

## Capítulo II

---

### INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA Generalidades



## CAPITULO II

### INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA Generalidades

#### TABLA DE CONTENIDO

<b>2.1. Generalidades Acerca De Los Índices De Calidad De Agua</b> _____	<b>27</b>
2.1.1. Definición De Un Índice De Calidad De Agua _____	27
2.1.2. Clasificación De Los Índices De Calidad Del Agua _____	28
2.1.3. Usos De Los Índices _____	28
2.1.4. Procedimiento General Para La Formulación De Un Índice De Calidad De Agua. _____	29
2.1.5. Criterios De Diseño Para Un Índice De Calidad Del Agua _____	30
<b>2.2. Antecedentes Sobre Índices De Calidad De Agua</b> _____	<b>33</b>
<b>REFERENCIAS</b> _____	<b>35</b>



## CAPÍTULO II

### INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA

#### 2.1. Generalidades Acerca De Los Índices De Calidad De Agua

##### 2.1.1. Definición De Un Índice De Calidad De 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, los cuales sirven como una medida de la calidad del agua. El índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color.

Su ventaja radica, en que la información puede ser más fácilmente interpretada que una lista de valores numéricos. Consecuentemente, un índice de calidad de agua es una herramienta comunicativa para transmitir información. 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 como contaminación excesiva, media o inexistente, entre otras, de fácil comprensión y abstracción.

Es conveniente conocer algunos de los elementos a favor y en contra de los ICAs como los que se listan a continuación (Tabla 2.2).

**Tabla 2.1. Pros Y Contras Del Uso De Los Índices De Calidad De Agua**

BENEFICIOS	LIMITACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toma información compleja y la sintetiza de manera que la hace fácilmente entendible.</li> <li>• Ayuda a transformar gran variedad de indicadores ambientales en un sistema de fácil comunicación.</li> <li>• La información derivada de su aplicación, es de utilidad a las personas que trabajan en la normatividad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede generalizarse demasiado y terminar en juicios subjetivos, dado el peso de algunas de las variables.</li> <li>• Un solo índice puede no ser indicativo de toda la dinámica del sistema. Puede indicar que la calidad no es apta para abastecimiento, pero puede ser utilizada para recreación y ser apta para el desarrollo de la biota acuática.</li> <li>• Un índice está limitado en términos espacio temporales y puede dar lecturas erráticas en un lugar y en una época específica.</li> </ul>

### 2.1.2. Clasificación De Los Índices De Calidad Del Agua

De acuerdo con Ball and Church, (1980), los índices de calidad de agua pueden organizarse en 10 categorías dentro de 4 grupos. Las categorías están orientadas de acuerdo con su uso.

- **Grupo Uno:** se aplica a tensesores e incluye dos categorías:
  - **Los indicadores en la fuente:** los cuales reportan la calidad del agua, generada por tensesores en fuentes discretas.
  - **Los indicadores en un punto diferente a la fuente:** reportan la calidad del agua generada por fuentes difusas.
- **Grupo dos:** mide la Capacidad de Estrés e incluye 4 categorías:
  - **Medidas Simples como indicadores:** incluyen muchos atributos y componentes individuales del agua, que pueden ser usados como indicadores de su calidad.
  - **Los Indicadores Basados en Criterios o Estándares:** los que correlacionan las medidas de calidad de agua con los niveles estándar o normales que han sido determinados para la preservación y usos adecuados del agua.
  - **Los Índices Multiparámetro:** son determinados por las opiniones colectivas o individuales de expertos.
  - **Los Índices Multiparámetro Empíricos:** son establecidos por el uso de las propiedades estadísticas de las mediciones de calidad del agua.
- **Grupo Tres:** incluye la categoría única de **Indicadores para Lagos**, específicamente desarrollados para este tipo de sistemas.
- **Grupo Cuatro:** sobre las consecuencias: Incluye 4 categorías:
  - **Indicadores de la vida acuática:** basados en las diferentes relaciones de tolerancia de la biota acuática a varios contaminantes y condiciones.
  - **Indicadores del Uso del Agua:** evalúan la compatibilidad del agua con usos como, abastecimiento y agricultura.
  - **Indicadores Basados en la Percepción:** los cuales se determinan por las opiniones del público y los usos de los cuerpos de agua.

### 2.1.3. Usos De Los Índices

Los índices pueden ser usados para mejorar o aumentar la información de la calidad del agua y su difusión comunicativa, sin embargo, no pretenden reemplazar los medios

de transmisión de la información existente. De acuerdo con Ott (1978), los posibles usos de los índices son seis:

- **Manejo del recurso**, en este caso los índices pueden proveer información a personas que toman decisiones sobre las prioridades del recurso.
- **Clasificación de Áreas**, los índices son usados para comparar el estado del recurso en diferentes áreas geográficas.
- **Aplicación de normatividad**. En situaciones específicas y de interés, es posible determinar si se está sobrepasando la normatividad ambiental y las políticas existentes.
- **Análisis de la tendencia**. El análisis de los índices en un periodo de tiempo, pueden mostrar si la calidad ambiental está disminuyendo o mejorando.
- **Información pública**. En este sentido, los índices pueden tener utilidad en acciones de concientización y educación ambiental.
- **Investigación Científica**. Tiene el propósito de simplificar una gran cantidad de datos de manera que se pueda analizar fácilmente y proporcionar una visión de los fenómenos medioambientales.

#### **2.1.4. Procedimiento General Para La 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:

- Selección de Parámetros.
- Determinación de los valores para cada parámetro: subíndices.
- Determinación del Índice por la agregación de los subíndices.

En primera instancia, para la Selección de Parámetros se pueden considerar entre 2 y un número infinito de los mismos. La opción para la consideración de éstos, se da acorde con las circunstancias, estándares y criterios de tiempo y localización, además del concepto de un experto.

Seguidamente para la determinación de los subíndices pueden ser utilizados varios métodos:

- **Darle un valor nominal o numérico**, previa comparación del valor del parámetro con un estándar o criterio.
- **Convertir el parámetro en un número dimensional por medio de diagramas de calibración**. En este caso se debe desarrollar para cada parámetro su propio diagrama, en el que se indique la correlación entre el parámetro y su valor en la escala de calidad. Esta escala generalmente está entre 0 y 100, aunque también se acostumbra escalarlos entre 0 y 1.

- o Una alternativa para el diagrama de calibración es realizar una **tabla de calibración**. En estas tablas, el valor del parámetro está igualmente relacionado con la escala de calidad.
- o **Desarrollar para cada parámetro una formulación matemática**, con el fin de convertir los valores del parámetro de acuerdo con varias escalas, con lo cual los valores del parámetro conservan sus unidades originales.

Finalmente, la determinación del Índice de Calidad de Agua se da por la integración de los subíndices que lo conforman. El índice puede darse por medio de la agregación de alguna de las siguientes formulas (Tabla 2.1) que, comúnmente, corresponden a una función promedio como se puede apreciar a continuación.

**Tabla 2.2. Fórmulas De Agregación Para El Cálculo De Índices De Calidad De Agua A Partir De Subíndices (Van Helmond & Breukel, 1996).**

Método	Formula
1. Promedio no Ponderado	$ICA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i$
2. Promedio Aritmético Ponderado	$ICA = \sum_{i=1}^n q_i w_i$
3. Promedio Geométrico no Ponderado	$ICA = (\prod_{i=1}^n q_i)^{1/n}$
4. Promedio Geométrico Ponderado	$ICA = (\prod_{i=1}^n q_i)^{w_i}$
5. Subíndice Mínimo	$ICA = \min(q_1, q_2, \dots, q_n)$
6. Subíndice Máximo	$ICA = \max(q_1, q_2, \dots, q_n)$
7. Promedio no Ponderado modificado	$ICA = \frac{1}{100} \left( \frac{I}{n} \sum_{i=1}^n q_i \right)^2$
8. Promedio Ponderado modificado	$ICA = \frac{1}{100} \left( \frac{I}{n} \sum_{i=1}^n q_i w_i \right)^2$

Simbolismos:

**ICA**: Índice de Calidad del Agua.

**n**: Número de Parámetros.

**q<sub>i</sub>**: Escala de Calidad (subíndice) del Parámetro *i*.

**w<sub>i</sub>**: Factor de Ponderación del Parámetro *i*

### 2.1.5. Criterios De Diseño Para Un Índice De Calidad Del Agua

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)*”, que consistió básicamente en la asignación de factores de ponderación a parámetros físicos, químicos o biológicos y por la sumatoria de los valores de los subíndices en un valor final que expresa el valor total del índice. Este método implica la simplificación y el uso de juicios subjetivos (Alberti y Parker, 1991). De acuerdo con esto, existe la oportunidad de asignar mayor importancia a algunos parámetros, sin embargo, pueden existir otros que no hayan sido determinados, estudiados o entendidos. Por consiguiente, es importante que los parámetros y valores que constituyen un índice se precisen adecuadamente; por otra parte, el índice puede no considerar la información correcta y puede interpretar de forma incorrecta la situación. Los índices e indicadores 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).

Existen diferentes pasos en el diseño de un Índice. Primero que todo se recurre a la selección de las variables a ser valoradas en la muestra. Esto conlleva a un vector de calidad de agua de n-parámetros. Segundo, un subvalor es definido, como una medida acorde entre la observación y el vector de control (debe haber un conjunto de valores deseados para el vector de calidad de agua). Finalmente, el resultado es un valor para un índice de calidad de agua, derivado de la agregación de una serie de observaciones o de un grupo de valores (Ball y Church, 1980).

Estos pasos requieren de algunas definiciones. Así, una observación o medición, requiere que los parámetros a ser incluidos en el vector de calidad de agua sean definidos. Es importante que los parámetros medidos sean consistentes, de otra forma el índice puede no ser significativo. Cada observación es representativa de una muestra particular tomada en un tiempo y lugar particular, es decir, es un único punto en la historia de calidad del agua del cuerpo estudiado. Un subvalor o puntaje del subíndice, necesita de la definición de un vector control ideal.

Igualmente, en puntaje demanda que se defina un vector control ideal para el área de estudio, como también una escala de categorización para cada parámetro, para medir la concordancia entre el vector observado y el vector control ideal. Básicamente, un puntaje es el grado de cómo el valor del parámetro está a la altura del vector control o estándar. La escala de categorización por la cual el parámetro es juzgado, debe estar basada en estándares locales, regionales o triviales, para el uso adecuado del cuerpo de agua. Los parámetros medidos deben indicar la adaptabilidad del cuerpo de agua para el uso propuesto.

Por instantes, el índice de un curso usado como fuente de agua potable debe tener un estándar alto y los parámetros deben indicar que el agua es potable. Así, deben definirse las relaciones entre grupos de valores de índices (una serie de observaciones) y el valor total de calidad de agua del cuerpo a ser estudiado. Las relaciones dependen del tipo de observaciones a ser puntuadas, como también del uso adecuado del cuerpo de agua (Ball y Church, 1980).

Una situación importante en la construcción del índice es la determinación de las funciones de evaluación, con las que se hallan los subíndices. Estas funciones fueron clasificadas por Ott (1978) como: Lineales, Lineales segmentadas (Incluyen funciones de Umbral), No Lineal y Segmentada no Lineal. Una función de evaluación del subíndice puede ser llevada a cabo, a través del desarrollo explícito de operadores

matemáticas, o por el desarrollo implícito de representaciones gráficas basadas en las opiniones de expertos (Ball y Church, 1980).

El valor de una observación puede ser clasificado o escalado (relacionado con un valor fijado acorde con el vector control) o preferenciado (ranqueado de acuerdo con el vector control comparado con otras observaciones). Cualquier método requiere de algunos procedimientos de medida bien definidos como el de "cercanía ajustada" (closeness-of-fit), esta medida no requiere de conocimientos sobre el uso del agua, como sí el implicado en el vector control. Este valor puede calcularse por la transformación paramétrica de las desviaciones de los valores control en los subíndices y agregando los mismos. Alternativamente, el puntaje puede ser calculado por las medias de los incrementos de expertos, quienes presumiblemente consideren los atributos antagonistas o sinérgicos de las interacciones paramétricas como también de las desviaciones paramétricas individuales de los valores deseados (Ball y Church, 1980).

Sin embargo, el valor de un índice de una muestra puede estar errado, esta dificultad se presenta principalmente por el método de cálculo del índice. Ott (1978) describe dos problemas: el eclipsamiento y la ambigüedad. El eclipsamiento ocurre cuando se calcula un valor satisfactorio aunque el subíndice sea cero o insatisfactorio, lo cual es causado por la agregación aditiva de las funciones. La ambigüedad ocurre cuando el valor definido no existe para una observación particular. Esto podría suceder cuando una concentración es alta o baja, para la curva de incremento del parámetro definido. Por ejemplo, una curva de incremento para el oxígeno disuelto puede considerar valores entre 0 y 140, pero en alguna ocasión, una muestra puede alcanzar 150. Este parámetro estaría indefinido en el incremento.

Existen dos enfoques para el cálculo de un índice de calidad de agua. El primero es, el producto ponderado. En este método, los pesos, dan importancia a los puntajes y todos ellos son ponderados de acuerdo a la importancia de los pesos y luego son multiplicados. Este método evita el eclipsamiento. La otra aproximación es la suma ponderada, en ella, cada puntaje es multiplicado por su peso y entonces estos productos son sumados para obtener el índice. Si los pesos son los mismos para cada puntaje, entonces el valor del índice es llamado valor aritmético no ponderado. Si la suma de los pesos de uno de ellos no es idéntica, entonces se conoce como calidad del agua aritmética (Ball y Church, 1980).

Esto es mucho más lógico que el incremento de los vectores de calidad observados, así, de acuerdo con un vector control ideal, el puntaje debería incrementarse. Lo anterior es intuitivamente lógico, por ejemplo, en una escala de 0 a 100, cero representa el menor ajuste con el vector ideal y 100 expresa el ajuste perfecto con el vector ideal. La calidad de la muestra que se represente por la puntuación puede acordarse con el entendimiento universal del significado relativo de las puntuaciones. Esta escala debe ser más sensitiva al cambio del vector observado con el vector ideal. Igualmente, la escala debe ser menos sensible a los cambios de calidad de desviaciones amplias del vector control (Ball y Church, 1980).

Para un programa de muestreo donde las muestras son tomadas en estaciones establecidas en un periodo de tiempo y los puntajes han sido agrupados dentro de segmentos de tiempo, el mejor estimador de la calidad de agua, es un promedio de los valores del índice.

## 2.2. Antecedentes Sobre Índices De Calidad De Agua

Para las evaluaciones de calidad de agua, diferentes organizaciones de varias nacionalidades involucradas en el control del recurso hídrico, han usado históricamente y de manera regular, Índices Físicoquímicos. Sin embargo, mientras que los índices de calidad de agua aparecen en la literatura a principios de 1965 (Horton, 1965), la ciencia del desarrollo de los índices de calidad de agua no madura hasta los 70s. Esto pudo deberse en parte a que no fueron ampliamente utilizados y aceptados por las diferentes agencias de monitoreo de la calidad acuática.

El índice General de Calidad de Agua fue desarrollado por Brown *et al.* (1970) y mejorado por Deininger para la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos en 1975 (NAS, 1975).

De acuerdo con un estudio de la NAS (1975), el Departamento Escocés para el Desarrollo (SSD), en colaboración con instituciones regionales para la preservación de la calidad del río, *The Solway Pufication Board* (Solway RPB) y la *Tweed Purification* (Tweed RPB), llevaron a cabo extensas investigaciones para evaluar la calidad del agua en ríos de Escocia.

En 1978 Ott, presenta una discusión detallada sobre la teoría de índices ambientales y su desarrollo como también una revisión sobre los índices de la época (Ott, 1978a).

Según Cude (2001), desde 1978 hasta 1994, revisiones de literatura de los índices de calidad de agua desarrollados desde su introducción, han revelado enfoques nuevos y han proporcionado nuevas herramientas para el desarrollo de los índices (Dinius, 1978; Stoner, 1978; Yu and Fogel, 1978; Joung *et al.*, 1979; Bhargava, 1983; Smith, 1987; Kung *et al.*, 1992; Dojlido *et al.*, 1994; En: Cude (2001)).

Sólo hasta 1980, el Departamento de Calidad Ambiental de Oregon, desarrolló su propio índice a partir del NSF, sin embargo, su aplicación fue discontinua dada la dificultad de su cálculo en computadores de primera generación.

Entre 1995 y 1996 se desarrollaron, entre otros, los siguientes avances: la Estrategia de Evaluación de la Florida (The Strategic Assessment of Florida's Environment-SAFE) que formuló un índice en 1995. El índice de British Columbia (BCWQI) desarrollado en 1996 y El Programa de Mejoramiento de la Cuenca Baja de (WEP, 1996) que desarrolló un índice en 1996.

En este último año, un estudio realizado por Helmond y Breukel, demostró que por lo menos 30 índices de calidad de agua son de uso común alrededor del mundo, y consideran un número de variables que van de 3 a 72. Prácticamente todos estos índices incluyen por lo menos 3 de los siguientes parámetros: O<sub>2</sub>, DBO y/o DQO, NH<sub>4</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P, NO<sub>3</sub>-N, pH y sólidos totales.

Stambuk-Giljanovc (1999) hace un recuento de los índices de calidad formulados formulados cada uno con su propio objetivo como los siguientes: Dalkey (1968), Liebman (1969), Prati *et al.* (1971), O`Connor (1972), Harkins (1974), Walski y Parker (1974), Inhaber (1975) Service for Rhine Contamination Monitoring (IAWR, 1976), Shaefer y Janardan (1977), Provencher y Lamontagne (1979), Couillard y Lefevre (1985), House y Ellis (1987) y Petersen (1997).

Investigaciones hechas en Internet, muestran que para la fecha el índice NSF es aún utilizado, especialmente como herramienta en estrategias pedagógicas en escuelas, colegios y preparatorias de Estados Unidos, como lo hace la Universidad Estatal de Cleveland, Ohio, quien tiene un sitio especial donde se explica y promueve el uso del NSF. Otros ejemplos de esto son: el Iowa Rivers Project, las Escuelas de Nebraska, en la cascada y la Escuela Superior de Idaho con su "Advanced Biology Class". Existe inclusive un manual conocido como: "Field Manual for Water Quality Monitoring: An Environmental Education Program for Schools" por M.S. Mitchell, William B. Stapp, and Kevin Bixby, 11th edition (Marzo de 1996) (Brown *et al.*, 1970; Mitchell y Stapp, 2000).

Para el caso Latinoamericano, en México se han desarrollado diversos índices de Calidad de Agua a medida que la normatividad se ha desarrollado (Montoya, 1997).

Dentro de los índices generales de común utilización en este país se encuentran, los de Horton, Brown, Prati, Mcduffi, Dinius y el INDIC-SEDUE. En los de usos específicos están los de O'connors (Pesca, vida silvestre y Abastecimiento público), Walski (Recreacional), Stoner (Abastecimiento público e Irrigación) y el de Nemerow y Sumitomo (Contacto humano directo, indirecto y remoto), (SRH, 1973; Guzmán y Merino, 1992; Montoya *et al.*, 1997).

El índice INDIC-SEDUE fue el primero en desarrollarse y aplicarse en México y en Jalisco, tuvo un uso común en la antigua Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología en el Departamento de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental de la Subdelegación de Ecología de la Delegación SEDUE-JALISCO (González, 1980). Este índice de Calidad de Agua esta basada en el índice desarrollado por Dinius y adaptado y modificado por la Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica (DGPOE) de la SEDUE (Montoya, *et al.*, 1997).

En Colombia de acuerdo con el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2000), la medición de parámetros fisicoquímicos es una actividad rutinaria. Sin embargo, no ha sido así el cálculo de índices de calidad de agua, a pesar de las recomendaciones explícitas en la legislación y de los desarrollos de formulaciones propias como las de Ramírez *et al.* (1997, 1999, 2005), aunque éstas sí vienen siendo aplicadas regularmente dentro de la industria del petróleo. Tan solo algunas corporaciones autónomas regionales en las ciudades de Santafé de Bogotá, Barranquilla, Bucaramanga, Cali y Manizales, aplican formulaciones de origen norteamericano en sus programas de monitoreo.

En 2002, diferentes entidades que conforman el Sistema de Información Ambiental Colombiano, incursionaron sobre la base de los desarrollos de Ramírez y Viña (1998) y otros autores en el diseño de 14 indicadores ambientales, de los cuales 3 corresponden a la oferta hídrica, 2 a la sostenibilidad del recurso, 6 a la calidad del agua dulce y 3 ICAs adicionales para las aguas marinas y costeras. A pesar de este importante esfuerzo, algunos de estos indicadores, especialmente los de calidad del agua, apenas se dejan planteados en consideración a la poca densidad de puntos de colección de datos y su falta de sistematización y estandarización (IDEAM *et al.*, 2002).

Como se puede ver y a pesar de los desarrollos en el ámbito mundial y local en cuanto al desarrollo de ICAs-ICOs, en la actualidad se hace necesario dentro del marco de la valoración y manejo del agua, desarrollos de Sistemas Integrados de Evaluación del Recurso Hídrico y no tan sólo de formulaciones separadas.

## REFERENCIAS

- 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, EE4, 757-771.
- BCWQI. 1996. Ministry Of Environment, Lands, And Parks. The Water Quality Section. *British Columbia Water Quality Status Report*. April, Victoria, Bc.
- Brown R., McClelland N., Deininger R., Tozer R. 1970. A Water Quality Index- Do We Dare? *Water And Sewage Works*. October. P. 339-343
- Brown, R., McClelland, N. 1973. Water Quality Index. Application In The Kansas River Basin
- Couillard, D., Lefebvre, Y. 1985. Analysis Of Water Quality Indices. *Journal Of Environmental Management* 21:161-179.
- Cude, C. 2001. Oregon Water Quality Index: A Tool For Evaluating Water Quality Management Effectiveness. Paper No. 99051 Of The *Journal Of The American Resources Association* 37(1):125-138.
- Dalkey, N. 1968. DELPHI, The Rand Corp.
- Decreto 475 De 1985. Ministerio De Salud. Colombia.
- Decreto 1594 De 1984. Ministerio De Salud. Colombia
- Dinius, S., 1987. Design Of A Water Quality Index, *W.R. Bulletin*, V23, #5, Pp. 833-43.
- Dunnette, D. A Geographically Variable Water Quality Index Used In Oregon. *Journal Of The Water Pollution Control Federation*, Vol. 51, No. 1, Pages 53-61, 1979.
- Guzmán A., Merino. M. 1992. Diagnóstico De La Contaminación Del Agua En Jalisco. *Cuadernos De Difusión Científica* 26. Univ. Guadalajara. 67 Pp
- Horton, R., 1965. An Index Number System For Rating Water Quality, *Jr. Of Wpcf*, Vol. 37.
- House, M., Ellis, J. 1987. The Development Of Water Quality Indices For Operational Management. *Water Sci. Technol.* 19(9), 145-154.
- IDEAM, 2000. Estudio Nacional del Agua. En: <http://ideam.gov.co>

- IDEAM, SINCHI, IAVH, IIAP, INVEMAR. 2002. Sistema de Información Ambiental de Colombia -SIAC - Primera Generación de Indicadores de la Línea Base de la Información Ambiental de Colombia. ISBN 958-8067-08-1
- IAWR. 1976. Die Rheinwasserqualität 1976 Und Die Grenzwerte Des IAWR Memorandums. IAWR Rheinbericht 1976. Pp. 18-24. Amsterdam
- Inhaber, M. 1975. An Approach To A Water Quality Index For Canada. Water Resources. 9,821-833.
- Liebman, H. 1969. Atlas Of Water Quality: Methods And Practical Conditions, R. Oldenbourgh, Munich
- Mitchell, M., Stapp, W. 2000. Field Manual For Water Quality Monitoring. Twelfth Edition.
- Montoya, H., Contreras, C., García, V. 1997. Estudio Integral De La Calidad Del Agua En El Estado De Jalisco. Com. Nal. Agua., Geren. Reg. Lermasantiago. Guadalajara. 106 Pp
- National Academy Of Science (NAS). 1975. Planning For Environmental Indices. A Report Of The Planning Committee On Environmental Indices. National Academy Of Science. Washington.
- NSF. 1970. Basin Water Quality Information References. National Sanitation Foundation Water Quality Index. En:  
<http://bcn.boulder.co.us/Basin/Data/Info/References.Html>.
- O'Connor, M. 1972. The Application Of Multiattributive Scaling Procedures Of Indices Of Value. Engineering Psychology Laboratory Of The University Of Michigan. Ann Arbor, MI, USA.
- Oregon DEQ, 1980. Assessment Of Oregon'S Water Quality And Water Pollution Control Program Oregon Department Of Environmental Quality, Portland, Oregon.
- Ott, W. 1978. Environmental Indices, Theory And Practice, Aa Science, Ann Arbor, Michigan.
- Petersen, D. 1997. Ohio River Water Quality Index. Health Department Cincinnati.
- Prati, L. 1971. Assessment Of Surface Water Quality By A Single Index Pollution. Water Res. 5. 741-751
- Prati, L., Pavanello, R. 1971. Assesment Of Surface Water Quality By A Single Index Of Contaminación, Water Resources Research, Vol.5, May 1971, Pp. 456-467.
- Provencher, M., Lamontagne, J. 1979. A Method For Establishing A Water Quality Index For Different Uses. Gouvernement Du Québec, Ministère Des Richesses Naturelles, Le Service De La Qualité Des Eaux. Bibliothèque Nationale Du Québec.

- Ramírez, A., Restrepo, R., Viña, G. 1997. Cuatro Índices De Contaminación Para Caracterización De Aguas Continentales. Formulaciónes Y Aplicación. Ciencia Tecnología Y Futuro 1(3): 135 - 153.
- Ramírez, A., Restrepo, R., Cardeñosa, M. 1999. Índices De Contaminación Para Caracterización De Aguas Continentales Y Vertimientos. Formulaciónes. Ciencia Tecnología Y Futuro 1(5): 89-99.
- Ramírez, A., Restrepo, R., Fernández, N. 2005. Programas De Monitoreo Sobre Aguas Continentales Para La Evaluación De Impactos Ambientales Por Vertimientos. Revista Bistua Vol.3. En Prensa.
- SAFE, 1995. Strategic Assessment Of Florida's Environment. Florida Stream Water Quality Index.Statewide Summary.USGS. 1994. Arkansas
- Shefer, D., Janardan, K. 1977. Communicating Environmental Information To The Public A New Water Quality Index. Journal Of Environmental Education. 8,18-26.
- SRH. 1973. Estudio Limnológico Del Lago De Chapala. (I Etapa). Sria. Rec. Hidrául.,Subsria. Plan., Univ. Nal. Autón. México. Inst. Ing., México. 216 Pp.
- SRH. 1981. Inventario De Cuerpos De Agua De La República Mexicana. Sria. Rec.Hidrául., México. S/D. Pp.
- Stambuk-Giljanovc. 1999. Water Quality Evaluation By Index In Dalmatia. Wat. Res. 33(16): 3423-3440. Elsevier Science Ltd.
- Van Helmond, C. Breukel. R. 1997. Physico-Chemical Water Quality Indices. In: J.J. Ottens, F.A.M. Claessen, P.G. Stoks, J.G. Timmerman And R.C. Ward (Eds) – Monitoring, Tailor-Made II. Proceedings Of An International Workshop On Information Strategies In Water Management, Nunspeet, The Netherlands, 475-479.
- Walski, T., Parker, F. 1974. Consumers Water Quality Index. Journal Of The Environmental Engineering Division. 100, 259-611.
- WEP, 1996. Lower Great Miami Watershed Enhancement Program (WEP). Miami Valley River Index. <http://www.mvrpc.org/wq/wep.Htm>



investigación en  
**HO**  
**2**  
calidad del agua