

EVALUACIÓN DE CARGA CONTAMINANTE GENERADA POR EL CASCO
URBANO DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ SOBRE LA CUENCA DEL RIO SUÁREZ
MEDIANTE DIAGNÓSTICO COMPARATIVO DE ICAs e ICos

JOAN MANUEL MANRIQUE GONZALEZ
OSKAR JAVIER RIAÑO DIAZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA

2012

EVALUACIÓN DE CARGA CONTAMINANTE GENERADA POR EL CASCO
URBANO DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ SOBRE LA CUENCA DEL RIO SUÁREZ
MEDIANTE DIAGNÓSTICO COMPARATIVO DE ICAs e ICOs

JOAN MANUEL MANRIQUE GONZALEZ
OSKAR JAVIER RIAÑO DIAZ

Trabajo de grado presentado como requisito en la modalidad de práctica
empresarial para optar el título de:
Ingeniero Químico

Director
HUMBERTO ESCALANTE HERNANDEZ
Ingeniero Químico Ph. D.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA

2012

DEDICATORIA

A Dios gracias, porque es él quien ha llenado de bendiciones mi vida y mi actividad académica a lo largo de este ciclo.

*A mi hermano, **JAIRO ANDRÉS RIAÑO DIAZ**, porque me dio ejemplo, consejos y fortaleza mientras estuvo a mi lado. Ahora desde el cielo siendo mi ángel de la guarda y cuidándome, culminé mi sueño.*

*A mi señora madre, **MARIA OLGA DIAZ ROJAS**, a quién le debo mucho más que este logro... le debo la vida, la adoro y la amo porque ha sido mi más grande impulsora en el cumplimiento de este objetivo.*

*A mi señor padre, **JAIRO JACINTO RIAÑO SUÁREZ**, que a lo largo de este camino fue mi guía, mi apoyo y mi seguridad para alcanzar este éxito, a quién amo y respeto, por eso con él comparto este triunfo.*

*A mi esposa, **SONIA MILENA CASTILLO CARDENAS**, quién se encargó de estar conmigo en las buenas y en las malas, brindándome un empuje adicional con su amor, en momentos de duro trabajo y esfuerzo, alegrándome la vida, siendo mi impulso y mi felicidad.*

A todos mil y mil gracias...

OSKAR JAVIER RIAÑO DIAZ

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
1. SITUACIÓN ACTUAL DE VÉLEZ Y LA CUENCA DEL RÍO SUÁREZ	17
1.1. ÍNDICES DE CALIDAD Y CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....	18
1.3 SELECCIÓN DE VARIABLES	19
1.4 FUNCIONES DE CALIDAD Y SUBÍNDICES [FERNÁNDEZ, <i>ET AL.</i> 2005].....	20
1.5 PONDERACIÓN	20
1.5.1 Estructuras de Agregación	21
2. METODOLOGÍA	22
2.1 SELECCIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS	23
2.1.1 Puntos de Muestreo Bocatomas.....	23
2.1.2 Puntos de Muestreo para Vertimientos	23
2.1.3 Puntos de Muestreo para Cuerpo de Agua Receptor	23
2.1.4 Muestreo y Caracterización Físicoquímica y microbiológica.....	24
2.1.5 Determinación de los Índices de Calidad y Contaminación	25
2.1.6 Estimación del índice de Calidad de la Comisión Nacional del Agua [Montoya, <i>et al.</i> 1997]	26
2.1.7 Estimación del Índice de Calidad del Agua del Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua (León, 1998).....	26
2.1.8 Determinación de los Índices de Contaminación del Agua	27
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	28
3.1 ESTACIONES DE MUESTREO.....	28
3.2 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y BIOLÓGICA.....	29
3.3 RESULTADOS DE ICAs e ICOs.....	30
3.3.1 Resultados de los límites de calidad según legislación colombiana.....	30
3.4 GRÁFICA DE VARIABILIDAD DE LOS ICAs e ICOs.....	30
3.5 COMPORTAMIENTO DE LA CALIDAD DE LAS VARIABLES.....	32
3.5.1 Variabilidad de calidad en la alcalinidad.....	33
3.5.2 Variabilidad de calidad en la dureza	34

3.5.3 Variabilidad de calidad de DBO	35
3.5.4 Variabilidad de calidad de coliformes fecales.....	35
3.5.5 Variabilidad de calidad del oxígeno disuelto.....	36
3.5.6 Variabilidad de calidad de los sólidos suspendidos	37
3.6 GENERALIZACIÓN DE RESULTADOS.....	38
CONCLUSIONES.....	39
BIBLIOGRAFÍA.....	40
ANEXOS.....	43

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Categorías y Variables para ICAs [Fernández, <i>et al.</i> 2005]	20
Tabla 2. Estructura de Agregación según ICA e ICO.....	21
Tabla 3. Variables cuantificadas a las muestras de agua	25
Tabla 4. Normatividad ambiental para vertimientos susceptibles a potabilización (Decreto 1594 de 1.984)	26
Tabla 5. Clasificación de las Estaciones de Muestreo según Naturaleza del Punto Crítico	29
Tabla 6. Valores de las Variables Usadas por los ICAs e ICOs.....	29
Tabla 7. Valores de ICAs e ICOs por Estación.	30
Tabla 8. Límites de Calidad por Índice.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metodología	22
Figura 2. Ubicación de las Estaciones de Muestreo	28
Figura 3. Comportamiento de cada índice a través de las estaciones de muestreo y Límites Mínimos de calidad por índice.	31
Figura 4. Índices de Calidad de Alcalinidad (A) por Estación	33
Figura 5. Índices de Calidad de Dureza (D) por Estación	34
Figura 6. Índice de Calidad de DBO por Estación.....	35
Figura 7. Índice de Calidad de Coliformes Fecales (CF) por Estación.....	36
Figura 8. Índice de Calidad de Oxígeno Disuelto (OD) por Estación	37
Figura 9. Índice de Calidad de Sólidos Suspendidos (S.S) por Estación.....	38

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Gráfica de Calidad y Ecuación Característica para el Subíndice de Calidad según ICOMI e ICA Montoya	43
Anexo B. Funciones de los Subíndices y factores de Ponderación según Montoya <i>et al.</i> (1997).....	44
Anexo C. ICATest v 1.0 Reportes Estaciones 1-4 para el índice de León	45
Anexo D. ICATest v 1.0 Reportes Estaciones 5-7 y Límite de Calidad para el índice de León	46
Anexo E. ICATest v 1.0 Reportes Estaciones 1-4 para el ICOMI	47
Anexo F. ICATest v 1.0 Reportes Estaciones 5-7 y Límite de Calidad para el ICOMI	48
Anexo G ICATest v 1.0 Reportes Estaciones 1-4 para el ICOMO	49
Anexo H. ICATest v 1.0 Reportes Estaciones 5-7 y Límite de Calidad para el ICOMO.....	50
Anexo I.. ICATest v 1.0 Reportes Estaciones 1-4 para el ICOSUS	51
Anexo J. ICATest v 1.0 Reportes Estaciones 5-7 y Límite de Calidad para el ICOSUS	52
Anexo K. Funciones de los subíndices de calidad para los ICOs	53

RESUMEN

TÍTULO

EVALUACIÓN DE CARGA CONTAMINANTE GENERADA POR EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE VELEZ SOBRE LA CUENCA DEL RIO SUÁREZ MEDIANTE DIAGNÓSTICO COMPARATIVO DE ICAs e ICOs*

AUTORES

MANRIQUE González Joan Manuel
RIAÑO Díaz Oskar Javier

PALABRAS CLAVE

CARGA CONTAMINANTE, INDICES DE CALIDAD, RÍO SUAREZ.

DESCRIPCIÓN

El impacto ambiental de un municipio sobre la cuenca hidrográfica a la que pertenece, es parte integral del PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRAFICA (POMCH). Es por tal razón que la CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE SANTANDER (CAS), encargada del POMCH del río Suárez, en convenio con la CORPORACIÓN DE TECNOLOGÍAS AMBIENTALES SOSTENIBLES (CTAS) diseñaron una estrategia para la evaluación del impacto que el municipio de Vélez tiene sobre la cuenca del rio Suarez. Dicha estrategia consistió en la recolección de muestras del agua de abastecimiento, desecho y vertimientos de Vélez, a las que se les practicó una caracterización fisicoquímica y biológica. De allí se obtuvieron una serie de variables representativas de la calidad del agua, que mediante implementación de 5 modelos matemáticos distintos y conocidos como INDICES DE CALIDAD Y CONTAMINACIÓN DEL AGUA (ICAs e ICOs), fijaron el estado de contaminación de las fuentes hídricas del municipio. Sin embargo las notorias diferencias entre ICAs e ICOs, plantearon la necesidad de establecer cuál de ellos era el más específico y determinante para la situación particular de estudio. Así que luego de un análisis de variabilidad de estos índices a través de las fuentes hídricas estudiadas y tomando como referencia la legislación colombiana para el uso del agua, se determinó el mejor modelo para evaluar la carga contaminante que genera Vélez. Igualmente se concluyó que en general el agua de abastecimiento de Vélez es de mediana calidad y que la carga contaminante del municipio es principalmente de origen orgánico.

* Práctica Empresarial

** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela Ingeniería Química.

Director: Ingeniero Químico Ph.D. Humberto Escalante Hernández. Codirector: Biólogo GUALDRÓN Juan Agustín, Corporación de Tecnologías Ambientales Sostenibles

ABSTRACT

TITLE:

POLLUTANT LOAD ASSESMENT GENERATED BY VELEZ URBAN ENVIRONMENT ON SUAREZ RIVER BASIN THROUGH QWIs AND CWIs' COMPARATIVE DIAGNOSTIC.

AUTHORS:

MANRIQUE González Joan Manuel
RIAÑO Díaz Oskar Javier

KEY WORDS:

POLLUTANT LOAD, QUALITY INDEX, SUAREZ RIVER

DESCRIPTION

Environmental impact of a municipality on the river basin which it belongs, is an integral part of the ORDERING AND HANDLING OF THE RIVER BASIN PLAN (OHRBP). For that reason the CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE SANTANDER (CAS), encharged of Suarez River OHRBP, in association with CORPORACIÓN DE TECNOLOGÍAS AMBIENTALES SOSTENIBLES (CTAS) designed an strategy for the environmental impact assesment that Velez municipality has on the Suarez river basin; This strategy consisted in collect supply, waste and dumping water samples from Velez. These samples were physicochemical and biological characterized. From the last procedure a serial of representative quality water variables were obtained and through the implementation of five known and different mathematical models as QUALITY AND CONTAMINATION WATER INDEX (QWIs and CWIs) fixed the pollution state of the municipality water sources. However, the big differences between the QWIs and CWIs, raised the necessity to stablish which of them was the most specific and determinating for this particular study situation. So, after a variability analysis of these indexes through the studied water sources and taking as a reference the Colombian legislation for the waer use, it was determinated the best model to evaluate the pullutant load generated by Vélez municipality. It was concluded that Vélez's water supply is medium quality and that the municipality pollutant load is mainly from organic sources.

* In Field Practice

** Faculty of Physical and Chemical Engineering. Chemical Engineering Department.

Director: Humberto Escalante Hernández, Ph.D. Co-director: GUALDRÓN Juan Agustín, Biologist, Sustainable Environmental Technologies Corporation.

INTRODUCCIÓN

Vélez es un municipio de Santander con una población de 25.687 habitantes [EOTV, DANE 2005]. Su cabecera municipal tiene una extensión territorial de 12.870 hectáreas [DANE, 2005]. Vélez se abastece de agua de dos Quebradas: el Batán y la Peña, ambas pertenecen a la cuenca del río Suárez, captando 20 L/s de cada una. El tipo de captación del agua es lateral y actualmente se encuentran con fugas, por el deterioro de las tuberías [EMPREVEL, 2010].

El municipio de Vélez, cuenta con una planta potabilizadora de agua, la cual está compuesta por un proceso de sedimentación y de desinfección, con una capacidad para abastecer cerca de 2.496 usuarios. Esta planta se construyó en el año de 1950 por ACUASUR pero sólo se puso en servicio hasta 1952.

La planta de tratamiento de agua de Vélez cuenta con: a) receptáculo de agua cruda, en la que se adiciona sulfato de aluminio y cal, b) proceso de mezcla lenta que se realiza en dos floculadores, uno horizontal y otro convencional, este último construido en placas de concreto de 0.6 m de profundidad, c) dos sedimentadores convencionales de 360 m^3 hechos de concreto y d) tres filtros cuyas paredes son de concreto con un lecho de antracita y arena de $3\text{ m} \times 5\text{ m} \times 2\text{ m}$. La etapa de desinfección se hace mediante cloro gaseoso [EMPREVEL, 2010]. El almacenamiento consta de tres tanques de 340 m^3 , 370 m^3 , 100 m^3 , la planta tiene una capacidad de tratamiento de 70 l/s pero sólo se capta y se trata 34 l/s en condiciones normales.

Vélez se dedica a las actividades económicas de tipo agroindustrial principalmente ornamentación, industria de bocadillo, ganadera. Dichas actividades generan residuos (NaOH, material orgánico, grasas de origen animal) que son vertidos a través del sistema de alcantarillado a las fuentes de agua sin ningún tratamiento,

lo que implica un deterioro del cuerpo de agua receptor (Quebrada Puente Ríos). Adicionalmente el matadero municipal realiza una descarga que dada su naturaleza, contiene una alta carga orgánica.

El río Suárez se encuentra actualmente sujeto a un plan de ordenación y manejo de su cuenca hidrográfica [POMCH, 2010]. Esto requiere un estudio que muestre su condición actual, explícitamente, conocer la influencia que tienen los municipios que él abastece. Vélez aún sin ser una población ribereña al Suárez, impacta sobre la cuenca del mismo, dado que capta agua y vierte sus residuos en afluentes de éste [EOTV, DANE 2005].

Un procedimiento sencillo para la evaluación de impacto ambiental consiste en la aplicación de un índice de calidad o contaminación del agua ICA. Este se genera a partir de un tratamiento matemático sobre un conjunto de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos producto de la caracterización de muestras de agua. Sin embargo dada la gran diversidad de estos índices, se tiene incertidumbre sobre cuál es el más específico y determinante en la valoración de impacto ambiental.

Por lo anterior el objeto del presente trabajo fue determinar el impacto que los vertimientos, producto de las actividades agroindustriales y domésticas de Vélez, están ocasionando a la cuenca del río Suárez. Para cumplir con el objetivo se propuso un diagnóstico comparativo de dos Índices de calidad del agua (ICA) [Patiño *et al.* 2009] y 3 Índices de contaminación (ICO) [Patiño *et al.* 2009.] Igualmente establecer cuál de estos índices es el idóneo dadas las circunstancias. Este trabajo se realizó mediante la modalidad de práctica con la empresa Corporación de Tecnologías Ambientales Sostenibles (CTAS); quien es la entidad encargada de evaluar el impacto de asentamientos humanos sobre la cuenca del río Suárez.

1. SITUACIÓN ACTUAL DE VÉLEZ Y LA CUENCA DEL RÍO SUÁREZ

Vélez se encuentra ubicado al sur del Departamento de Santander, al norte de Barbosa, al oriente de Guepsa y al occidente de Landázuri; su extensión total es de 27134 Km^2 , su área urbana 11097 Km^2 , su área rural 16037 Km^2 , con una Temperatura de 17°C, su altitud es de 2050 metros sobre el nivel del mar. Vélez está conformado por 6.313 predios, con una superficie de 4302587 hectáreas equivalente a 430,25 Km^2 un área construida de 141462 metros cuadrados. [DANE, 2005].

Las principales actividades económicas son Agricultura, caña de azúcar, guayaba, café, frijol, maíz, cacao, frutas, legumbres, Ganadería (vacuna), Minería (caliza) entre otras.

La producción de bocadillo se realiza en modernas empresas. Esta población cuenta con más de 120 microempresas, por tanto es la base de la economía veleña. Vélez es el eje central de la economía. Los productos agrícolas y pecuarios, es considerado como el principal mercado regional de bovinos, equinos, porcinos y productos agrícolas. La guayaba es una explotación tradicional junto a la explotación ganadera, tiene importancia para los ingresos de los campesinos en época de cosecha octubre, noviembre, diciembre. En el sector de los Guayabos, Peña blanca, La Doctrina y la Capilla están ubicadas las industrias del bocadillo. De ellas hay 9 fábricas que se consideran grandes, 16 medianas y 10 pequeñas, todas al igual que el casco urbano vierten sus desechos en la Quebrada Puente Ríos [EOTV, DANE 2005].

1.1. ÍNDICES DE CALIDAD Y CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Los índices de calidad (ICA) e índices de contaminación (ICO) son herramientas sencillas que permiten conocer el estado de contaminación del recurso hídrico mediante la integración de las mediciones de determinados parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos. Con un número entre 0 y 100 para ICAs, ó 0 y 1 para ICOs se registra la calidad o contaminación del agua respectivamente. Los ICAs e ICOs han tenido amplio uso, desde el estudio de cuencas hidrográficas como la hecha con el Índice de León en el Lago de Chapala en México [León, 1992], hasta la de caracterización de efluentes de la industria petrolera con un ICO [Ramírez, *et al.* 1997].

En 1970 se diseñó el primer ICA el “Water Quality Index” (WQI) [Fernández, *et al* 2005], nació como necesidad de conocer la calidad del agua en Estados Unidos de forma práctica y fue propuesto por la NATIONAL SANITATION FOUNDATION (NSF). De allí en adelante surgen una gran variedad de ICAs dado el creciente número de situaciones en las que WQI NSF fue obsoleto. Muchos parámetros fueron incluidos en los nuevos índices y la estructura que los definió se alternó de promedios geométricos a promedios aritméticos. No obstante y a pesar de estos intentos los ICAs son poco específicos en casos particulares de estudio, como la contaminación térmica de una fuente hídrica, en razón a este inconveniente nacen los ICOs. Sin embargo tanto ICAs e ICOs tienen ventajas y desventajas como:

Ventajas:

- Permite evaluar la variación espacial y temporal de la calidad del agua.
- Son métodos simples, concisos y válidos para expresar la importancia e interpretación de datos generados en laboratorio.
- Identifican tendencias de la calidad del agua y áreas problemáticas.
- Ayudan en la definición de prioridades con fines de gestión y mejorar la conciencia sobre la calidad de agua.

Desventajas:

- Proporcionan un resumen de los datos.
- No proporcionan información completa sobre la calidad del agua.
- No pueden evaluar todos los riesgos presentes en el agua.
- Pueden ser subjetivos y sesgados en su formulación.
- Se basan en generalizaciones conceptuales que no son de aplicación universal debido a las diferentes condiciones ambientales que presentan las cuencas de una región a otra.

La metodología para el diseño de un ICA consta de 4 pasos [Fernández, *et al.* 2005]: a) Selección de variables; b) Especificación de gráficas de calidad y/o ecuación de regresión para cada variable, entendidos como subíndices; c) Ponderación y d) Cálculo agregado del ICA a partir de los subíndices, mediante una expresión matemática.

1.3 SELECCIÓN DE VARIABLES

La selección de variables fue hecha desde siempre a través de paneles de expertos y entidades gubernamentales, quienes determinan su importancia estableciéndolas como estándares de la calidad del agua. Dichas variables se clasifican en 5 categorías principales, de las cuales se deben seleccionar las más significativas (Tabla 1).

Tabla 1. Categorías y Variables para ICAs [Fernández, *et al.* 2005]

Categorías	Variables
Nivel de oxígeno	DBO, DQO.
Eutrofización	Nitritos, Nitratos, Ortofostatos.
Aspectos de salud	Coliformes Fecales y Totales.
Características físicas	Temperatura, Transparencia.
Sustancias disueltas	Sólidos totales, Sólidos disueltos y suspendidos, pH, Alcalinidad, Dureza.

1.4 FUNCIONES DE CALIDAD Y SUBÍNDICES [FERNÁNDEZ, ET AL. 2005]

Dadas las distintas unidades (mg/L, NMP/100mL, % Saturación) en las que se expresan las variables de un ICA o ICO su agregación para el cálculo del índice es muy complicada. Por tal razón se establecen las funciones o curvas de calidad y las ecuaciones o subíndices; con ellas encontramos un nuevo parámetro adimensional llamado calidad en base al valor de una variable. El tipo de relación sea gráfica o matemática depende del ICA o ICO considerado, en el anexo 1 se encuentra un ejemplo de los distintos tipos de gráficas y ecuaciones que existen.

1.5 PONDERACIÓN

En el diseño de ICAs e ICOs, la asignación de peso a cada variable depende del uso pretendido del agua y la incidencia de cada una de ellas. Así variables como la concentración de fosfatos “pierden” importancia (peso) cuando se trata de agua para consumo humano. El rango de valores para el peso de cada variable está comprendido entre cero y uno (sumatoria total igual a uno).

1.5.1 Estructuras de Agregación

La determinación de un índice es una integración de todos los datos, calidades o sub-índices y factores de ponderación, mediante una estructura matemática que puede ser de tipo sumatoria o productoria, la (tabla 2), muestra la estructura de agregación propia de cada índice y su respectiva nomenclatura.

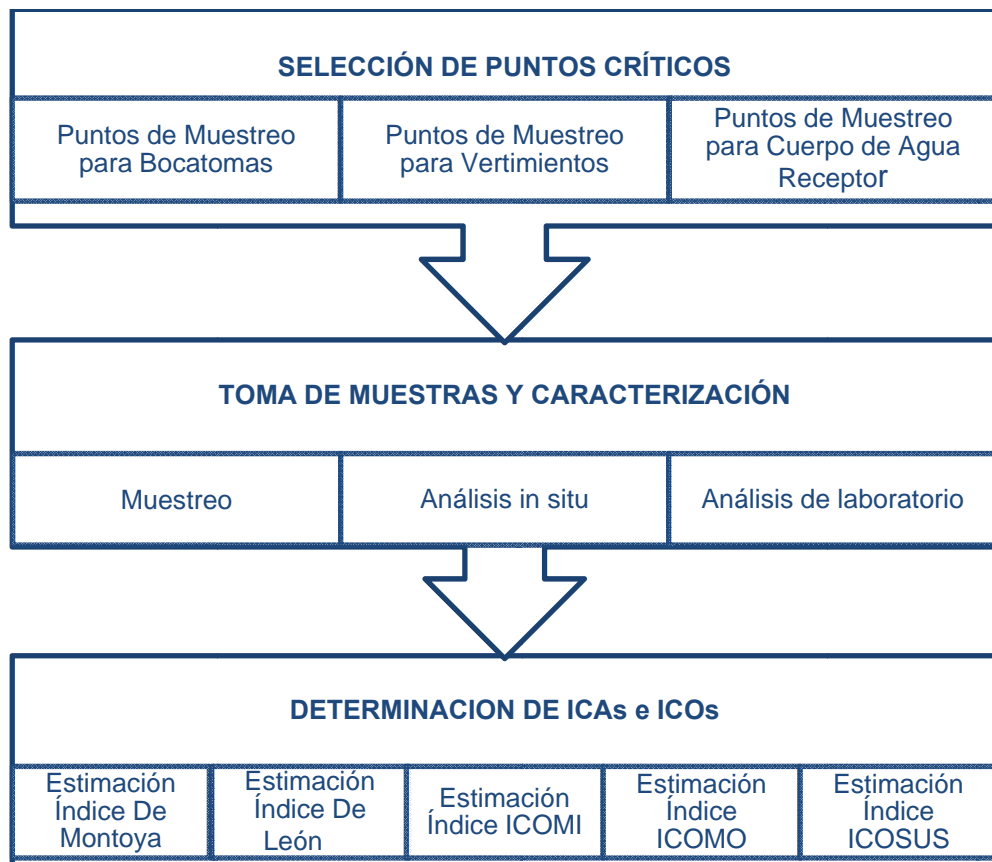
Tabla 2. Estructura de Agregación según ICA e ICO

ICA/ICO	Estructura de agregación	Observaciones
León [León, 1992]	$ICA (león) = \prod_i^n Qi ^{Wi}$	Promedio geométrico ponderado: <i>Wi</i> : Peso del i parámetro <i>Qi</i> : Calidad del i parámetro
Montoya [CONAGUA, 1997]	$ICA (Montoya) = \frac{\sum_{i=1}^n IiWi}{\sum_{i=1}^n Wi}$	Promedio Aritmético ponderado: <i>Wi</i> : Peso del i-parámetro <i>Ii</i> : Índice de Calidad del i parámetro
ICOMI [Ramírez et al.1997]	$ICOMI = \frac{1}{3} (I_{conductividad} + I_{dureza} + I_{alcalinidad})$	<i>I_{conductividad}</i> : Índice de conductividad. <i>I_{dureza}</i> : Índice de dureza <i>I_{alcalinidad}</i> : Índice de alcalinidad
ICOMO [Ramírez et al.1997]	$ICOMO = \frac{1}{3} (I_{DBO} + I_{coliformes} + I_{Oxigeno \%})$	<i>I_{DBO}</i> : Índice de DBO <i>I_{coliformes}</i> : Índice de coliformes totales <i>I_{Oxigeno %}</i> : Índice de oxígeno disuelto
ICOSUS [Ramírez et al.1999]	$ICOSUS = -0,02 + 0,0003 \text{ S.S.}$	S.S: Valor Sólidos Suspendidos (mg/L)

2. METODOLOGÍA

La carga contaminante generada al río Suárez por los efluentes del municipio de Vélez se evaluó mediante la implementación de diferentes ICAs e ICOs. Para tal efecto se realizó una determinación de puntos críticos que especificaron una serie de estaciones de muestreo. Seguido de una caracterización fisicoquímica y biológica de las muestras recopiladas y con cuyos resultados se determinaron los índices de calidad y contaminación. La figura 1 expone un diagrama explicativo de la metodología llevada a cabo.

Figura 1. Metodología



2.1 SELECCIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS

Se seleccionaron siete estaciones de muestreo, de acuerdo al esquema de ordenamiento territorial de Vélez [EOTV, DANE 2005] y a la información suministrada por el acueducto municipal. Los puntos de muestreo fueron: 3 bocatomas, 2 vertimientos y 2 puntos adicionales ubicados 100 m antes y 100 m después de las descargas, cada uno de los cuales fue referenciado geográficamente.

2.1.1 Puntos de Muestreo Bocatomas

El municipio de Vélez capta agua por medio de dos bocatomas principales, el Batán y la Peña y una tercera que provee de agua a la escuela de carabineros del municipio y la zona industrial conocida como los Guayabos [EMPREVEL, 2010]. En todos los puntos el muestreo se realizó en los tanques desarenadores de cada bocatoma.

2.1.2 Puntos de Muestreo para Vertimientos

El punto para el muestreo se seleccionó inmediatamente antes que la descarga ingresara en el cuerpo de agua, para este caso la quebrada Puente Ríos, 2 vertimientos fueron muestreados uno correspondiente al matadero municipal de Vélez y el otro el ducto final de desagüe de todas las aguas negras del casco urbano.

2.1.3 Puntos de Muestreo para Cuerpo de Agua Receptor

Dos puntos de muestreo sobre el cuerpo de agua receptor, quebrada Puente Ríos, fueron seleccionados para el estudio. El primero se ubicó 100 m antes de los vertimientos, lo cual aseguró que las descargas no tuviesen impacto sobre la fuente hídrica aguas arriba. El segundo punto se ubicó 100 m después del segundo vertimiento (matadero municipal), esto garantiza una homogenización de

los contaminantes dentro del cuerpo de agua receptor y evidentemente una correcta determinación de los mismos.

2.1.4 Muestreo y Caracterización Físicoquímica y microbiológica

La toma de muestras y caracterización de aguas, se hicieron bajo los lineamientos consignados en las principales normas internacionales [APHA, 1998] y por los protocolos establecidos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM para el manejo de muestra de vertimientos, aguas superficiales y aguas residuales [IDEAM, 2007].. La muestra del cuerpo de agua (aguas superficiales, efluentes residuales) corresponde a tipo puntual o simple, que evidencia de mejor manera las circunstancias particulares del cuerpo de agua para el momento y sitio de su recolección.

Las pruebas *in situ* se efectuaron utilizando kits e instrumentos básicos de medida entre los que se encuentran los siguientes: a) Kit Test Oxígeno MERCK, b) pH metro, c) Termómetro de bulbo, d) Kit Test Dureza (CaCO₃) MERCK, y e) Kit Test Alcalinidad MERCK. Los análisis físicoquímicos y bacteriológicos (Tabla 3), fueron realizados por el laboratorio de calidad ambiental del IDEAM en Bogotá.

Tabla 3. Variables cuantificadas a las muestras de agua

Variable		Método Analítico
Coliformes fecales (NMP/100mL)		S.M 9230B
Coliformes Totales (NMP/100mL)		S.M 9230B
Sólidos Suspendidos (mg/L)		S.M 2540D
Grasas y Aceites (mg/L)		S.M 5520C
DQO (mg/L)		S.M 5250B
DBO (mg/L)		S.M 5210B
pH (Unidades)		Titulación <i>in situ</i>
Oxígeno Disuelto	(mg/L)	S.M 5210
Alcalinidad (mg/L)		Merck Winkler
Dureza (mg/L)		Merck Winkler
Temperatura (°C)		<i>In situ</i>

2.1.5 Determinación de los Índices de Calidad y Contaminación

Mediante la implementación de una herramienta informática ICATest v1.0 [Fernández, et al. 2004], se realizó la valoración de los índices escogidos; León, Montoya, ICOMI, ICOSUS, ICOMO. Dicha elección dependió del número de variables cuantificadas y de uso común entre los ICAs e ICOs. El ICA Montoya fue estimado aplicando la lista de ecuaciones para subíndices y factores de ponderación (ver anexo 2). La totalidad de las 7 estaciones de muestreo dentro de la jurisdicción del municipio de Vélez fueron catalogadas con los ICAs e ICOs. Como marco de referencia se usó la legislación colombiana [Decreto 1594 de 1.984], que brinda un conjunto de datos (Tabla 4) con los que se calculó cada uno de los índices.

Tabla 4. Normatividad ambiental para vertimientos susceptibles a potabilización (Decreto 1594 de 1.984)

Variable	Valor Máximo Permisible	Variable	Valor Máximo Permisible
Alcalinidad (mg/L)	500	Dureza (mg/L)	250
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	2000	Oxígeno Disuelto (mg/L)	2
Coliformes Totales (NMP/100mL)	20000	pH (Unidades)	9
DBO (mg/L)	30	Saturación OD %	28
DQO (mg/L)	30	S.S (mg/L)	650

2.1.6 Estimación del índice de Calidad de la Comisión Nacional del Agua [Montoya, *et al.* 1997]

La estimación de este índice requiere de la cuantificación de 18 variables, sin embargo, sólo 9 de ellas fueron medidas para las estaciones seleccionadas. El cálculo del subíndice de calidad correspondiente a cada variable se hizo mediante el uso de las ecuaciones reportadas en la bibliografía [Montoya *et al.*1997] (ver anexo 2). Posteriormente se integraron todos los datos en la estructura de agregación mostrada en la (tabla 2), para hallar el valor del ICA por estación además del ICA con los datos de la normatividad (Tabla 4).

2.1.7 Estimación del Índice de Calidad del Agua del Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua (León, 1998)

En el cálculo de este índice, se utilizó el software ICATest v1.0 que automáticamente realizó una redistribución de pesos de las variables pues sólo 10 de las 15 que componen el ICA fueron medidas. En los anexos 3 y 4, se encuentra un reporte de resultados para los subíndices de calidad y factores de ponderación arrojados por el software. El % de Saturación de Oxígeno disuelto fue hallado mediante la ecuación de Henry y sus correspondientes factores de

corrección [Roldan *et al.* 2008]. El procedimiento fue aplicado a las 7 estaciones y a los valores de la (tabla 4).

2.1.8 Determinación de los Índices de Contaminación del Agua

A través del software ICATest v1.0 se valoraron cada uno de los 3 índices de contaminación elegidos (ICOMI, ICOMO, ICOSUS) para cada una de las 7 estaciones de muestreo. En los anexos 5 al 11, se encuentran los reportes generados por el programa de cómputo al realizar el cálculo de los ICOs y las ecuaciones que componen dichos índices. El ICOMI requiere la medición de 3 variables (alcalinidad, dureza, conductividad) pero debido a que la última fue omitida, el software automáticamente modificó la expresión del índice.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En las páginas subsiguientes se exponen un conjunto de tablas, gráficas y análisis correspondientes a: a) estaciones de muestreo, b) valores de la caracterización fisicoquímica y biológica, c) valores de los ICAs e ICOs, d) Límites de calidad según legislación, e) gráficas de variabilidad de ICAs e ICOs, f) gráficas de calidad de las variables según ICA o ICO usado.

3.1 ESTACIONES DE MUESTREO

Las ubicaciones de las 7 estaciones de muestreo elegidas se presentan en la figura 2. Adicionalmente la tabla 6 clasifica las estaciones según el tipo de punto crítico que representan.

Figura 2. Ubicación de las Estaciones de Muestreo

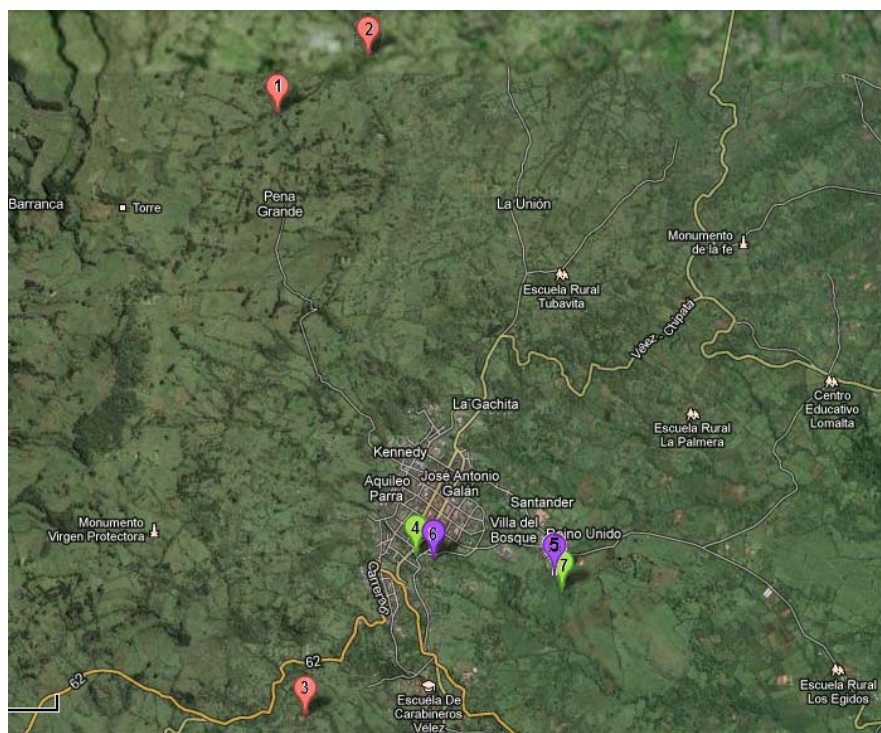


Tabla 5. Clasificación de las Estaciones de Muestreo según Naturaleza del Punto Crítico

Estación de Muestreo	Marca Mapa	Tipo de Punto Crítico	
Estación 1	1	Quebrada El Batán	Bocatoma
Estación 2	2	Quebrada La Peña	
Estación 3	3	Quebrada El Indio	
Estación 5	5	Ducto Principal Desagüe Casco Urbano Vélez	Vertimiento
Estación 6	6	Desagüe Matadero Municipal	
Estación 4	4	Quebrada Puente Ríos 100 m Arriba antes del punto 6	Cuerpo Receptor
Estación 7	7	Quebrada Puente Ríos 100 m Después de la Descarga 5	

3.2 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y BIOLÓGICA

Luego de los ensayos in situ y de laboratorio, se registraron los resultados de las concentraciones de las variables de estudio y que son de uso de los ICAs e ICOs (tabla 6).

Tabla 6. Valores de las Variables Usadas por los ICAs e ICOs

Variable	ESTACIONES DE MUESTREO							
	1	2	3	4	5	6	7	
Alcalinidad (mg/L)	180	150	230	260	320	280	330	
Dureza (mg/L)	182	100,1	117	131	105,0	95	125	
pH (Unidades)	6,0	6,0	6,5	6	7,0	6,5	6,5	
DQO(mg/L)	4,8	10,5	4,8	6,4	1208	1080	715	
DBO(mg/L)	1	8	1	4,1	590	565	322	
Sólidos Suspendidos (mg/L)	1,5	1	55	23	944	782	266	
Oxígeno Disuelto	(mg/L)	7,8	8,3	6,2	5,7	3,5	7,2	3,5
	% Sat	78,72	89,92	65,63	64,47	42,48	81,44	42,48
Coliformes Fecales (NMP/100mL)	2	2	2	2	866	760	125	
Coliformes Totales (NMP/100mL)	2	2	2	55	108000	96500	55400	
Δ Temperatura (°C)	4	1	1	2	2	2	2	
Grasas y Aceites (mg/L)	0,65	0,65	0,65	0,65	16,5	22,4	6,5	

3.3 RESULTADOS DE ICAs e ICOs

Los resultados de la aplicación de los 2 ICAs y de los 3 ICOs de acuerdo con la metodología presentada en la sección anterior se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 7. Valores de ICAs e ICOs por Estación.

Estaciones	ICA (León)	ICA (Montoya)	ICOMI	ICOMO	ICOSUS
Estación 1	61,31	77,19	0,825	0,071	0
Estación 2	59,56	68,88	0,508	0,228	0
Estación 3	81,9	72,73	0,95	0,115	0,145
Estación 4	73	52,19	1	0,245	0,049
Estación 5	12,05	22,54	0,818	0,593	1
Estación 6	22,95	26,14	0,704	0,453	1
Estación 7	22,74	21,21	1	0,525	0,778

3.3.1 Resultados de los límites de calidad según legislación colombiana

Los límites de calidad hallados para los distintos índices y según los valores máximos permisibles de las variables medidas (tabla 4). Se exhiben a continuación en la (Tabla 8).

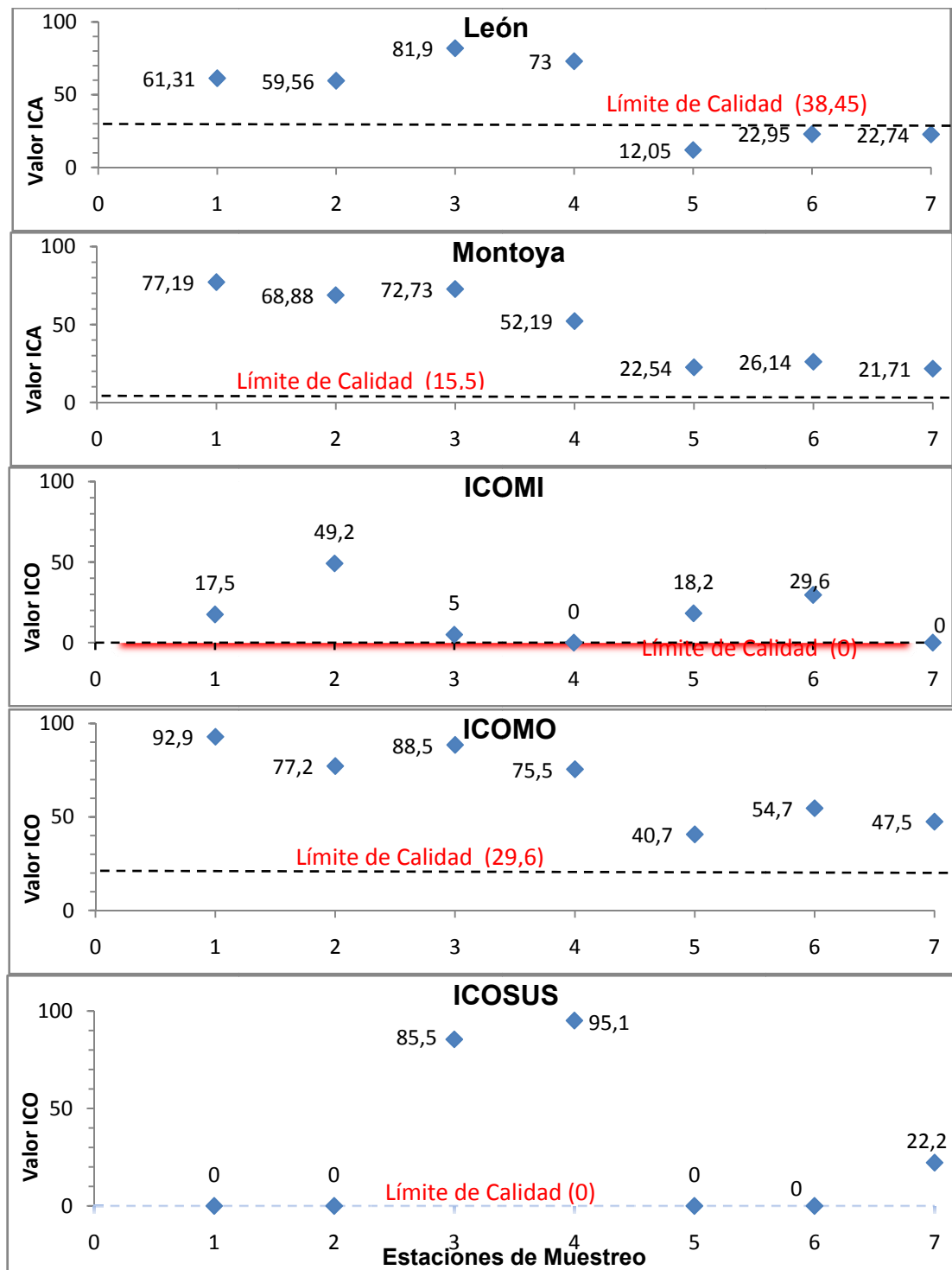
Tabla 8. Límites de Calidad por Índice

Índice	ICA (León)	ICA (Montoya)	ICOMI	ICOMO	ICOSUS
Límite de Calidad	38,45	15,5	1	0,704	1

3.4 GRÁFICA DE VARIABILIDAD DE LOS ICAs e ICOs

Los datos de la tabla 7 permitieron generar las gráficas de variabilidad de cada índice, igualmente los valores de la tabla 8 sirvieron de referencia en su construcción y posterior análisis. Los valores de los ICOs fueron invertidos y re-escalados para efectos de comparación. La figura 3 representa el comportamiento de los índices a través de las estaciones de muestreo y la referencia dada por la legislación.

Figura 3. Comportamiento de cada índice a través de las estaciones de muestreo y Límites Mínimos de calidad por índice.



La figura 3 es un compendio de gráficas de la variabilidad de los índices a través de las estaciones, allí se aprecia que el ICA de León presenta mayores fluctuaciones respecto al ICA Montoya, en cada una de las estaciones. Los ICOs ICOSUS e ICOMI tienen un límite de calidad de cero, debido al enorme valor que la legislación “tolera” para las variables que los componen. Indudablemente el ICOMI es el ICO con mayor sensibilidad pues para el conjunto de datos, mostro mayores oscilaciones.

Las fuentes de abastecimiento (estaciones 1, 2 y 3) claramente se encuentran por encima del límite de calidad estipulado por la legislación en todos los índices. El nivel de carga contaminante generada por el casco urbano de Vélez y el matadero municipal (estaciones 5 y 6) es más notorio con el índice de León que decrece en 50 unidades entre las estaciones 4 y 7. Es importante resaltar que únicamente el ICA de León registra en las estaciones 5 y 6 (vertimientos) valores inferiores al límite de calidad. La significancia de este hecho radica en que al extender el análisis de estas estaciones a los demás índices, estos sencillamente catalogarían dichas descargas como “posibles” fuentes para abastecimiento humano.

3.5 COMPORTAMIENTO DE LA CALIDAD DE LAS VARIABLES

En esta sección se mostrará un conjunto de gráficas de calidad para cada variable estación por estación de muestreo y según el criterio de cada índice. Desde la figura 4 hasta la figura 9 se listan 6 de las variables comunes entre los ICAs e ICOs. Los índices de contaminación fueron invertidos y re-escalados para efectos de comparación.

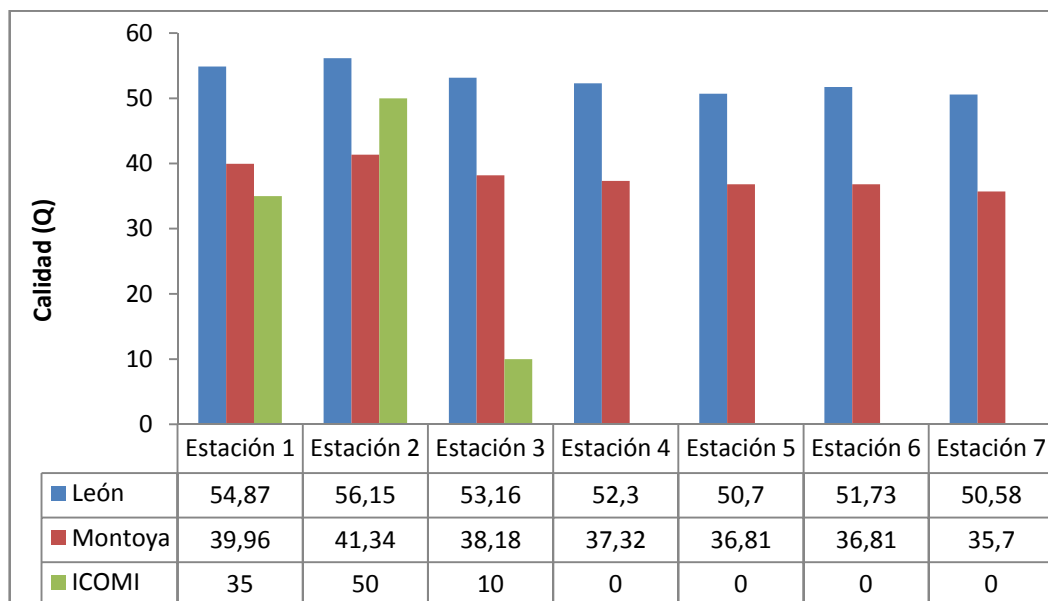
El análisis se hizo bajo 3 criterios fundamentales: a) variación de la calidad entre las estaciones 1, 2 y 3 (bocatomas), b) sensibilidad de cada índice para medir la calidad, c) variación de la calidad entre las estaciones 4 y 7. Este último apartado

es de suma importancia pues con él se evaluará el nivel de carga contaminante generada por los vertimientos (estaciones 5 y 6).

3.5.1 Variabilidad de calidad en la alcalinidad

Los valores de calidad para la alcalinidad según cada índice se muestran en la figura 4

Figura 4. Índices de Calidad de Alcalinidad (A) por Estación

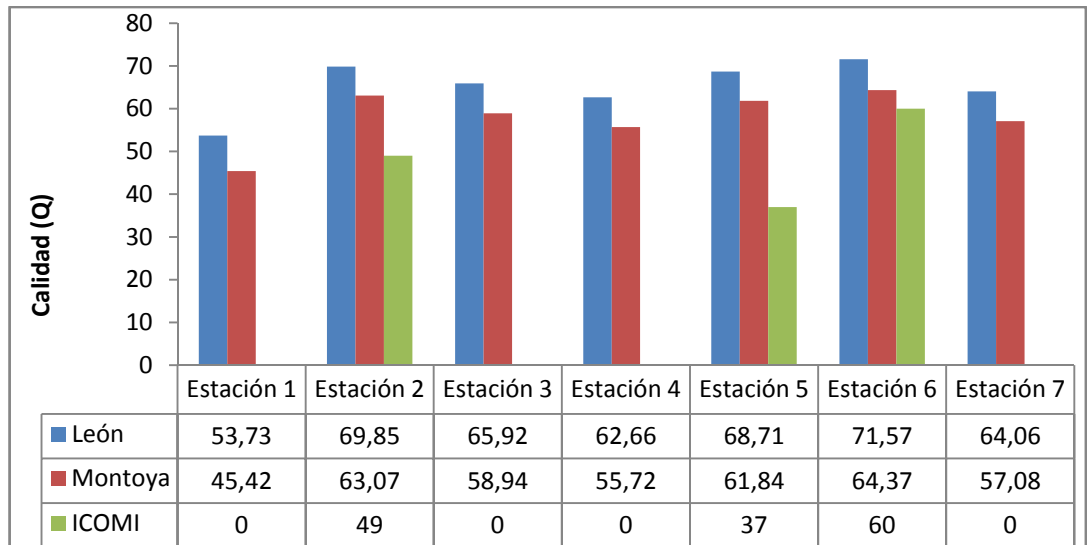


Se puede observar que para los ICAs de León y Montoya la variación de la calidad es relativamente pequeña a través de las 7 estaciones. Sin embargo no ocurre lo mismo con el ICOMI quien tiene una variabilidad significativa entre las bocatomas (estaciones 1, 2 y 3), esto muestra la mayor sensibilidad que tiene el ICO para evaluar la calidad de la alcalinidad en puntos de baja o mediana concentración de la variable. Es imposible cuantificar la carga contaminante de los vertimientos (estaciones 5 y 6) con el ICOMI debido a que no existe variación de la calidad entre las estaciones 4 y 7.

3.5.2 Variabilidad de calidad en la dureza

La calidad de la dureza según los 3 índices (León, Montoya e ICOMI) estación por estación se detallan en la figura 5.

Figura 5. Índices de Calidad de Dureza (D) por Estación

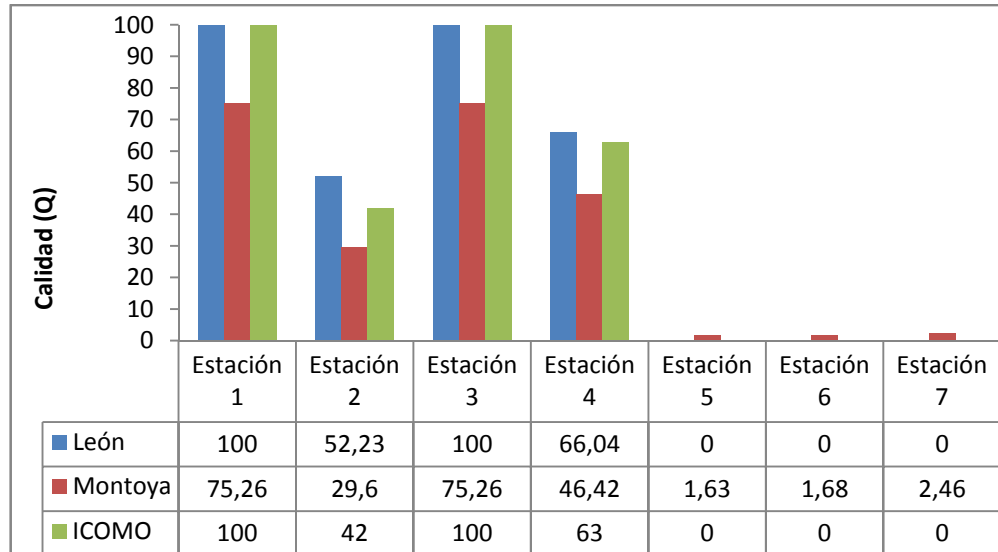


En términos de los ICAs (Montoya y León) las fuentes de abastecimiento (estaciones 1, 2 y 3), presentan mediana contaminación por dureza. En contraposición con el ICOMI que revela altas contaminaciones en las estaciones 1 y 3. Nuevamente tenemos una mejor sensibilidad con el ICO, sin embargo no se puede establecer el delta de calidad que nos permita cuantificar la contaminación entre estaciones para valores muy altos de dureza. Las variaciones de calidad son más significativas con el ICA León y según este índice existe un incremento de cerca de 2 puntos en la calidad entre las estaciones 4 y 7. En común acuerdo los índices denotan que el caudal de agua en las descargas (estaciones 5 y 6) hechas sobre la quebrada Puente Ríos, diluye los carbonatos (dureza) allí presentes por ende existe un aumento en la calidad entre las estaciones 4 y 7.

3.5.3 Variabilidad de calidad de DBO

La figura 6 representa la variación de la calidad de DBO a través de cada estación para los ICAs León y Montoya e índice ICOMO

Figura 6. Índice de Calidad de DBO por Estación

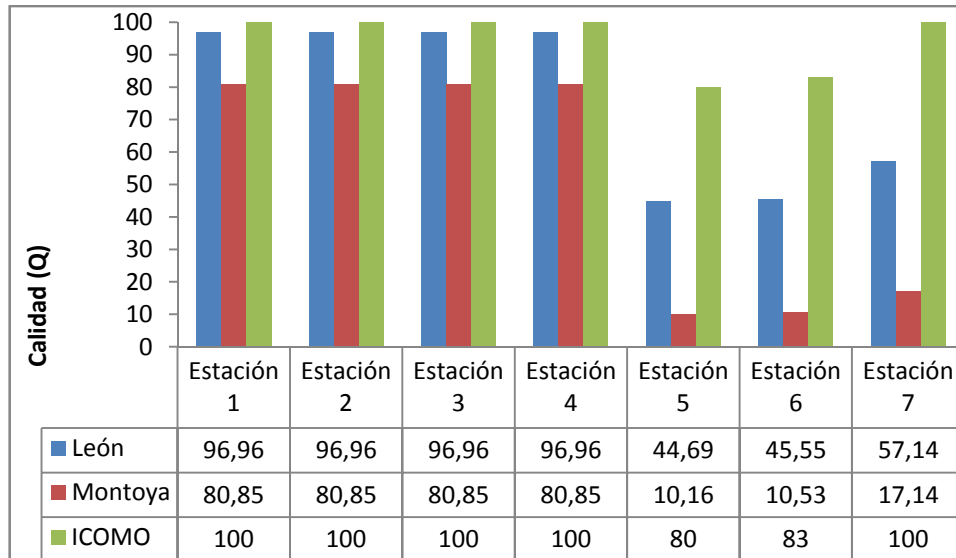


Entre las bocatomas (estaciones 1, 2 y 3) la bocatoma la Peña (No 2) es la menos apta, dado su bajo índice de calidad. El ICOMO presenta las variaciones más altas estación por estación, así se asume su mejor sensibilidad a los cambios medidos de la variable. Igualmente se aprecia la enorme carga contaminante de los vertimientos (estaciones 5 y 6) pues la calidad de la variable disminuye abruptamente entre las estaciones 4 y 7.

3.5.4 Variabilidad de calidad de coliformes fecales

El comportamiento de la calidad de la variable coliformes fecales a través de las estaciones de muestreo se exhibe en la figura 7.

Figura 7. Índice de Calidad de Coliformes Fecales (CF) por Estación

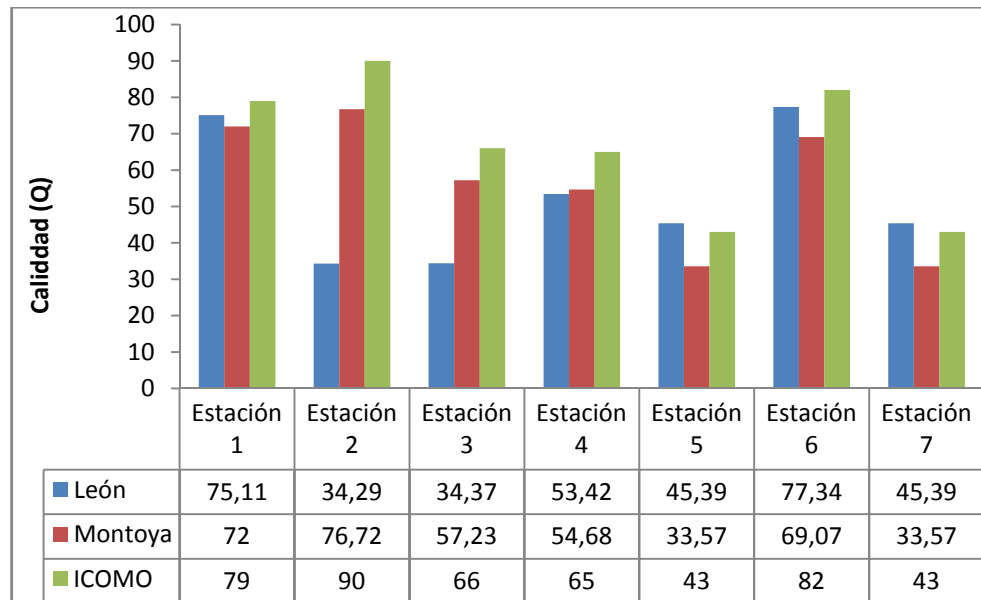


Las estaciones 1, 2 y 3 presentan altos y constantes valores de calidad luego no hay contaminación significativa en las fuentes de abastecimiento del municipio. Sin embargo y como es esperado para vertimientos sin tratamiento (estaciones 5 y 6), la calidad tiene un gran descenso, en especial los apreciables con los ICAs de Montoya y León. Esto unido al hecho de que el delta de calidad entre las estaciones 4 y 7 es significativo, principalmente el que arroja el índice de Montoya evidencia una contaminación considerable.

3.5.5 Variabilidad de calidad del oxígeno disuelto

Como en los anteriores casos, la variabilidad de calidad en la variable se muestra por un gráfico de barras, estación por estación para los índices de León, Montoya e ICOMO. Ver figura 8.

Figura 8. Índice de Calidad de Oxígeno Disuelto (OD) por Estación

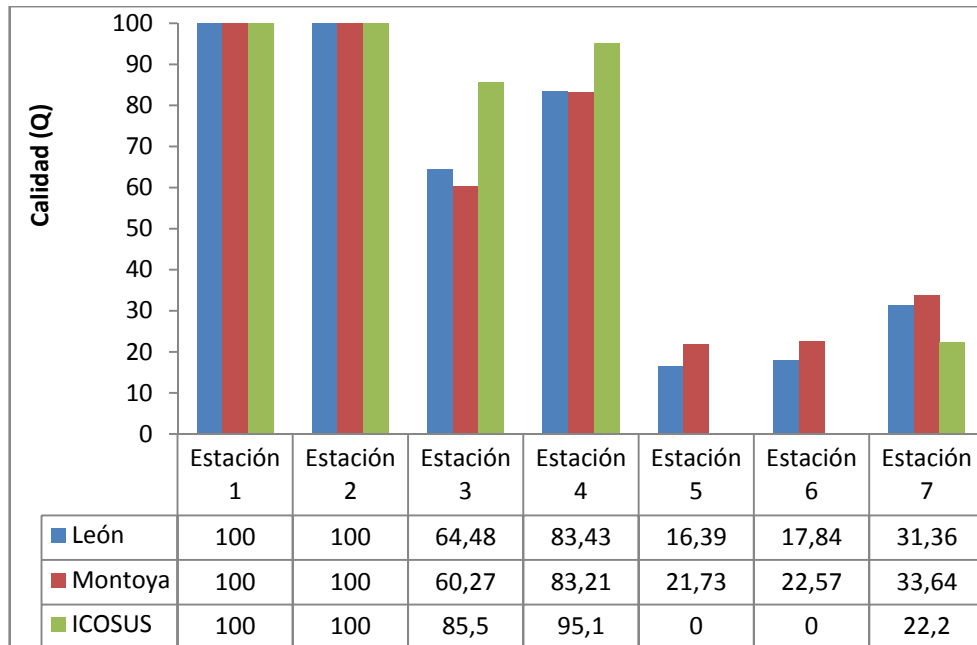


Es poco apreciable la carga contaminante según las mediciones del nivel de oxígeno disuelto, la calidad de esta variable no alcanza valores extremos o nulos con ningún índice. La variabilidad puede atribuirse a caídas de agua que se encontraron en varias de las estaciones más que a contaminantes antropogénicos. El ICA de León debido a las mayores fluctuaciones en la calidad de la variable a través de las estaciones, es el de mejor sensibilidad.

3.5.6 Variabilidad de calidad de los sólidos suspendidos

Finalmente la comparación de los ICAs e ICOs llega a términos del cambio en la calidad de los sólidos suspendidos, estación por estación, y según índices de León, Montoya e ICOSUS. La figura 9 muestra esta situación.

Figura 9. Índice de Calidad de Sólidos Suspendedos (S.S) por Estación



Las estaciones 1 y 2 son de óptima calidad en comparación con la estación 3, que presenta leve contaminación por sólidos según las calidades reportadas por cada índice. El ICA León fue el de mayor variabilidad de calidad entre estaciones, por tal razón se asume es el más sensible. La carga contaminante de sólidos suspendidos registrada en los vertimientos (estaciones 5 y 6) es elevada dado el notorio decrecimiento en la calidad de la variable entre las estaciones 4 y 7.

3.6 GENERALIZACIÓN DE RESULTADOS

Hemos visto que a nivel de límites de calidad (figura 3) el ICA de León diferenció mejor las muestras obtenidas. En cuanto a la mejor sensibilidad: para las variables (OD, CF, S.S) se reportó con el ICA León, para las variables (A, D, DBO) se reportó con sus correspondientes ICOs. No obstante es preciso recordar que en el caso de los vertimientos donde (los valores de las variables son extremos) algunos ICOs como el ICOMI son incapaces de reportar un delta de calidad.

CONCLUSIONES

El uso de los índices ICOMI e ICOSUS en la evaluación de carga contaminante, no se recomienda en situaciones donde el efluente presenta elevados niveles de concentración de las variables alcalinidad, dureza, y sólidos suspendidos, debido a su imposibilidad de cuantificar el nivel de contaminación.

El análisis del diagnóstico comparativo de los ICAs e ICOs, reportó que el mejor índice para evaluar la carga contaminante sobre la cuenca del río Suárez, generada por el municipio de Vélez, fue el ICA de León. Dado que presenta un límite de calidad mayor respecto a los otros índices y cuantifica el cambio de calidad en las variables para un rango más amplio de medidas.

El análisis en estado estacionario del nivel de carga contaminante debida al casco urbano del municipio de Vélez, mediante el uso del índice de León, reveló que la contaminación obedece a la elevada concentración de sustancias de origen orgánico. Esto se atribuye al hecho, que las aguas residuales y desechos del matadero municipal son principalmente de naturaleza biológica y no cuentan con ningún tratamiento que amortigüe su impacto sobre la quebrada Puente Ríos.

BIBLIOGRAFÍA

APHA, 1998: Standard methods for the examination of water and wastewater, 20.^a ed., Washington, D.C. (EE. UU.), American Public Health Association. 366 p.

COLOMBIA. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. Toma de Muestras de Aguas Residuales. Bogotá: El instituto; 2007. 17p.

CORPORACIÓN ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS ANP, Alcaldía Municipal. PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA POMCH DEL RIO SUÁREZ Municipio de Vélez, Vélez: Alcaldía Municipal. 2010.

ESCALANTE, H. 2008. INDICE DE CARGA CONTAMINANTE PARA LOS VERTIMIENTOS GENERADOS DURANTE EL PROCESO DE REFINACIÓN QUÍMICA DE ORO EN LOS TALLERES DE JOYERÍA DE BUCARAMANGA. En: Revista. Univ. De Medellín, Mayo de 2008. pp. 135-146.

EOT, DANE VÉLEZ 2005. ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL MUNICIPIO DE VÉLEZ – SANTANDER. Documento. U.I.S. D. División de Asesorías y Servicios Especializados. Pp. 1-60.

FERNÁNDEZ, N; SOLANO, F; RAMOS, G. 2004 ICATest v1.0. Una herramienta útil en la valoración de la calidad del agua Revista Bistua. Vol. 2 número2. http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/hermesoft/portallG/home18/recursos/01_general/contenidos/14052008/Revista_Bistua_vol2_num2.jsp [23 octubre 2008].

FERNÁNDEZ, N; SOLANO, F; Índices de calidad [ICAs] y de contaminación [ICOs] del agua de importancia mundial. 2005 Colombia Universidad de Pamplona.124p.

<http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/hermesoft/portallG/home18/recursos/01_general/documentos/12062008/icates_capitulo3.pdf> [12 abril 2009].

http://www.usergioarboleda.edu.co/POSTGRADOS/material_recursosnaturales/guiaparatomademuestrasdeaguasIDEAM.pdf

MONTOYA, H, CONTRERAS. C., GARCÍA. V. 1997. Estudio Integral De La Calidad Del Agua En El Estado De Jalisco. Com. Nal. Agua., Geren. Reg. Lerma – Santiago. Guadalajara. 106 p.

LEÓN, L.F., 1992. Índice de Calidad del Agua, Estimación/Aplicación: Cuenca Lerma-Chapala, Mem. VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cocoyoc, Mor., México, pp. 20-26

RAMÍREZ. A., RESTREPO, R., VIÑA, G. 1997. Cuatro Índices de Contaminación para Caracterización de Aguas Continentales. Formulaciones y Aplicaciones. Instituto Colombiano del Petróleo. A.A. 4185 Bucaramanga Santander, pp. 131-151.

ROLDÁN, G. 2008. Fundamentos de limnología tropical. En: Medellín Antioquia: Universidad de Antioquia. Pp. 182-186

SAMBONI, Natalia. CARVAJAL, Y. ESCOBAR, C. 2007. REVISIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS COMO INDICADORES DE CALIDAD Y CONTAMINACIÓN DEL AGUA. En: Revista ING. e INV. Universidad Nacional de Colombia Vol. 27, Núm. 003, pp. 172-181.

TORRES, P. CRUZ, C. PATIÑO, P. 2009. ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. UNA REVISIÓN CRÍTICA. En: Revista. ING. Universidad De Medellín, Vol. 8, Núm. 15, pp. 79-74.

TORRES, P. CRUZ, C. PATIÑO, P. ESCOBAR, J. PÉREZ, A. 2010. APLICACIÓN DE ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA [ICAs] ORIENTADOS AL USO DE LA FUENTE PARA CONSUMO HUMANO. En: Revista ING. e INV. Universidad d Medellín Vol. 30, Núm. 3, pp. 13-20.

ANEXOS

Anexo A. Gráfica de Calidad y Ecuación Característica para el Subíndice de Calidad según ICOMI e ICA Montoya

Gráfica de calidad y respectiva ecuación para la alcalinidad según [Ramírez *et al.* 1997]

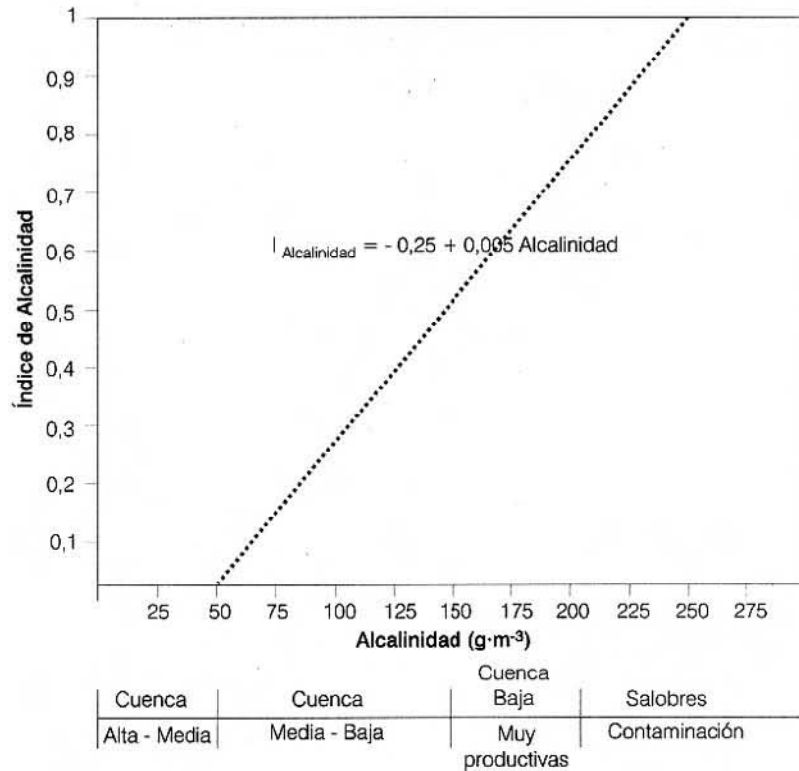


Figura 4. Índice de contaminación para la Alcalinidad

Índice de calidad alcalinidad según [Montoya *et al.* 1997]

$$\text{Alcalinidad (AL)} = I_{AL} = 105(\text{AL})^{-0.186}$$

Anexo B. Funciones de los Subíndices y factores de Ponderación según Montoya et al. (1997)

PARÁMETRO	FÓRMULA	UNIDADES	PONDERACIÓN	
Oxígeno Disuelto	$I_{OD} = \frac{100(OD)}{14.492 - 0.33T + 0.06T^2}$	mg/L T=°C monitoreada	5.0	
	$I_{OD} = \frac{OD}{OD_{SAT}} * 100$ $OD_{SAT} = [14.492 - 0.33 + 0.06T^2](P_B/760)$	mg/L T=°C Pb: Presión atm del lugar	5.0	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	$I_{DBO} = 120(DBO)^{-0.673}$	mg/L	5.0	
Coliformes Totales (CT)	$I_{CT} = 97.5(CT)^{-0.27}$	NMP/100ml	3.0	
Coliformes Fecales (CF)	$I_{CT} = 97.5(CT)^{-0.27}$	NMP/100ml	4.0	
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	$I_{CT} = 97.5(CT)^{-0.37}$	mg/L	1.0	
Alcalinidad (AL)	$I_{AL} = 105(AL)^{-0.186}$	mg/L	0.5	
Dureza Total (DT)	$I_{DT} = 10^{1.974 - 0.00174(DT)}$	mg/L	1.0	
pH	pH<6.7	$I_{pH} = 10^{0.2335(pH)(0.44)}$	pH	1.0
	6.7<pH<7.3	$I_{pH} = 100$		1.0
	pH>7.3	$I_{pH} = 10^{4.22 - 0.295(pH)}$		1.0
Grasas y Aceites (GYA)	$I_{GYA} = 87.25(GYA)^{-0.298}$	mg/L	2.0	

Anexo C. ICATest v 1.0 Reportes Estaciones 1-4 para el índice de León

ICATest v1.0 - Reporte León (1998)



Fecha: 13/07/2012
 Hora: 14:59:36
 Lugar: Instalaciones CTAS Estación de Muestreo 1
 Analista: Oskar Riaño

Valor del índice: 61,31
 Número de parámetros: 10
 Clasificación:
 Rango:
 Color: Amarillo

Comentario:

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Total
Oxígeno disuelto	78,72	75,1104	0,13	1,753
DBO	1	100	0,123	1,762
DQO	4,8	98,184	0,08	1,44
pH	6	62,22	0,09	1,45
Sólidos suspendidos	1,5	F.R.	0,06	—
Coliformes fecales	2	96,96	0,11	1,654
Coliformes totales	2	100	0,17	2,188
Nitratos	—	—	0,053	—
Amonios	—	—	0,043	—
Fosfatos	—	—	0,073	—
Fenoles	—	—	0,033	—
Dif. Temperatura	4	70,99	0,07	1,348
Alcalinidad (CaCO3)	180	54,872	0,082	1,389
Dureza (CaCO3)	182	53,738	0,085	1,403
Cloruros	—	—	0,068	—

ICATest v1.0 - Reporte León (1998)



Fecha: 13/07/2012
 Hora: 15:10:26
 Lugar: Instalaciones CTAS Estación de Muestreo 2
 Analista: Oskar Riaño

Valor del índice: 59,56
 Número de parámetros: 10
 Clasificación:
 Rango:
 Color: Amarillo

Comentario:

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Total
Oxígeno disuelto	89,92	84,2944	0,13	1,78
DBO	8	52,23	0,123	1,627
DQO	10,5	84,592	0,08	1,43
pH	6	62,22	0,09	1,45
Sólidos suspendidos	1	F.R.	0,06	—
Coliformes fecales	2	96,96	0,11	1,654
Coliformes totales	2	100	0,17	2,188
Nitratos	—	—	0,053	—
Amonios	—	—	0,043	—
Fosfatos	—	—	0,073	—
Fenoles	—	—	0,033	—
Dif. Temperatura	1	92,43	0,07	1,373
Alcalinidad (CaCO3)	150	56,15	0,082	1,391
Dureza (CaCO3)	100,1	69,857	0,085	1,435
Cloruros	—	—	0,068	—

ICATest v1.0 - Reporte León (1998)



Fecha: 13/07/2012
 Hora: 15:25:30
 Lugar: Instalaciones CTAS Estación de Muestreo 3
 Analista: Oskar Riaño

Valor del índice: 81,9
 Número de parámetros: 10
 Clasificación:
 Rango:
 Color: Verde

Comentario:

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Total
Oxígeno disuelto	65,63	64,3766	0,13	1,718
DBO	1	100	0,123	1,762
DQO	4,8	98,184	0,08	1,44
pH	6,5	83,209	0,09	1,489
Sólidos suspendidos	55	64,485	0,06	1,284
Coliformes fecales	2	96,96	0,11	1,654
Coliformes totales	2	100	0,17	2,188
Nitratos	—	—	0,053	—
Amonios	—	—	0,043	—
Fosfatos	—	—	0,073	—
Fenoles	—	—	0,033	—
Dif. Temperatura	1	92,43	0,07	1,373
Alcalinidad (CaCO3)	230	53,162	0,082	1,385
Dureza (CaCO3)	117	65,926	0,085	1,428
Cloruros	—	—	0,068	—

ICATest v1.0 - Reporte León (1998)



Fecha: 13/07/2012
 Hora: 15:45:18
 Lugar: Instalaciones CTAS Estación de Muestreo 4
 Analista: Oskar Riaño

Valor del índice: 73
 Número de parámetros: 10
 Clasificación:
 Rango:
 Color: Verde

Comentario:

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Total
Oxígeno disuelto	64,47	63,4254	0,13	1,715
DBO	4,1	66,041	0,123	1,674
DQO	6,4	93,968	0,08	1,44
pH	6	62,22	0,09	1,45
Sólidos suspendidos	23	81,432	0,06	1,302
Coliformes fecales	2	96,96	0,11	1,654
Coliformes totales	55	80,47	0,17	2,108
Nitratos	—	—	0,053	—
Amonios	—	—	0,043	—
Fosfatos	—	—	0,073	—
Fenoles	—	—	0,033	—
Dif. Temperatura	2	84,64	0,07	1,364
Alcalinidad (CaCO3)	260	52,304	0,082	1,383
Dureza (CaCO3)	131	62,669	0,085	1,422
Cloruros	—	—	0,068	—

Anexo D. ICATest v 1.0 Reportes Estaciones 5-7 y Límite de Calidad para el índice de León

ICATest v1.0 - Reporte León (1998)



Fecha: 13/07/2012
 Hora: 16:00:30
 Lugar: Instalaciones CTAS Estación de Muestreo 5
 Analista: Oskar Riaño

Valor del índice: 12,05
 Número de parámetros: 10
 Clasificación:
 Rango:
 Color: Rojo

Comentario:

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Total
Oxígeno disuelto	42,48	45,3936	0,13	1,642
DBO	590	F.R.	0,123	—
DQO	1208	F.R.	0,08	—
pH	7	100	0,09	1,514
Sólidos suspendidos	944	16,397	0,06	1,183
Coliformes fecales	866	44,691	0,11	1,519
Coliformes totales	108000	F.R.	0,17	—
Nitratos	—	—	0,053	—
Amonios	—	—	0,043	—
Fosfatos	—	—	0,073	—
Fenoles	—	—	0,033	—
Dif. Temperatura	2	84,64	0,07	1,364
Alcalinidad (CaCO3)	320	50,774	0,082	1,38
Dureza (CaCO3)	105	68,717	0,085	1,433
Cloruros	—	—	0,068	—

ICATest v1.0 - Reporte León (1998)



Fecha: 13/07/2012
 Hora: 16:15:46
 Lugar: Instalaciones CTAS Estación de Muestreo 6
 Analista: Oskar Riaño

Valor del índice: 22,95
 Número de parámetros: 10
 Clasificación:
 Rango:
 Color: Rojo

Comentario:

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Total
Oxígeno disuelto	81,44	77,3408	0,13	1,76
DBO	565	F.R.	0,123	—
DQO	1080	F.R.	0,08	—
pH	6,5	83,209	0,09	1,489
Sólidos suspendidos	782	17,846	0,06	1,189
Coliformes fecales	760	45,554	0,11	1,522
Coliformes totales	96500	30,26	0,17	1,785
Nitratos	—	—	0,053	—
Amonios	—	—	0,043	—
Fosfatos	—	—	0,073	—
Fenoles	—	—	0,033	—
Dif. Temperatura	2	84,64	0,07	1,364
Alcalinidad (CaCO3)	280	51,732	0,082	1,382
Dureza (CaCO3)	95	71,57	0,085	1,438
Cloruros	—	—	0,068	—

ICATest v1.0 - Reporte León (1998)



Fecha: 13/07/2012
 Hora: 16:35:55
 Lugar: Instalaciones CTAS Estación de Muestreo 7
 Analista: Oskar Riaño

Valor del índice: 22,74
 Número de parámetros: 10
 Clasificación:
 Rango:
 Color: Rojo

Comentario:

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Total
Oxígeno disuelto	42,48	45,3936	0,13	1,642
DBO	322	F.R.	0,123	—
DQO	715	F.R.	0,08	—
pH	6,5	83,209	0,09	1,489
Sólidos suspendidos	266	31,366	0,06	1,23
Coliformes fecales	125	57,14	0,11	1,56
Coliformes totales	55400	32,611	0,17	1,808
Nitratos	—	—	0,053	—
Amonios	—	—	0,043	—
Fosfatos	—	—	0,073	—
Fenoles	—	—	0,033	—
Dif. Temperatura	2	84,64	0,07	1,364
Alcalinidad (CaCO3)	330	50,581	0,082	1,38
Dureza (CaCO3)	125	64,065	0,085	1,424
Cloruros	—	—	0,068	—

ICATest v1.0 - Reporte León (1998)



Fecha: 13/07/2012
 Hora: :33:02
 Lugar: Instalaciones CTAS Límite Mínimo de Calidad Según Legislacion
 Analista: Oskar Riaño

Valor del índice: 38,45
 Número de parámetros: 10
 Clasificación:
 Rango:
 Color: Naranja

Comentario:

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Total
Oxígeno disuelto	28	33,52	0,13	1,579
DBO	30	32,91	0,123	1,537
DQO	30	56,87	0,08	1,38
pH	9	45,25	0,09	1,409
Sólidos suspendidos	650	19,41	0,06	1,195
Coliformes fecales	2000	39,88	0,11	1,5
Coliformes totales	20000	37,13	0,17	1,849
Nitratos	—	—	0,053	—
Amonios	—	—	0,043	—
Fosfatos	—	—	0,073	—
Fenoles	—	—	0,033	—
Dif. Temperatura	11	38,35	0,07	1,291
Alcalinidad (CaCO3)	500	47,77	0,082	1,373
Dureza (CaCO3)	250	46,94	0,085	1,387
Cloruros	—	—	0,068	—

Anexo E. ICATest v 1.0 Reportes Estaciones 1-4 para el ICOMI

ICATest v1.0 - Reporte ICOMI



Fecha: 13/07/2012
 Hora: 13:52:05
 Lugar: Instalaciones CTAS Estación 1
 Analista: Joan Manrique

Valor del índice: 0,825
 Número de parámetros: 2
 Grado de contaminación: Muy Alto
 Rango: 0,8 - 1
 Color: Rojo

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
Conductividad		
Dureza	182	$\bar{1}$
Alcalinidad	180	0,65

ICATest v1.0 - Reporte ICOMI



Fecha: 13/07/2012
 Hora: 14:20:05
 Lugar: Instalaciones CTAS Estación 2
 Analista: Joan Manrique

Valor del índice: 0,508
 Número de parámetros: 2
 Grado de contaminación: Medio
 Rango: 0,4 - 0,6
 Color: Amarillo

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
Conductividad		
Dureza	100,1	$\bar{0,515}$
Alcalinidad	150	0,5

ICATest v1.0 - Reporte ICOMI



Fecha: 13/07/2012
 Hora: 14:40:25
 Lugar: Instalaciones CTAS Estación 3
 Analista: Joan Manrique

Valor del índice: 0,95
 Número de parámetros: 2
 Grado de contaminación: Muy Alto
 Rango: 0,8 - 1
 Color: Rojo

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
Conductividad		
Dureza	117	$\bar{1}$
Alcalinidad	230	0,9

ICATest v1.0 - Reporte ICOMI



Fecha: 13/07/2012
 Hora: 15:30:40
 Lugar: Instalaciones CTAS Estación 4
 Analista: Joan Manrique

Valor del índice: 1
 Número de parámetros: 2
 Grado de contaminación: Muy Alto
 Rango: 0,8 - 1
 Color: Rojo

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
Conductividad		
Dureza	131	$\bar{1}$
Alcalinidad	260	1

Anexo F. ICATest v 1.0 Reportes Estaciones 5-7 y Límite de Calidad para el ICOMI

ICATest v1.0 - Reporte ICOMI



Fecha: 13/07/2012
Hora: 16:00:35
Lugar: Instalaciones CTAS Estación 5
Analista: Joan Manrique

Valor del índice: 0,818
Número de parámetros: 2
Grado de contaminación: Muy Alto
Rango: 0,8 - 1
Color: Rojo

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
Conductividad		$\bar{0,636}$
Dureza	105	
Alcalinidad	320	1

ICATest v1.0 - Reporte ICOMI



Fecha: 13/07/2012
Hora: 16:40:50
Lugar: Instalaciones CTAS Estación 6
Analista: Joan Manrique

Valor del índice: 0,704
Número de parámetros: 2
Grado de contaminación: Alto
Rango: 0,6 - 0,8
Color: Naranja

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
Conductividad		$\bar{0,409}$
Dureza	95	
Alcalinidad	280	1

ICATest v1.0 - Reporte ICOMI



Fecha: 13/07/2012
Hora: 17:10:20
Lugar: Instalaciones CTAS Estación de muestreo 7
Analista: Joan Manrique

Valor del índice: 1
Número de parámetros: 2
Grado de contaminación: Muy Alto
Rango: 0,8 - 1
Color: Rojo

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
Conductividad		$\bar{1}$
Dureza	125	
Alcalinidad	330	1

ICATest v1.0 - Reporte ICOMI



Fecha: 13/07/2012
Hora: 18:10:20
Lugar: Instalaciones CTAS Límite Mínimo de Calidad Según Legislación
Analista: Joan Manrique

Valor del índice: 1
Número de parámetros: 2
Grado de contaminación: Muy Alto
Rango: 0,8 - 1
Color: Rojo

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
Conductividad		$\bar{1}$
Dureza	250	
Alcalinidad	500	1

Anexo G. ICATest v 1.0 Reportes Estaciones 1-4 para el ICOMO

ICATest v1.0 - Reporte ICOMO



Fecha: 14/07/2012
 Hora: 08:24:36
 Lugar: Instalaciones CTAS Estación de Muestreo 1
 Analista: Oskar Riaño

Valor del índice: 0,071
 Número de parámetros: 3
 Grado de contaminación: Ninguno
 Rango: 0 - 0,2
 Color: Azul

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
DBO	1	0
Coliformes fecales	2	0
Oxígeno disuelto	78,72	0,213

ICATest v1.0 - Reporte ICOMO



Fecha: 14/07/2012
 Hora: 08:35:26
 Lugar: Instalaciones CTAS Estación de Muestreo 2
 Analista: Oskar Riaño

Valor del índice: 0,228
 Número de parámetros: 3
 Grado de contaminación: Bajo
 Rango: 0,2 - 0,4
 Color: Verde

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
DBO	8	0,582
Coliformes fecales	2	0
Oxígeno disuelto	89,92	0,101

ICATest v1.0 - Reporte ICOMO



Fecha: 14/07/2012
 Hora: 09:00:15
 Lugar: Instalaciones CTAS Estación de Muestreo 3
 Analista: Oskar Riaño

Valor del índice: 0,115
 Número de parámetros: 3
 Grado de contaminación: Ninguno
 Rango: 0 - 0,2
 Color: Azul

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
DBO	1	0
Coliformes fecales	2	0
Oxígeno disuelto	65,53	0,345

ICATest v1.0 - Reporte ICOMO



Fecha: 14/07/2012
 Hora: 09:25:35
 Lugar: Instalaciones CTAS Estación de Muestreo 4
 Analista: Oskar Riaño

Valor del índice: 0,245
 Número de parámetros: 3
 Grado de contaminación: Bajo
 Rango: 0,2 - 0,4
 Color: Verde

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
DBO	4,1	0,379
Coliformes fecales	2	0
Oxígeno disuelto	64,47	0,355

Anexo H ICATest v 1.0 Reportes Estaciones 5-7 y Límite de Calidad para el ICOMO

ICATest v1.0 - Reporte ICOMO



Fecha: 14/07/2012
Hora: 09:50:55
Lugar: Instalaciones CTAS Estación de Muestreo 5
Analista: Oskar Riaño

Valor del índice: 0,593
Número de parámetros: 3
Grado de contaminación: Medio
Rango: 0,4 - 0,6
Color: Amarillo

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
DBO	590	1
Coliformes fecales	866	0,205
Oxígeno disuelto	42,48	0,575

ICATest v1.0 - Reporte ICOMO



Fecha: 14/07/2012
Hora: 10:15:05
Lugar: Instalaciones CTAS Estación de Muestreo 6
Analista: Oskar Riaño

Valor del índice: 0,453
Número de parámetros: 3
Grado de contaminación: Medio
Rango: 0,4 - 0,6
Color: Amarillo

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
DBO	565	1
Coliformes fecales	760	0,173
Oxígeno disuelto	81,44	0,186

ICATest v1.0 - Reporte ICOMO



Fecha: 14/07/2012
Hora: 11:00:38
Lugar: Instalaciones CTAS Estación de Muestreo 7
Analista: Oskar Riaño

Valor del índice: 0,525
Número de parámetros: 3
Grado de contaminación: Medio
Rango: 0,4 - 0,6
Color: Amarillo

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
DBO	322	1
Coliformes fecales	125	0
Oxígeno disuelto	42,48	0,575

ICATest v1.0 - Reporte ICOMO



Fecha: 14/07/2012
Hora: 11:23:53 a.m.
Lugar: Instalaciones CTAS Límite Mínimo de Calidad Según Legislación
Analista: Joan Manuel Manrique

Valor del índice: 0,704
Número de parámetros: 3
Grado de contaminación: Alto
Rango: 0,6 - 0,8
Color: Naranja

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
DBO	30	0,984
Coliformes fecales	2000	0,409
Oxígeno disuelto	28	0,72

Anexo I.. ICATest v 1.0 Reportes Estaciones 1-4 para el ICOSUS

ICATest v1.0 - Reporte ICOSUS



Fecha: 18/07/2012
Hora: 09:45:55
Lugar: Instalaciones CTAS Estación de muestreo 1
Analista: Joan Manrique

Valor del índice: 0
Número de parámetros: 1
Grado de contaminación: Ninguno
Rango: 0 - 0,2
Color: Azul

Detalles:

Parámetro	Resultado
Sólidos totales	1,5

ICATest v1.0 - Reporte ICOSUS



Fecha: 18/07/2012
Hora: 10:35:15
Lugar: Instalaciones CTAS Estación de muestreo 2
Analista: Joan Manrique

Valor del índice: 0
Número de parámetros: 1
Grado de contaminación: Ninguno
Rango: 0 - 0,2
Color: Azul

Detalles:

Parámetro	Resultado
Sólidos totales	1

ICATest v1.0 - Reporte ICOSUS



Fecha: 18/07/2012
Hora: 10:55:28
Lugar: Instalaciones CTAS Estación de muestreo 3
Analista: Joan Manrique

Valor del índice: 0,145
Número de parámetros: 1
Grado de contaminación: Ninguno
Rango: 0 - 0,2
Color: Azul

Detalles:

Parámetro	Resultado
Sólidos totales	55

ICATest v1.0 - Reporte ICOSUS



Fecha: 18/07/2012
Hora: 11:20:48
Lugar: Instalaciones CTAS Estación de muestreo 4
Analista: Joan Manrique

Valor del índice: 0,049
Número de parámetros: 1
Grado de contaminación: Ninguno
Rango: 0 - 0,2
Color: Azul

Detalles:

Parámetro	Resultado
Sólidos totales	23

Anexo J. ICATest v 1.0 Reportes Estaciones 5-7 y Límite de Calidad para el ICOSUS

ICATest v1.0 - Reporte ICOSUS



Fecha: 18/07/2012
Hora: 11:30:53
Lugar: Instalaciones CTAS Estación de muestreo 5
Analista: Joan Manrique

Valor del índice: 1
Número de parámetros: 1
Grado de contaminación: Rojo
Rango: 0,8 - 1
Color: Azul

Detalles:

Parámetro	Resultado
Sólidos totales	944

ICATest v1.0 - Reporte ICOSUS



Fecha: 18/07/2012
Hora: 11:55:13
Lugar: Instalaciones CTAS Estación de muestreo 6
Analista: Joan Manrique

Valor del índice: 1
Número de parámetros: 1
Grado de contaminación: Rojo
Rango: 0,8 - 1
Color: Azul

Detalles:

Parámetro	Resultado
Sólidos totales	782

ICATest v1.0 - Reporte ICOSUS



Fecha: 18/07/2012
Hora: 12:05:41
Lugar: Instalaciones CTAS Estación de muestreo 7
Analista: Joan Manrique

Valor del índice: 0,778
Número de parámetros: 1
Grado de contaminación: Alto
Rango: 0,6 - 0,8
Color: Naranja

Detalles:

Parámetro	Resultado
Sólidos totales	266

ICATest v1.0 - Reporte ICOSUS



Fecha: 18/07/2012
Hora: 12:20:51
Lugar: Instalaciones CTAS Límite Mínimo de Calidad según Legislación
Analista: Joan Manrique

Valor del índice: 1
Número de parámetros: 1
Grado de contaminación: Rojo
Rango: 0,8 - 1
Color: Azul

Detalles:

Parámetro	Resultado
Sólidos totales	650

Anexo K. Funciones de los subíndices de calidad para los ICOs
[Ramírez *et al.* 1997]

Índice De Contaminación Por Mineralización – ICOMI:

Integra Conductividad, Dureza y Alcalinidad.

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

Donde:

$$I_{\text{Conductividad}} = \log 10 \cdot I_{\text{Conductivada}} = 3.26 + 1.34 \log 10 \cdot \text{conductividad} \left(\frac{\mu\text{S}}{\text{cm}} \right)$$

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

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

$$I_{\text{Dureza}} = \log 10 \cdot I_{\text{Dureza}} = -9,09 + 4,40 \log 10 \cdot \text{Dureza} \left(\frac{\text{mg}}{\text{Lt}} \right)$$

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

Durezas mayores a 110 mg/lit tienen un índice = 1

Durezas menores a 30 mg/lit tienen un índice = 0

$$I_{\text{Alcalinidad}} = -0,25 + 0,005 \log 10 \cdot \text{Alcalinidad} \left(\frac{\text{mg}}{\text{Lt}} \right)$$

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

Alcalinidades menores a 50 mg/lit índice de 0

Índice De Contaminación Por Materia Orgánica – ICOMO:

Conformado por demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Coliformes Totales y Porcentaje de Saturación de Oxígeno.

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

Dónde:

$$I_{\text{DBO}} = -0,05 + 0,70 \text{Log}_{10} \cdot \text{DBO} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)$$

DBO > 30 (mg/l) = 1

DBO < 2 (mg/l) = 0

$$I_{\text{Coliformes Totales}} = -1.44 + 0,56 \text{Log}_{10} \cdot \text{Col.Tot. (NMP / 100 ml)}$$

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

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

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

Oxígenos (%) mayores a 100% tienen un índice de oxígeno de 0

Para sistemas lenticos con eutrofización y porcentajes de saturación mayores al 100%, se sugiere reemplazar la expresión por:

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

Índice De Contaminación Por Sólidos Suspendidos – ICOSUS:

$$\text{ICOSUS} = - 0.02 + 0.003 \text{ Sólidos Suspendidos (mg / L)}$$

Sólidos Suspendidos > a 340 mg/l tienen un ICOSUS = 1

Sólidos Suspendidos < a 10 mg/l tienen un ICOSUS = 0