la sumatoria del producto del valor calificado de cada variable multiplicado por su correspondiente peso o coeficiente de ponderación, se representa en la siguiente ecuación:

$$ICAg = \sum_{i=1}^9 q_i f_i \quad (1)$$

donde:

ICAg : índice de calidad del agua

f_i : valor calificado de la variable i

q_i : coeficiente de ponderación de la variable i

Sustituyendo en la fórmula (1) por los coeficientes de ponderación de cada variable, se obtiene la versión final de la fórmula (2) para el cálculo del índice de calidad de aguas:

$$ICAg = (0.17O_2 + 0.16Cf + 0.13DBO_5 + 0.10NH_4 + 0.10Pt + 0.09Norg + 0.09PO_4 + 0.08T + 0.08S) \quad (2)$$

El índice de calidad de aguas (ICAg) permite clasificar las aguas en cuatro categorías según el valor obtenido (Tabla 2), y es aplicable a aguas costeras que se usen con fines recreativos.

Tabla 2. Clasificación de las aguas de uso recreativo según los valores del índice de calidad de aguas (ICAg).

Table 2. Classification of waters for recreational use according to the values of the water quality index (ICAg).

Calidad del agua	ICAg	Representación gráfica
Mala	0 – 25.9	
Regular	26.0 – 50.9	
Buena	51.0 – 76.9	
Excelente	76.0– 100	

En la metodología de estimación del ICA se considera que al faltar el valor de alguno de los parámetros, su peso específico se reparte en forma proporcional entre los restantes, excluyéndolo del operador multiplicativo en el momento de estimar el ICAg.

Adicionalmente al resultado del ICAg, es conveniente analizar en forma individual cada una de las calificaciones de los parámetros con el objeto de establecer si el deterioro se debe a la alta presencia de nutrientes, a la falta de oxígeno, al exceso de bacterias de origen fecal riesgosas para la salud, o al efecto de varios factores.

Cuando el diseño del ICA es adecuado y su cálculo es consistente, el valor obtenido puede ser representativo e indicativo de la calidad del agua y comparable con otros para enmarcar intervalos y detectar tendencias, lo cual es muy útil para los tomadores de decisiones.

Aplicación del índice propuesto.

Los valores que alcanza el ICAg en las estaciones situadas en el segmento costero comprendido entre La Puntilla y el Bajo de Santa Ana, califican la calidad de las aguas entre “mala” y “regular”, excepto en la estación E-5, situada en el centro de la RADA del Instituto de Oceanología, que en el mes de junio alcanzó un ICAg de 56.5, correspondiente al intervalo de valores que indican “buena calidad” (Fig.2).

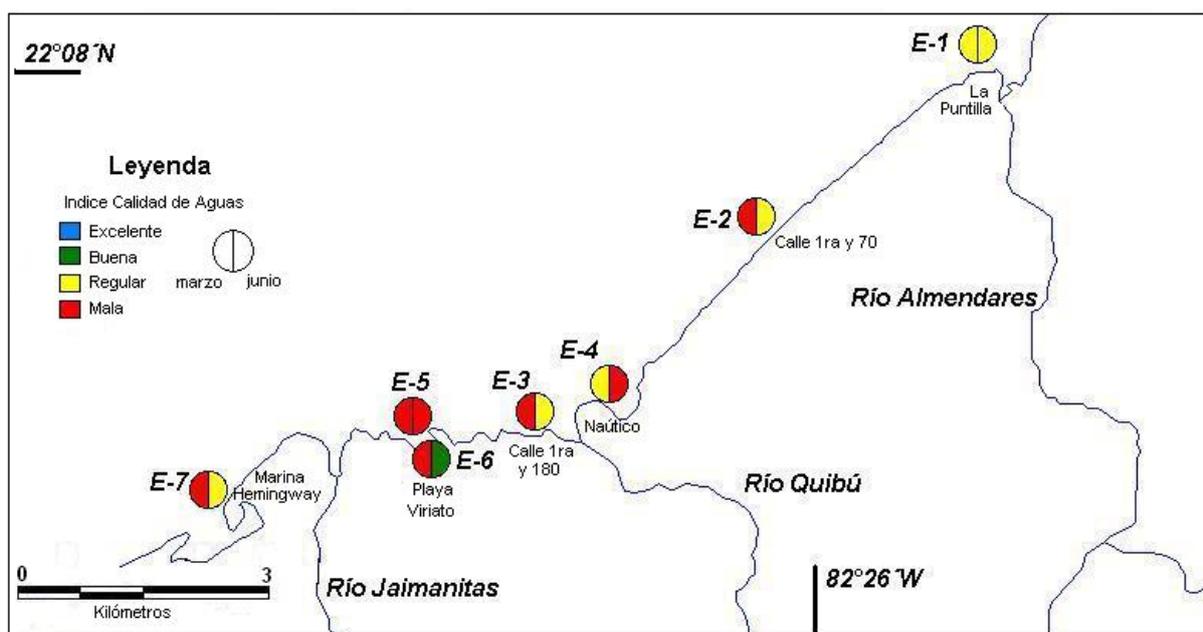


Figura 2. Valores del ICAg obtenidos en diferentes estaciones situadas en un segmento costero al norte de Ciudad Habana muestreadas en marzo y junio del 2008.

Figure 2. ICAg values at different sampling stations located in a coastal segment north of Havana City, in March and June 2008.

En general, los resultados del índice indicaron que en el mes de junio, la calidad de las aguas en el segmento estudiado fue mejor que en el muestreo de marzo,



apreciándose un cambio importante de la calidad de las aguas en el centro de la RADA del Instituto de Oceanología (playa Viriato), que pasó de “mala calidad a buena”.

En el muestreo de marzo, el 71% de las estaciones alcanzaron valores del ICAg correspondientes a “mala calidad”, el 28.5% alcanzaron un índice de “calidad regular” y en ninguna estación las aguas obtuvieron calificación de “buena calidad”. En cuanto al comportamiento de las variables, los valores de coliformes fecales en el muestreo de marzo se encontraron por encima del límite permisible en la Norma cubana, sólo en la estación E-3, situada en la Calle 1ra y 180 del Reparto Flores, Playa, donde también se detectaron valores de DBO_5 superiores a 3 mg/L y concentraciones de amonio por encima de 4 $\mu\text{mol/L}$, característicos de aguas marinas contaminadas con nutrientes y materia orgánica.

En el resto de las estaciones donde el ICAg alcanzó valores que corresponden a aguas de “mala calidad”, el mayor peso lo obtuvieron las variables indicadoras de contaminación orgánica. Debe considerarse que este muestreo se realizó 48 horas después de dos días lluviosos y se conoce que las precipitaciones favorecen el aumento del escurrimiento terrígeno que trae consigo un incremento del contenido de materia orgánica y bacterias adventicias en las aguas costeras.

En el muestreo de junio, el 28% de las estaciones fueron calificadas por el ICAg como “aguas de mala calidad”, el 57% calidad “regular” y en una estación (E-5) se obtuvo un ICAg correspondiente a “buena calidad”.

En junio las estaciones E-1 (La Puntilla) y E-7 (Marina Hemingway) mantuvieron la condición de puntos muy contaminados por materia orgánica y amonio, aunque también, las concentraciones de fósforo total en estos sitios fueron mayores a 1 $\mu\text{mol/L}$, destacándose la estación E-7 con un valor de fósforo total en sus aguas cercano a 5 $\mu\text{mol/L}$, lo que indica presencia de contaminantes inorgánicos.

Aplicando el ICAg a los resultados obtenidos por Espinosa *et al.* (1999) en nueve estaciones ubicadas al sur de provincia Habana, se obtuvieron valores que califican la calidad de las aguas entre “buena” y “regular”, excepto en Mayabeque y Majana, que resultaron de “mala calidad” (Tabla 3).



Tabla 3. Índice de Calidad de aguas (ICAg) en diferentes estaciones situadas en la zona costera sur de la provincia La Habana en abril de 1998.

Table 3. Water quality index (ICAg) at different stations located in the south coastal zone of Havana province, in April 1998.

Estaciones	ICAg	Clasificación
Hatiguanico	51.9	Buena
Tasajera	33.2	Regular
Caimito	41.7	Regular
Rosario	60.5	Buena
Mayabeque	16.6	Mala
Surgidero de Batabanó	27.8	Regular
Playa Cajío	63.2	Buena
Playa Guanímar	48.5	Regular
Majana	23.8	Mala

Según Espinosa *et al.* (1999) en la costa sur de la Provincia La Habana existen niveles altos de materia orgánica que indican la influencia de la acción antrópica, derivada de residuales industriales, urbanos y agropecuarios, además de la producción natural de nutrientes producidos por los procesos metabólicos y biogeoquímicos que tienen lugar en la zona. En estas estaciones, además de valores altos de DBO_5 , el amonio fue el compuesto nitrogenado más abundante y en general, las concentraciones de bacterias coliformes fecales se encontraron por encima o muy cercanos al valor límite establecido por la Norma cubana para aguas recreativas con contacto directo.

Los índices de calidad permiten economizar recursos y facilitan la toma de decisiones, sin embargo, durante el proceso de simplificación algo de información se sacrifica. Por tal motivo, algunos investigadores recomiendan, si fuera necesario, utilizar índices complementarios que permitan tener una idea más completa de la calidad (U.S. EPA, 2004).



Los índices biológicos complementarios se basan en la presencia de organismos vivos como indicadores del grado de calidad del agua. La mayor diferencia con los otros indicadores es que permiten conocer el estado del agua en un periodo prolongado de tiempo definido por la duración del ciclo de vida de cada individuo, magnitud de colonias, etc. pero, contrario a los anteriores, no permiten identificar los agentes contaminantes existentes.

CONCLUSIONES

1. Se propone el siguiente índice (ICAg) para evaluar la calidad de las aguas costeras cubanas de uso recreativo:

$$\text{ICAg} = (0.17\text{O}_2 + 0.16\text{Cf} + 0.13\text{DBO}_5 + 0.10\text{NH}_4 + 0.10\text{Pt} + 0.09\text{Norg} + 0.09\text{PO}_4 + 0.08\text{Trans} + 0.08\text{S})$$

2. El índice propuesto permite evaluar la calidad de las aguas según cuatro categorías: mala, regular, buena y excelente, a partir de variables microbiológicas y fisicoquímicas.

3. En las estaciones situadas en el segmento costero comprendido entre La Puntilla y el Bajo de Santa Ana, los valores del ICAg determinados en marzo y junio del 2008 calificaron la calidad de las aguas entre “mala y regular”, excepto en la estación situada en el centro de la RADA del Instituto de Oceanología, que en el mes de junio alcanzó un valor correspondiente a buena calidad (56.5).

4. En las estaciones ubicadas al sur de provincia Habana muestreadas en abril de 1998, se obtuvieron valores del ICAg que califican la calidad de las aguas entre “buena” y “regular”, excepto en Mayabeque y Majana, que resultaron de “mala calidad”.

BIBLIOGRAFIA.

- Agencia Catalana del Agua. 2003. Índices de calidad del agua. *Revista Ambientum*. <http://mediambient.gencat.net/aca/es/agencia/inici.jsp>
- APHA, 1995. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. 19 th Edition, American Public Health association, Washington, D.C.
- Espinosa, J. y colectivo de 22 autores. 1999. *Diagnóstico de las alteraciones ambientales de la costa y los ecosistemas marinos aledaños a la Cuenca Sur de*



- La Habana. Simposio Internacional de Manejo de Zonas Costeras, La Habana, Cuba.
- León, L. F. 2003. Índices de calidad del agua (ICA), formas de estimarlos y aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala.
<http://www.sunburn.uwaterloo.ca/~lfleonvi/artics/art09.pdf>
- Mendoza-Salgado, R. A., Lechuga-Devéze, C. H. y Ortega-Rubio, A. 2005. First approach of a method to assess water quality for arid climate bay in the. Guide of California. *Science of the Total Environment*, 347: 208 - 216.
- Mingo Magro, M. J. 1981. *La vigilancia de la contaminación fluvial*. DGOH/MOPU
- Montalvo, J., Perigó, E., Martínez, M., y Pérez, R. 2003. *Concentraciones más frecuentes de los parámetros químicos de calidad ambiental en la plataforma cubana*. VI Congreso de Ciencias del Mar MarCuba´2003. La Habana. 8pp. ISBN 959-7164-53-1
- Norma cubana NC: 22- 1999. *Lugares de Baño en costas y en masas de aguas interiores. Requisitos Higiénicos-Sanitarios*, 12 pp.
- Ott, W.R. 1978. *Environmental Indexes, Theory and Practice*. AA Science, Ann. Arbor. Michigan.
- FAO, 1975. *Methods for detection, measurement and monitoring of water pollution*. En: *Manual of methods in aquatic environment research*. FAO Fish. Tech. Pap., 137 - 237 pp.
- IOC-UNESCO, 1993. *Nutrient analysis in tropical marine waters. Manual and Guides*. No. 33.
- Salazar, J. P. 1999. *Índices e indicadores para evaluación y seguimiento ambiental*. Video-Conferencia 11 nov. 1999. Univer. Jorge Tadeo Lozano, 49 pp.
- Suárez, G., Romero, T. y Perigó, E. 2003. *Índice de contaminación para investigaciones ecológico pesqueras (ICIEP)*. VI Congreso de Ciencias del Mar MarCuba´2003. La Habana, 8 pp. ISBN 959-7164-53-1
- Troncoso, W., Marín, B. y Martín L. 2003. *Indicador numérico y cualitativo de la calidad de las aguas marinas y estuarinas de Colombia*. VI Congreso de Ciencias del Mar MarCuba´2003. La Habana. ISBN 959-7164-53-1
- UNESCO. 2003. *A Reference Guide on the Use of Indicators for Integrated Coastal Management - ICAM Dossier 1*, IOC Manuals and Guides No. 45.
- U.S. EPA (Environmental Protection Agency) 2004. *National Coastal Condition Report II*. EPA-620/R-03/002. 285 pp.