

DETERMINACIÓN Y EVALUACIÓN DE ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN (Icos) EN CUERPOS DE AGUA

Juan Sebastián, Cañas Arias

Ing. Civil, Residente de Obra

Makro Construcciones LTDA, Bogotá, Colombia, sebas1986canas@hotmail.com

RESUMEN

En el presente artículo se expone un método para evaluar y cuantificar la contaminación presente en un cuerpo de agua determinado basándose en una serie de formulas que permiten relacionar parámetros físico químicos y biológicos; para presentar el método y facilitar su interpretación se utilizaran datos suministrados por la corporación autónoma regional de Cundinamarca a través de su sistema de puntos de monitoreo a lo largo de la cuenca del rio Bogotá puntualmente en el rio Teusacá después del humedal aposentos, durante el estudio de los parámetros se emplearon la dureza, conductividad y alcalinidad para determinar el índice de contaminación por mineralización, en segundo lugar se determino el índice de contaminación por materia orgánica se empleó la demanda biológica de oxígeno, coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno, a continuación se determinó el índice de contaminación por sólidos suspendidos para seguir con el índice de contaminación por trofia en el que se utiliza la cantidad de fosforo total finalizando con el índice de contaminación por pH.

Palabras clave: Índice de contaminación, conductividad, coliforme, dureza, demanda biológica de oxígeno, trofia, pH.

ABSTRACT

This paper presents a method to evaluate and quantify the contamination in a sample of water applying some equations using physicochemical and biological parameters, in order to show the method and make easier the interpretation process a group of data supplied by the regional autonomous corporation of Cundinamarca will be used, the required parameters to apply the method are: hardness, conductivity and alkalinity determine the mineralization pollution index, in second place using the biological oxygen demand, total coliforms and percentage of oxygen saturation the index of organic matter pollution was determined, subsequently the pollution index by suspended solids and pollution index for hypertrophy using the total phosphorus parameter and finally the pollution index by pH.

Key words: Pollution index, conductivity, coliform, hardness, biological oxygen demand, hypertrophy, pH.

INTRODUCCION

Actualmente y a causa del rápido crecimiento de la industria y la población se ha generado un impacto ambiental profundo, de esta manera se han puesto en peligro en su totalidad los recursos naturales necesarios para la subsistencia de la vida en el planeta; una de las afectaciones más notorias y preocupantes se ha presentado en el agua a causa de la gran cantidad de vertimientos generados por la acción antrópica a pesar del marco legal existente que pretende regular y disminuir la contaminación que amenaza los cuerpos de agua.

Buscando mitigar la contaminación del agua es muy importante comenzar a determinar y analizar índices que se pueden obtener a partir de parámetros básicos en los estudios de las características de los cuerpos de agua para cuantificar y presentar de manera sencilla resultados que generen una precepción general o específica del estado de cada caso de estudio y poder tomar acciones para mejorar las condiciones generales de los cuerpos de agua buscando generar nuevos datos y límites permitidos para fortalecer la legislación que regula los vertimientos y la contaminación general del agua en nuestro país

En el presente estudio se expone un método para determinar y analizar índices de contaminación del agua a través de parámetros obtenidos en laboratorio o a través de información base que arrojen resultados de fácil entendimiento para la población en general y que contribuyan con el mejoramiento de las condiciones ambientales en Colombia.

1. MATERIALES Y METODOS

A continuación se describirán los métodos de obtención de los índices de contaminación (ICOs) a través de información en el punto de muestreo del río Teusacá en la después del Humedal Aposentos suministrada por la corporación autónoma regional de Cundinamarca [8] en la que se encuentran parámetros como coliformes totales, DBO, conductividad, alcalinidad, dureza y sólidos suspendidos entre otros [1,2,9] necesarios para la determinación de cada uno de los índices de contaminación que en total son cinco propuestos por Ramírez en un estudio para la industria petrolera (Ramírez, 1988; Oleoducto Colombia-Ecopetrol-ICP, 1993: Oensa-Ecotest, 1997; BP Exploration, 1998; en Ramírez, 1999).[4,24,25,28,30]

Tabla 1. Parámetros para evaluación de índices de contaminación [7].

LUGAR	
Río Teusaca, Después del Humedal Aposentos	
PARAMETRO	
CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	736
ALCALINIDAD (mg/L)	115

DUREZA (mg/L)	70.8
DBO 5 (mg/L)	5.3
COLIFORMES (NPM/ml)	460000
OXIGENO %	2.4
SOLIDOS SUS (mg/L)	6.7
FOSFORO (mg/L)	1.026
pH	7.3

1.1. Índice de Contaminación por mineralización ICOMI

Agrupar la conductividad que expresa contenido de sólidos disueltos en la corriente del cuerpo de agua, dureza que se basa en la concentración de cationes de calcio y magnesio y alcalinidad que se expresa a través del contenido de los aniones de carbono y bicarbonato [22,26,29].

Este índice (ICOMI) se define en un rango de 0 a 1 en el cual los valores cercanos a cero indican baja contaminación por mineralización, por el contrario los valores cercanos a uno indican una alta contaminación por mineralización [28].

$$ICOMI = \frac{1}{3} (I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad})$$

Donde:

$$I_{Conductividad} = \text{Log}_{10} I_{Conductividad} = 3.26 + 1.34 \text{Log}_{10} \text{Conductividad } (\mu\text{S}/\text{cm})$$

$$I_{Conductividad} = 10^{\text{Log } I_{Conductividad}}$$

Conductividades mayores a $270 \mu\text{S}/\text{cm}$, tienen un índice de conductividad = 1

$$I_{Dureza} = \text{Log}_{10} I_{Dureza} = -9.09 + 4.40 \text{Log}_{10} \text{Dureza (mg/L)}$$

$$I_{Dureza} = 10^{\text{Log } I_{Dureza}}$$

Durezas mayores a 100mg/L tienen un índice = 1

Durezas menores a 30mg/L tiene un índice = 0

$$I_{Alcalinidad} = -0.25 + 0.005 \text{Alcalinidad (mg/L)}$$

Alcalinidades mayores a 250mg/L tienen un índice de 1

Alcalinidades menores a 50mg/L tienen un índice de 0

De esta manera aplicando los datos base registrados en el documento de la car y aplicando las formulas referentes al índice de contaminación por mineralización obtenemos el siguiente resultado:

Tabla 2. Parámetros modificados para trabajar la formula ICOMI

<i>Parámetros</i>		
<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>
<i>Conductividad</i>	<i>Alcalinidad</i>	<i>Dureza</i>
1	0.325	-0.95

Tabla 3. Resultado final para determinar el ICOMI

1. Índice de Contaminación por Mineralización				
<i>Punto de muestreo</i>	<i>Conductividad (μS/cm)</i>	<i>Alcalinidad (mg/L)</i>	<i>Dureza (mg/L)</i>	<i>ICOMI</i>
Río Teusaca, Después del Humedal Aposentos	736	115	70.8	0.125

1.2. Índice de Contaminación por Materia Orgánica ICOMO

Se obtiene a través de la demanda bioquímica de Oxígeno (DBO5), Coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno[3,5,15,20]

Se define entre un rango de 0 a 1 donde el aumento desde el valor más bajo se relaciona con el aumento de contaminación en el cuerpo del agua [28].

$$ICOMO = \frac{1}{3} (I_{DBO} + I_{Coliformes} + I_{Oxigeno \%})$$

Donde:

$$I_{DBO} = -0.005 + 0.70 \text{ Log}_{10} DBO \text{ (mg/L)}$$

$$DBO > 30 \text{ mg/L} = 1$$

$$DBO < 2 \text{ mg/L} = 0$$

$$I_{Coliformes \text{ Totales}} = -1.44 + 0.56 \text{ Log}_{10} \text{ Col. Tot. (NMP/100 ml)}$$

Coliformes Totales > 20.000 (NMP/100 ml) = 1

Coliformes Totales < 500 (NMP/100 ml) = 0

$$I_{\text{Oxigeno}\%} = 1 - 0.01 \text{ Oxigeno}\%$$

Oxígenos (%) mayores a 100% tienen un índice de oxígeno de 0 [28].

Aplicando como en el caso anterior a las formulas planteadas los datos proporcionados por la CAR se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 4. Parámetros modificados para trabajar la formula ICOMO

Parámetros		
I DBO 5	I Coliformes	I Oxigeno
0.50199	1	0.98

Tabla 5. Resultado final para determinar el ICOMO

2. Índice de Contaminación por Materia Orgánica					
Punto de Muestreo	de	DBO 5 (mg/L)	Coliformes (NMP/100 ml)	Oxigeno (%)	ICOMO
Río Teusaca, Después del Humedal Aposentos		5.3	460000	2.4	0.8260

1.3. Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos ICOSUS

Este índice trabaja con la concentración de sólidos suspendidos que se definen como partículas sólidas orgánicas o inorgánicas que se mantienen en suspensión en una solución [12, 23, 19]

$$\text{ICOSUS} = -0.02 + 0.0003 \text{ Sólidos Suspendidos (mg/L)}$$

Sólidos Suspendidos > a 340 mg/L tiene un ICOSUS = 1

Sólidos Suspendidos < 10 mg/L tiene un ICOSUS = 0

Solamente aplicando el valor disponible de solidos suspendidos a la formula presentada se puede obtener el índice de contaminación por solidos suspendidos obteniendo el siguiente resultado:

Tabla 6. Resultado final determinación ICOSUS

3. Índice de Contaminación por Solidos Suspendidos		
<i>Punto de Muestreo</i>	<i>Solidos Suspendidos (mg/L)</i>	ICOSUS
Río Teusaca, Después del Humedal Aposentos	6.7	0

1.4. Índice de Contaminación por Trofia ICOTRO

Se calcula sobre la base de la concentración de Fosforo Total en mg/L, El fósforo, como el nitrógenos, es nutriente esencial para la vida. Su exceso en el agua provoca eutrofización[16,10]. El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico[6,7]. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico

- Oligotrofia: < 0.01
- Mesotrofia: 0.01 – 0.02
- Eutrofia: 0.02 – 1.00
- Hipereutrofia: > 1.00

Con la información obtenida en los datos existentes se realiza una comparación con los rangos estándar y se determinan que grado de eutrofización presenta el cuerpo de agua, de esta manera se obtuvo la siguiente lectura:

Tabla 7. Determinación del ICOTRO

4. Índice de Contaminación por Trofia		
<i>Punto de Muestreo</i>	<i>Fosforo (mg/L)</i>	ICOTRO
Río Teusaca, Después del Humedal Aposentos	1.026	Hipereutrofia

1.5. Índice de Contaminación por pH ICOpH

Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO₂ disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, por ácidos húmicos disueltos del mantillo del suelo[11,14,18].

$$ICOpH = \frac{e^{-3.108+3.45 \text{ pH}}}{1 + e^{-3.108+3.45 \text{ pH}}}$$

Aplicando la fórmula para determinación del ICOPH se obtiene el siguiente resultado para el índice de contaminación:

Tabla 8. Determinación del ICOpH

5. Índice de Contaminación por pH		
<i>Punto de Muestreo</i>	<i>pH</i>	<i>ICOpH</i>
Río Teusaca, Después del Humedal Aposentos	7.3	0.0026

2. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados generales del presente artículo se presentan en la tabla 9 para su posterior análisis y discusión.

Tabla 9. Siglas y resultados finales para los índices de contaminación

ÍNDICE DE CONTAMINACION	SIGLA	RESULTADO
Índice de contaminación por mineralización	ICOMI	0.125
Índice de contaminación por materia orgánica	ICOMO	0.826
Índice de contaminación por sólidos suspendidos	ICOSUS	0
Índice de contaminación por trofia	ICOTRO	HIPEREUTROFIA
Índice de contaminación por pH	ICOpH	0.0026

2.1. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

Teniendo en cuenta que este es un índice que relaciona tres parámetros fundamentales como lo son la conductividad, la dureza y la alcalinidad al obtener un valor de índice bajo (cerca de cero) se podría pensar en el mismo sentido en valores reducidos para los parámetros analizando de esta manera un bajo contenido

de sales de magnesio y calcio que son responsables de un incremento de la dureza en un determinado cuerpo de agua, también es importante anotar que para que el fenómeno de mineralización en aguas está ampliamente ligado a la capacidad del cuerpo de agua que se estudia de disolver tanto cationes como aniones y esto se puede ver reflejado en la cantidad de sólidos disueltos que se pueden presentar y que incrementa o disminuye con la variación misma del resultado final del índice de contaminación.

2.2. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

En el resultado obtenido para el ICOMO se hace evidente una fuerte carga de materia orgánica que está siendo vertida en el cuerpo de agua en el punto de muestreo ya que se presenta para el índice un valor de 0.826 lo que al ser cercano al 1 representa un alto grado de contaminación ya que cuando se incrementan los valores de la DBO se hace presente una fuerte carga de contaminantes orgánicos que pueden tener como origen desechos domésticos, agrícolas, industriales y de la erosión del suelo. Son desechos humanos y animales, de rastros o mataderos, de procesamiento de alimentos para humanos y animales, diversos productos químicos industriales de origen natural como aceites, grasas, breas y tinturas, y diversos productos químicos sintéticos como pinturas, herbicidas, insecticidas, etc. Todos estos desechos hacen que el porcentaje de oxígeno en el agua descienda dramáticamente generando grandes afectaciones para la vida y el medio.

Por otro lado si se analiza el valor de coliformes totales que se empleó para determinar el índice de contaminación se observa un valor radicalmente alto de 460.000 (NMP/100 ml) cuando el máximo permitido es de 20.000 (NMP/100 ml) [8] lo cual podría representar un alto riesgo para la salud de los usuarios o simplemente de las personas que estén en contacto con el agua después de este punto ya que como se sabe el grupo coliforme está principalmente conformado por bacterias nocivas.

Basándose en lo anterior y en los resultados generales obtenidos se debe sugerir especial atención a la cantidad de materia orgánica vertida en el punto de muestreo ya que en los tres parámetros empleados para la determinación del índice se muestran valores demasiado altos cosa que finalmente generaría una total disminución del oxígeno en el cuerpo de agua, cosa que dificultaría altamente la existencia de vida tanto animal como vegetal en el punto de muestreo.

2.3. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)

En este índice se trabaja únicamente con un parámetro que es como su nombre lo indica la cantidad de sólidos suspendidos, estos pueden ser de origen industrial o doméstico [13,17] y básicamente son definidos como la proporción de sólidos retenidos en un filtro que después se seca hasta obtener un peso constante, generalmente representan un problema para la humanidad cuando entran en contacto con las estructuras hidráulicas a lo largo de una conducción o una planta de tratamiento ya que pueden tapar las válvulas por ejemplo, para el caso del resultado

obtenido en el artículo se le asigna a este índice un valor de cero cosa que demuestra que los valores de las lecturas de cantidad de sólidos suspendidos totales son nulas o que de existir en el cuerpo de agua sus cantidades presentan valores por debajo del mínimo detectable y no generaran problema alguno para la salud o el desarrollo de las actividades diaria de las personas que estén en contacto con el agua en la zona de estudio.

2.4. Índice de contaminación por trofia (ICOTRO)

Para poder entender de manera clara los resultados obtenidos en este índice de contaminación es muy importante hacer claridad a cerca de los conceptos que se generan por la concentración de fosforo en el agua, en primer lugar está la eutrofia que es un fenómeno que se genera cuando en un cuerpo de agua se presenta un exceso en la cantidad de nutrientes, este fenómeno genera que se incremente de manera descontrolada la existencia de plantas y organismos que al morir disminuyen la calidad del agua, en este mismo sentido la hipereutrofia es este fenómeno llevado al extremo. Para el caso de estudio del artículo se tiene un valor de contenido de fosforo de 1026 mg/L generando hipereutrofia, cuando sucede esto la cantidad de plantas y organismos que se presentan en el agua es tan alta que ni siquiera se permite el acceso de la luz dentro del cuerpo de agua, bajo estas condiciones la cantidad de materia orgánica se dispara haciendo que aumente proporcionalmente la demanda biológica de oxígeno y a su vez disminuya el porcentaje de oxígeno generando unas condiciones de una alta contaminación y degradación de la calidad del agua [16].

2.5. Índice de contaminación por pH (ICOpH)

Como ya es sabido la lectura del pH principalmente sirve para determinar si una sustancia resulta ser acida, básica o dado el caso neutra, dentro de la normatividad existente se ha establecido que los valores extremos permitidos para lecturas de pH deben encontrarse entre 5.0 y 9.0[3,21,27,31], el valor de pH utilizado para determinar el índice de contaminación fue de 7.3, después de aplicar este valor a la fórmula del ICOpH se obtuvo un valor de 0.0026 con tendencia a 0, lo que indica que la contaminación generada por la variación del pH es casi nula.

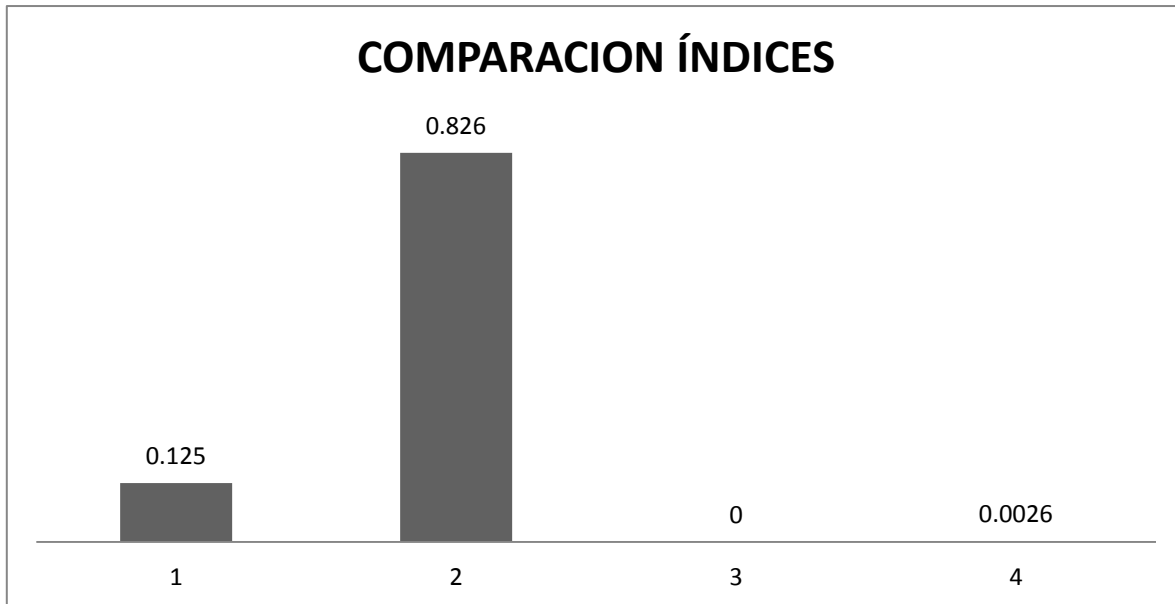
2.6. Comparación de los resultados

En la gráfica 1 que se presenta a continuación se muestran los valores obtenidos para los cuatro índices que se representa a través de valores numéricos; el resultado para el índice de contaminación por trofia (ICOTRO) no se puede plasmarr en la gráfica debido a que no se representa por medio de un valor numérico sino que debido a la cantidad de fosforo se le asignó una valoración como un medio con hipertrofia.

Valores numéricos obtenidos para índices de contaminación:

1. ICOMI: 0.125
2. ICOMO: 0.8260
3. ICOSUS: 0
4. ICOpH: 0.0028

Gráfica 1. Comparación entre valores de índices de contaminación



Analizando la gráfica se hace evidente que el índice de contaminación en el que se genera el rango más alto es el número 2 correspondiente al ICOMO, esto se puede explicar asociando el resultado del índice de contaminación por trofia y el índice de contaminación por materia orgánica ya que al haber concluido que en el cuerpo de agua estudiado se hace presente un fenómeno de hipereutrofia debido a los altos contenidos de fosforo evidentemente el análisis va a llevar a pensar que a causa de este fenómeno la cantidad de materia orgánica en el agua se va a disparar haciendo que se aumente la demanda biológica de oxigeno generando una carencia de este en el medio y si a esto le sumamos la gran cantidad de coliformes presentes se hace presente un problema de exceso de nutrientes y materia orgánica que están deteriorando radicalmente la calidad del agua.

3. CONCLUSIONES

Claramente la mayor parte de los problemas de contaminación del agua se generan como consecuencia del desarrollo de actividades humanas, es muy importante que se comiencen a generar estrategias y métodos para contrarrestar este impacto en el recurso hídrico debido a que este es de una importancia incalculable para el desarrollo de la vida en general en el planeta.

El estudio de índices de contaminación se presenta como una opción para la valoración cuantitativa y de fácil entendimiento que involucra una serie de parámetros muy importantes en el estudio de la calidad y la contaminación del agua, precisamente una de las ventajas de este método es que a través de fórmulas de sencilla ejecución integra y correlaciona parámetros muy importantes como la dureza o los coliformes totales y la cantidad total presente de fosforo en el agua [30,23], después de realizar los cálculos el proceso de interpretación es sumamente sencillo ya que simplemente es analizar el comportamiento de los valores ente 0 y 1 para poder dar algún veredicto a cerca de cada uno de los índices.

El estudio de índices de contaminación representa múltiples ventajas ya que da una idea muy aproximada de lo que puede ser el comportamiento del recurso en diferentes áreas dando ideas acerca del manejo del recurso ayudando a generar algunos criterios que faciliten las decisiones sobre prioridades y usos del agua en diferentes campos como el de la agricultura por ejemplo.

También a través del cálculo de índices de contaminación se podría generar un es tilo de cartografía hídrica del país en cuanto a contaminación para determinar cuáles son las áreas más afectadas y que factores causan estos daños para generar programas de manejo e intervenir los cuerpos de agua para tratar de mejorar las condiciones generales de todo el sistema hídrico del país.

Finalmente se puede concluir diciendo que es muy importante que se busque dar apoyo y continuidad a estudios de este estilo ya que estos arrojan importantes resultados y datos que seguramente servirán para mejorar las condiciones ambientales generales del país e impulsar y generar una nueva legislación que pueda regular a todas las empresas que generan vertimientos a los cuerpos de agua, que de esta misma manera también se puedan generar cantidades mínimas permitidas para el contenido de sustancias potencialmente nocivas en dichos vertimientos y en general incentivar la divulgación de los resultados obtenidos en los estudios como este ya que son de fácil entendimiento y análisis para los habitantes del país en general buscando generar conciencia ya que el problema de la contaminación del agua es algo que nos afecta a todos y cada uno de los habitantes del país.

BIBLIOGRAFIA

[1] **IDEAM.**, Estudio Nacional de Aguas, consultado en línea el 12 Mayo en: www.ideam.gov.co

[2] **FERNANDEZ, N., RAMOS, G., SOLANO, F.**, *ICATEST V 1.0®*: Una herramienta Informática para el análisis y valoración de la calidad del Agua., Revista BISTUA, Vol. 2, #2, ISSN 0120-4211, 2003, pp. 88 – 97.

[3] **FERNÁNDEZ, N., SOLANO, F.**, Índices de Calidad y de Contaminación del Agua., Universidad de Pamplona, 2005.

[4] **SAMBONI, N., CARVAJAL, Y., ESCOBAR, J.**, Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua., Revista Ingeniería de Investigación, Vol. 27, Valle, Colombia, 2007. pp. 172-181.

[5] **TORRES, P., CRUZ, C., PATIÑO, P.**, Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica., Revista Ingenierías, Universidad de Medellín, Vol. 8, #15 especial, ISSN 1692 – 3324, Medellín, Colombia, 2009, pp. 81 – 94.

[6] **DEL RÍO, I.**, Revisión Crítica de los Índices Físico-Químicos de Calidad del Agua., Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, Revista Ingeniería Civil, 1986.

[7] **PRATI, L, PANAVELLO, R.**, Assesment o a Surface Water Quality by a Singles Index of Contamination for different uses. Gouvernement du Québec, Ministère des Richesses Naturelles, Le Service de la Qualité. Bibliothèque Nationale du Québec, 1971.

[8] **CAR, 1996.** “Programa de aforo y muestreo del Rio Bogotá y sus principales afluentes. Validación de constantes para el modela de la simulación de la calidad de agua”. Cuervo Muriel Ingenieros Ltda.Vol. I y II Santafé de Bogotá.

[9] **OEA.**, Metodología Estadística para la Medición de la Calidad de los Recursos Hídricos en los Países de la Comunidad Andina., Preparado por: Proyecto Sistema de Información del Medio Ambiente (SIMA), Perú, 2004.

[10] **CETESB.**, Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental de Brasil., Índice de Calidad de Aguas, consultado en línea el 17 de Octubre de 2010 en <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/Índice.asp>.

[11] **BP. Exploration-Ecotest, 1996a.** *Monitoreo hidrobiológico del área de influencia de los campos Cusianay Cupiagua, Departamento del Casanare, Santafé de Bogotá.*

[12] **BP. Exploration -Ecotest, 1996b.** *Monitoreo hidrobiológico del área de Influencia del Bloque Piedemonte, Departamento del Casanare, Santafé de Bogotá* Behar, R., Zúñiga, M. del C. y Rojas, O., 1997. "Análisis y valoración del índice de calidad de agua (ICA) de la NSF: El caso de los ríos Cali y Meléndez (Cali - Colombia)", *Seminario Internacional sobre Macroinvertebrados Bentónicos como Bioindicadores de la Calidad del agua, Cali –Colombia*

[13] **Boulton, A.J. and Lake, P. S., 1990.** "The ecology of two intermittent streams in Victoria, Australia. I. Multivariate analyses of physicochemical features", *Freshw. Biol*, 24: 123-141

- [14] El-Shaarawi, A. H., Elliott, J. R., Kwiatkowski, R. E. and Peirson, D. R., 1986. "Association of chlorophyll a with physical and chemical factors in Lake Ontario, 1967-1981", *Statistical Aspects of Water Quality Monitoring*, Amsterdam, Elsevier, 273-291
- [15] George, J., Viña, G., Ramírez, A. y Mojica, J. I., 1991. *Manual de métodos de monitoreo biológico con aplicación en la industria del petróleo. Componente acuático*, Ecopetrol, Bogotá
- [16] Henao, A.M., 1987. "El disco Secchi y el estado trófico". *AINSA*, 7 (1)
- [17] Johnson, R. A. and Wichern, D.W., 1982. *Applied Multivariate Statistical Analysis*, New Jersey, Prentice-Hall, Inc., Englewood cliffs
- [18] Johnston, C. A., Detenbeck, N.E. and Niemi, G. J., 1990. "The cumulative effect of wetlands on stream water quality and quantity. A landscape approach", *Biogeochemistry*, 10: 105-141
- [19] Kendall, M. G., 1975. *Multivariate Analysis*, New York, Hafner Press
- [20] Manahan, S. E., 1991. *Environmental Chemistry*, 5a. ed. Lewis Pub
- [21] Margalef, R., 1983. *Limnología*, Barcelona, Omega
- [22] Martínez de Bascaran, G., 1976. "El índice de calidad del agua", *Ingeniería Química*: 45 -49.
- [23] Matthews, R. A., Mattheus, G B. and Ehinger, W.J., 1991. "Classification and ordination of limnological data: a comparison of analytical tools", *Ecol. Model*, 53: 167-187.
- [24] Ocesa-Ecotest, 1996. *"Monitoreo de los cuerpos de agua en el área de influencia del Oleoducto El Porvenir -Vasconia"*, Santafé de Bogotá
- [25] Ocesa -Ecotest (En preparación). *"Monitoreo hidrobiológico del área de influencia del Oleoducto Cusiana -Coveñas"*, Santafé de Bogotá
- [26] Oleoducto de Colombia -Ecopetrol ICP, 1993. "Estudio de línea base. Componentes biológicos y fisicoquímicos de los ecosistemas acuáticos", *Biología Aplicada, Ecology*, Alberto Ramírez.
- [27] Prat, N, González, G and Millet, X., 1986. "Comparación crítica de dos índices de calidad del agua: ISQA y BJLL", *Tecnología del Agua*, 31: 33 -49
- [28] Ramírez, A, 1988. "Lincamientos y estadísticas para estudios biológicos de impacto ambiental", *Contrato 64/87 Inderena*, Colombia, 455 p

[29] **Roldan, G.**, 1992. *Fundamentos de limnología neotropical*, Medellín. Ed. Universidad de Antioquia

[30] **Schetagne, R.**, 1989. "The use of multivariate methods in the interpretation of water quality monitoring data of a large northern reservoir", en *Statistical Aspects of Water Quality Monitoring*, Amsterdam, Elsevier: 30 -43

[31] **Zúñiga, M. del C, Rojas, A. M. and Serrato, C**, 1994. "Interrelación de indicadores ambientales de calidad en cuerpos de aguas superficiales del Valle del Cauca". *Rev. Col. de Entom.*, 20 (2): 124 -130.

