



Aplicación tecnológica para la evaluación de la calidad de aguas Technological application for water quality assessment

Gámez Pitre Rodrigo, Jiménez Pitre Iris A. y Molina Bolívar Geomar

Resumen

Con el fin de determinar el Índice de Calidad de Aguas Marinas y Estuarinas para la preservación de Flora y fauna (ICAM_{PPFF}) en delta del río Ranchería se realiza valoración de la naturaleza química, física y biológica y se relaciona con su calidad en estado natural, los efectos relacionados con las actividades antrópicas tal como lo dispone la legislación colombiana. Mediante el uso de herramientas informáticas es frecuente la interpretación de datos de monitoreo de un ecosistema acuático y determinar la calidad del agua. Los índices reducen una gran cantidad de parámetros monitoreados a una expresión sencilla, el cual es representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o incluso, un color. El Software ICAME v 1.0 calcula el Índice de calidad de Aguas Marinas y Estuarinas y procesa información obteniendo resultados de las actividades de monitoreo en campo. Además, genera reportes e historiales. El ICAME v 1.0 es diseñado para procesar la información obtenida en el proyecto de investigación "Evaluación de moluscos y crustáceos asociados a raíces sumergidas de *Rhizophora mangle* Linnaeus, 1753 (Rizophoraceae), las variables fisicoquímicas como indicadores de la calidad del agua y los impactos causados por las actividades antrópicas en el estuario del río Ranchería, La Guajira (Colombia). Además del análisis de datos obtenidos en investigaciones desarrolladas en la línea de investigación Biodiversidad de ecosistemas estuarinos en La Guajira colombiana.

Palabras clave: Aplicaciones tecnológicas, índice de calidad de agua, aguas marinas y estuarinas, preservación de fauna y flora.

Abstract

To determine the index of quality of estuarine and marine waters for the preservation of Flora and fauna (ICAM_{PPFF}) in delta of the Rancher river is performed valuation of the chemical nature, physical and biological and relates to its quality in natural state, the effects related to the anthropic activities as provided for in the Colombian legislation. Using computer tools is frequent the interpretation of data for monitoring an aquatic ecosystem and determine the quality of the water. The indexes reduce a large number of parameters monitored to a simple expression, which is represented by a number, a range, a verbal description, a symbol or even a colour. The Software ECAME v.01 calculates the quality index of estuarine and marine waters and processes information getting the results of the monitoring activities in the field. In addition, generates reports and histories. The ICAME v 1.0 is designed to process the information obtained in the research project "Evaluation of molluscs and crustaceans associated with roots submerged *Rhizophora mangle* Linnaeus, 1753 (Rizophoraceae), physicochemical variables as indicators of the quality of the water and the impacts caused by anthropic activities in the estuary of the Rancher river, La Guajira (Colombia). In addition to the analysis of data obtained in research developed in the research line Biodiversity of estuarine ecosystems in the Guajira, Colombia.

Keywords: Technological application, index of water quality, estuarine and marine waters, preservation of fauna and flora.

Recibido: 31 julio 2019
Aceptado: 15 agosto 2019

Dirección autores:

Universidad de La Guajira, Colombia

Grupo de investigación BIE-MARC

E-mail / ORCID

rgamez@uniguajira.edu.co

iajimenez@uniguajira.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0002-8109-7013>

gmolina@uniguajira.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0002-3119-9265>

1. INTRODUCCIÓN

Debido al rápido crecimiento de las poblaciones en la actualidad que ha generado impactos ambientales y que ponen en peligro los recursos naturales; los cuales son necesarios para la subsistencia de las comunidades costeras, son las afectaciones notorias que se ha venido dando en los cuerpos de aguas marinas y estuarinas del río Ranchería en Riohacha (La Guajira), debido a los vertimientos que genera la acción antrópica. No obstante, existe una normatividad que busca regular y disminuir la contaminación que amenaza los ecosistemas.

Es importante tener en cuenta que una de las actividades más importantes para la gestión del recurso hídrico marino y estuarinos es el monitoreo periódico de los cuerpos de agua. Esta actividad permite la detección temprana de cambios en la calidad del recurso. El monitoreo no es sólo hacer mediciones: se reconoce cada vez más que los datos deben estar disponibles. La comunicación de los resultados implica una retroalimentación que permite que la información recopilada sea utilizada en las decisiones de gestión (Burt, Howden y Worrall, 2014).

La Organización de Cooperación de Desarrollo Económico (OECD, por sus siglas en inglés) ha trabajado en la elaboración y utilización de la información ambiental reunida en indicadores ambientales y articulada a aspectos económicos y sociales (Polanco, 2006). De acuerdo con la OECD (2003), los indicadores ambientales tienen dos funciones principales: Reducen el número de mediciones y los parámetros que normalmente se requieran para hacer una representación exacta de una situación y Simplifican el proceso de comunicación de los resultados de la medición.

Igualmente, la OCDE (2003) define indicador, índice y parámetro de la siguiente manera: *Indicador*: parámetro o valor derivado de parámetros que proporciona información sobre la descripción del estado de un fenómeno/ambiente/área, con un significado que se extiende más allá de un valor directamente relacionado con un parámetro. *Índice*: un conjunto de parámetros o indicadores agregados o ponderados. Y *parámetro*: una propiedad que se mide o se observa.

Como parte del desarrollo del proyecto “*Evaluación de moluscos y crustáceos asociados a raíces sumergidas de Rhizophora mangle Linnaeus, 1753 (Rhizophoracea), las variables físico-químicas como indicadores de la calidad del agua y los impactos causados por las actividades antrópicas en el estuario del río Ranchería, La Guajira (Colombia)*”, se diseñó del software ICAME v 1.0 para consolidar protocolos de monitoreo utilizados, los cuales tienen como objeto la determinación de la calidad de agua para la preservación de flora y fauna.

Con la implementación del software ECAME v 1.0 como herramienta informática para la evaluación de la calidad del agua de ecosistemas marinos y estuarinos delta del río Ranchería. El presente artículo expone un método para determinar y analizar índices de calidad del agua marinas y estuarinas mediante el uso del ICAME v 1.0 con información obtenida de los parámetros establecidos por la legislación colombiana en el decreto 1594 de 1984.

2. METODOLOGÍA

Indicador de calidad de Aguas Marinas y Estuarinas.

Este indicador facilita la interpretación de la calidad ecológica de los ecosistemas marinos y estuarinos, la evaluación del impacto de las actividades antropogénicas y la toma de medidas de prevención y recuperación para valorar la calidad de las aguas marinas, es decir, su capacidad de soportar la vida marina y los procesos biológicos (Invemar. 2003; Vivas-Aguas, Narváez-Flórez y Espinosa 2010.).

El indicador es un número adimensional que se representa en forma de porcentaje. Así mismo, se calcula el subíndice para transformar los valores de cada variable a una escala adimensional de acuerdo a la escala de valoración definida, aplicando la fórmula de la curva de funcionamiento (índice calculado). Cuando existan valores extremos se recomienda ajustar el subíndice por exceso o por defecto entre uno y 100, siendo 1 para los valores negativos y 100 para los valores superiores a 100 (Vivas-Aguas, Obando y Carrillo.2014). Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que intervienen en el cálculo son: Oxígeno Disuelto, Sólidos Suspendidos Totales, Nitratos, Fosfatos, Coliformes Termotolerantes, Hidrocarburos del petróleo, pH y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅). La ecuación de agregación contempla el producto ponderado de las variables que componen el ICAM, definida como sigue:

$$ICAM = \left(\prod_{i=1}^n X_i^{w_i} \right)^{\frac{1}{\sum w_i}}$$

Dónde:

ICAM=[(xOD)^{0,16}(xpH)^{0,12}(xSST)^{0,13}(xDBO)^{0,13}(xCTE)^{0,14}(xHAT)^{0,12}(XNO₃)^{0,09}(XPO₄)^{0,13}]^{1/wi}

xi=Subíndice de calidad de la variable i

wi=Factor de ponderación peso para el subíndice i, según su importancia dentro del ICAM, el cual es ponderado entre cero y uno






Tabla 1. Variables que conforman el ICAM, unidad de medida, métodos, referencias y factores de ponderación

Tipo de variable	Variable	Unidad de medida	Método	Referencia	Factor de ponderación
Fisicoquímicas	pH	Unidad	Potenciómetro	APHA et al., 2012 (N° 4500 HB)	0,12
	Oxígeno disuelto	mg/L	Membrana permeable	APHA et al., 2012 (N° 4500 OG)	0,16
	Sólidos suspendidos totales	mg/L	Gravimetría	APHA et al., 2012 (N° 2530 D)	0,13
	Fosfatos	µg/L	Colorimetría	Strickland y Parsons, 1972	0,13
	Nitratos	µg/L	Colorimetría	Strickland y Parsons, 1972	0,09
	DBO ₅	mg/L	Incubación directa a 20 °C por 5 días	APHA et al., 2012 (N° 5210 B)	0,13
Microbiológicos	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	Fermentación en tubos múltiples	APHA et al., 2012 (N° 9221)	0,14
Hidrocarburos	Hidrocarburos aromáticos	µg/L	Extracción líquido-líquido con diclorometano y determinación fluorométrica	Unesco/COI, 1982; Garay et al., 2003	0,12

Fuente: Vivas-Aguas, y Navarrete-Ramírez, 2014.

La tabla 2 describe la escala de valoración del índice de calidad de agua marinas y costeras cuyo resultado de la ecuación es un número adimensional que va de cero a 100 y que representa las distintas categorías de cualidad del agua (óptima, adecuada, aceptable, inadecuada y pésima). Además, señala la descripción de las distintas categorías establecidas para tal fin.

Tabla 2. Escala de valoración del índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM_{PFF}); escala de calidad, color, categoría y descripción de la categoría

Escala de calidad	Color	Categoría	Descripción de la categoría
Óptima		100-90	Calidad excelente del agua
Adecuada		89 – 70	Agua con buenas condiciones para la vida acuática
Aceptable		69 – 50	Agua que conserva buenas condiciones y pocas restricciones en su uso
Inadecuada		49-25	Agua que presenta muchas restricciones en su uso
Pésima		24-0	Agua con muchas restricciones que no permiten un uso adecuado

Fuente: Vivas-Aguas, 2011

Área de estudio, medición de variables y obtención de datos.

El área de estudio se localiza entre 11°33' y 72°54' (Norte) y 11°33' y 72°53' (Oeste), e incluye la zona deltaica-estuarina del río Ranchería, al norte limita con el Mar Caribe y el brazo del Valle de Los Cangrejos, por el sur con el resguardo indígena de la media Guajira, con la ciudad de Riohacha al este y con el oeste la laguna Buenavista. Esta tiene un área de ~332,84 Ha. Se realizaron diez muestreos entre setiembre (2014) y marzo (2015). En el área se seleccionaron cinco estaciones: Desembocadura (DB), El Mirador (EM), Villa Fátima (VF), El Pasito (EP) y Valle de Los Cangrejos (VC).

In situ se midió el pH con un conductímetro (315i WTW 1210 00 11) y oxígeno disuelto (mg/L) con un oxímetro (315i WTW 2B70 0011). Durante las mediciones *in situ*, se tomaron muestras de agua en botellas de vidrio de 1 L de color ámbar previamente esterilizadas, rotuladas y forradas con papel aluminio y luego se refrigeró en una nevera de icopor (~6°C). En los laboratorios del Instituto de Estudios y Aprovechamiento del Agua (INESAG) de la Universidad de La Guajira se determinó la concentración de nutrientes: amonio (μmgL^{-1}), nitrato (μmgL^{-1}), fósforo total (μmgL^{-1}), Sólidos suspendidos (mg/L), coliformes Termotolerantes (NMP/100) y DBO₅ (mg/L) siguiendo la metodología establecida por el Ministerio de Salud (1984) y APHA (1999).

Elaboración del software ECAME v 1.0. Para la elaboración del software ECAME v 1.0, los resultados obtenidos, son los datos requeridos para el cálculo del ICAM_{PFF}, a los cuales se les verificó que las unidades de medida coincidan con las curvas de función del subíndice. Luego para el manejo de los datos se **se procedió con los pasos que se describen a continuación:**

1. Se calculó el subíndice transformando los valores de cada variable a una escala adimensional de acuerdo a la escala de valoración definida, aplicando la fórmula de la curva de funcionamiento (índice calculado).
2. Se tuvo en cuenta que cuando existan valores extremos (*outlier*) se ajustó el subíndice por exceso o por defecto entre uno y 100 (1-100), siendo uno para los valores negativos y 100 para los valores iguales o superiores a cien.
3. Se aplicó el factor de ponderación de cada subíndice de acuerdo al valor de importancia de cada variable dentro del ICAM_{PFF}.
4. Las ecuaciones de agregación fueron aplicadas y posteriormente, se realizó un promedio geométrico ponderado de las variables que componen el ICAM_{PFF}. Y,
5. Se comparó y asignó a cada estación el resultado del ICAM_{PFF} obtenido según la escala descriptiva para determinar el rango de calidad.

Por último, el ICAME V.01, es un software que se diseñó y elaboró para que asista a los expertos, académicos, servidores públicos y en general a los estudiosos de la calidad de aguas marinas y estuarinas. Esta herramienta de valoración del recurso hídrico presenta la información de manera sencilla, amable y fácilmente entendible. Esta herramienta informática que facilita el cálculo del índice de calidad de las aguas marinas y estuarinas. Para calcular el ICAME v 1.0, no debe existir ausencia de datos. Sin embargo, si por alguna razón falta una de las variables requeridas, la ecuación de agregación permite soportar el cálculo del ICAME v 1.0 con un mínimo de variables, pero debe tenerse en cuenta que el margen de confianza del resultado disminuye, así como su representatividad objetiva.

Para utilizar el software ECAME v 1.0 se recomienda utilizar la versión portable A continuación se presentan los pasos para acceder:

1. Ingrese al software portable del ECAME v 1.0. (Figura 1)



Figura 1. Pantalla de inicio del software ECAME V 1.0

1. Seleccione la pestaña ingreso de datos, diligencie los campos disponibles (Aguas Marinas o Aguas Estuarinas)
2. A continuación, en la siguiente página indica el número de la muestra, el nombre del lugar y la latitud y longitud.
3. Posteriormente se ingresan los datos a analizar y se presiona el link calcular.

4. Al seleccionar la pestaña “calcular”, automáticamente el software realiza el cálculo del ICAM_{PFF}. Se presenta la escala de calificación, el número de variables ingresadas y el porcentaje de confiabilidad del cálculo. (figura 2)

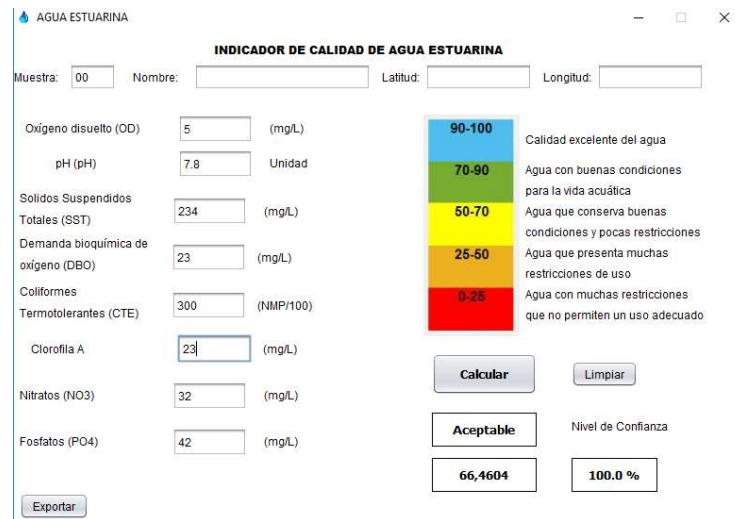


Figura 2. Resultado del cálculo del ICAM, a través del software ECAME v 1.0

Como alternativas de manejo del estado de contaminación identificado por el ICAMPFF, se propone adoptar algunas medidas de seguimiento e investigación descritas en la Tabla 2, para identificar la causa y la fuente o fuentes del deterioro del agua, de manera que sirva para diseñar las medidas de reducción o mitigación del impacto sobre el ecosistema que esté siendo afectado.

Análisis estadístico. Una vez obtenidos los datos del ICAM_{PFF} con el software ECAME v 1.0, con el software STATGRAPHIC para Windows 5.1, se realizaron los análisis estadísticos descriptivos. Además, se realizó el Análisis de Varianza (ANOVA) previa prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov y posterior a la comprobación de la homogeneidad de varianza a través del test de Levene.

3. RESULTADOS

En la tabla 1 se muestra los valores calculados con el ICAM_{PFF} en cada una de las estaciones de muestreo. De igual manera describe mediante colores la calidad del agua en cada muestreo en cada sitio. Los indicadores de calidad oscilaron entre aguas con muchas restricciones (0-25) – Pésimas y las que no permiten un uso adecuado hasta aguas que presentan muchas restricciones en su uso (25-50) o inadecuadas. Los valores oscilaron desde 11,19 en DB en el mes de abril de 2015 hasta 45.11 en el mes octubre de 2014 en EM. Los resultados son diferentes a los obtenidos por Severiche, Barreto y Acevedo (2013) en la Ciénaga Grande de Santa Marta; cuyos valores oscilaron entre 51-75 y 76 y 100. Los resultados obtenidos son similares a los de Miravet et al (2009) calculados para la bahía de consta norte de la ciudad La Habana y al sur de la provincia de La Habana.

La evaluación de la calidad del agua se fundamentó con base en el Decreto 1594 de 1984, en la cual se establece el uso del agua, criterios de calidad para la destinación del recurso y

reglamentos de los vertidos líquidos. De igual manera, la mencionada norma establece el rango de las distintas variables para los distintos usos del agua: consumo humano, fines recreativos, uso agrícola y preservación de flora y fauna. Las concentraciones de las variables fisicoquímicas del agua se determinaron siguiendo la metodología por APHA (1992).

Tabla 1. Valores obtenidos con el software ECAME v 1.0 durante el periodo de estudio.

Muestreo	DB	EM	VF	CG	VC
sep-14	23.06	18.40	25.01	29.38	31.54
oct-14	28.00	33.66	34.26	29.65	27.16
nov-14	16.89	45.11	34.41	18.26	35.85
dic-14	24.54	30.46	27.38	19.28	36.50
ene-15	29.00	28.60	33.35	15.55	22.84
feb-15	36.53	31.39	32.81	20.46	19.27
mar-15	22.33	29.12	20.40	28.90	26.66
abr-15	11.19	26.10	33.31	23.46	28.12
may-15	26.10	26.07	26.82	26.19	32.67
jun-15	28.54	29.77	30.86	21.78	26.96
jul-15	25.69	25.34	30.09	14.61	15.28
ago-15	18.73	17.96	33.55	14.09	17.31

En Análisis de Varianza (ANOVA) entre las estaciones presenta un valor del F-ratio, que es igual a 3,46 es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F ($p=0,01$) es inferior a 0.05, por lo tanto, hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las cinco estaciones variables a un nivel de confianza del 95.0% (figura 3). El contraste de la varianza de Levene presenta un valor de 0,35 y un valor $p=0,83$ Dado que el menor de los p-valores es superior o igual a 0.05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones típicas para un nivel de confianza del 95.0%. entre las estaciones.

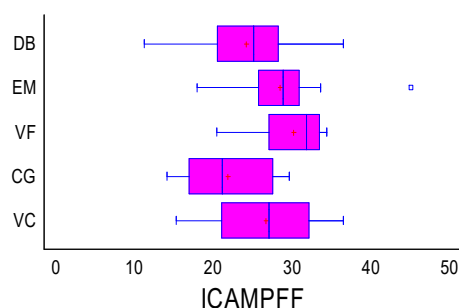


Figura 3. Medias obtenidas representadas en graficas de cajas y bigotes entre las estaciones y el valor del ICAMP_{PFF} obtenidos en el área de estudio.

La estadística descriptiva entre los muestreos señala que la media es 26,27 y los valores de esta oscilan entre 20,30 y 30, 54. La desviación típico presente un valor medio de 6,72 con valores que oscilaron 2,86 y 12,16 (Figura 4).

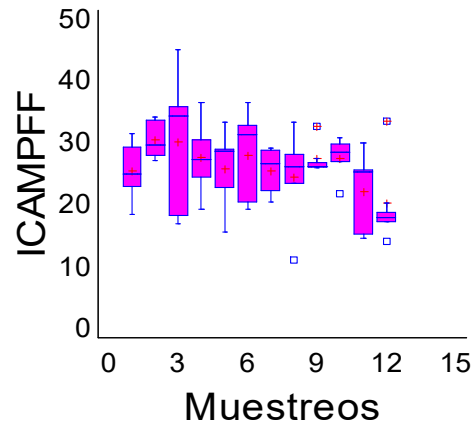


Figura 4. Medias obtenidas representadas en graficas de cajas y bigotes entre los muestreos y el valor del ICAMPFF obtenidos en el área de estudio.

4. RECONOCIMIENTO

Reconocimiento a la Universidad de La Guajira.

5. REFERENCIAS

- Apha. (1992). *Standard methods for examination of water and wastewater*. Gernnberg.
- Burt, T., Howden N. y Worrall. F. (2014). “On the importance of very long-term water quality records”, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, vol. 1, n.º 1, pp. 41-48.
- Invemar. 2003. *Hoja metodológica: indicador de la calidad ambiental de las aguas marinas y costeras. Proyecto específico: Formulación y diseño del Sistema de Gestión de Indicadores Ambientales Marinos y Costeros de Colombia (Sigen)*. Primera fase. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar), Santa Marta. 64 p.
- Ministerio de Salud. (26 de junio de 1984). Decreto 1594 de 1984. Bogotá, Colombia.
- Miravet, M. E., Ramírez, O., Montalvo, J., Delgado, Y. y Perigó, E. (2009). *Índice numérico cualitativo para medir la calidad de las aguas costeras cubanas de uso recreativo*. Serie Oceanológica. No.5. 45-56
- Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD. 2003. *OECD Environmental Indicators: Development, Measurement and Use*, 2003. [En línea]. Disponible en: <http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/24993546.pdf>.
- Polanco, C. (2006). *Indicadores ambientales y modelos internacionales para toma de decisiones*, *Gestion y Ambiente*, vol. 9, n.º 2, pp. 27-41.
- Severiche, C., Barreto, J., y Acevedo, R. Efecto de las Lluvias sobre la Calidad del Agua en La Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Avances Investigación en Ingeniería* Vol. 10 - No. 1. 58-67.
- Vivas-Aguas, L. J. (2011). *Formulación del índice de calidad de aguas costeras para los países del Proyecto Spincam: Documento Metodológico. Red de información y datos del Pacífico Sur para el apoyo a la gestión integrada del área costera (SPINCAM)*. Invemar-Programa Calidad Ambiental Marina, Santa Marta. 42 p.
- Vivas-Aguas, L. J., Obando, P.S. y Carrillo, L. (2014). Hoja metodológica del indicador. Índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM). Versión 1.0. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar) y Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), Bogotá. 16 p.
- Vivas-Aguas, L. J., Narváez-Flórez, S. y Espinosa, L. (2010). *Calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico colombiano*. 55-71. En: Invemar (Ed.). Informe del Estado de los Ambientes y Recursos Marinos y Costeros en Colombia: Año 2009. Serie de Publicaciones Periódicas del Invemar No. 8, Santa Marta. 319 p.