

**CREACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA
EL ANÁLISIS Y LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS FUENTES
HÍDRICAS ABASTECEDORAS DE LOS MUNICIPIOS DE BARBOSA, JESÚS
MARÍA, SUCRE Y ALBANIA**

ANA GEHOVEL JIMÉNEZ TIBADUIZA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2011.

**CREACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA
EL ANÁLISIS Y LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS FUENTES
HÍDRICAS ABASTECEDORAS DE LOS MUNICIPIOS DE BARBOSA, JESÚS
MARÍA, SUCRE Y ALBANIA**

ANA GEHOVEL JIMÉNEZ TIBADUIZA

Trabajo de Grado presentando como requisito para optar al título de
Ingeniero Químico.

Director:

Profesor. Luis Javier López Giraldo.
Universidad Industrial de Santander.

Codirector:

Químico Especialista. Salomón Gualdrón Rueda.
Corporación de Tecnologías Ambientales Sostenibles, CTAS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2011.

DEDICATORIA

*Por darme la Fortaleza, sabiduría, paciencia y destreza para realizar cada sueño propuesto, a **Dios**.*

*Por toda su dedicación, esfuerzo y amor puesto en apoyarme, comprenderme y motivarme en seguir siempre adelante, a mi mamá **Elsa Aurora Tibaduiza**.*

*Porque desde el cielo siempre ha estado guiándome, brindándome su apoyo, fortaleza y amor, a mi padre **José del Carmen Jiménez**.*

*Porque siempre han estado conmigo, siempre juntos a pesar de las diferencias, por su comprensión, respeto, confidencialidad y por verme siempre como un ejemplo de vida, a mis hermanos **Diana, Andrés y Cris**.*

*Por ser un motivo para seguir adelante guiándolos y sirviéndoles como ejemplo, por su alegría e inocencia, a mis sobrinos **Michelle, Steven y Juan José**.*

*Por todos los buenos, gratos y locos momentos vividos y por los que faltan por vivir, por todos nuestros sueños y metas compartidas, por saber más que nadie de mí, aceptarme y estar ahí siempre, a **Fer, Yeni, Pao y Astridlis**.*

*Por haber compartido conmigo esta última etapa, brindándome su compañía, momentos de risas, alegrías y por su colaboración con este libro a **Osquítar y Cata**.*

*Por estar siempre ahí brindándome su apoyo, tranquilidad, y experiencia para terminar con esta etapa, por hacerme siempre sonreír y creer en mí, a **Ti***

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al señor Juan Agustín Gualdrón Rueda, Director Ejecutivo de la Corporación de Tecnologías Ambientales Sostenibles, CTAS, por la oportunidad de desarrollar esta práctica empresarial en la corporación, la cual ha enriquecido enormemente mi carrera profesional.

A la Corporación Áreas Naturales Protegidas, ANP, y a la Corporación Autónoma Regional de Santander, CAS, por hacer parte en la organización de este proyecto.

Al profesor Luis Javier López Giraldo, Director de proyecto, por sus consejos y apoyo, que permitieron el desarrollo de este proyecto.

A Salomón Gualdrón Rueda, Químico Especialista de la Corporación de Tecnologías Ambientales Sostenibles CTAS, por su dedicación y apoyo incondicional en el desarrollo del presente proyecto.

Al ingeniero Guillermo Peralta, por su información y dedicación en nuestro trabajo.

A Walfran y Don Carlitos, por su paciencia y formalidad en las vivencias del día a día.

Por sus conocimientos, apoyo y compañía, a todas y cada una de las personas que compartieron e hicieron posible concluir satisfactoriamente esta práctica empresarial,

Finalmente agradezco a la Universidad Industrial de Santander y a los profesores escuela de Ingeniería Química, que me permitieron adquirir los conocimientos para mi íntegra formación como profesional.

GLOSARIO

Agua cruda: Agua que no ha sido sometida a proceso de tratamiento.

Agua potable: Agua que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en el Decreto 475 de 1998, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a la salud.

Alcalinidad: Capacidad del agua para neutralizar los ácidos. Esta capacidad se origina en el contenido de carbonatos (CO_3^{-2}), bicarbonatos (HCO_3^-), hidróxidos (OH^-) y ocasionalmente boratos, silicatos y fosfatos. La alcalinidad se expresa en miligramos por litro de equivalente de carbonato de calcio (CaCO_3).

Análisis físico-químico del agua: pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas.

Análisis microbiológico del agua: pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos.

ArcGIS: herramienta para visualizar y crear mapas con información geográfica.

Calidad del agua: Conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua.

Dureza: Característica del agua debida a la presencia de varias sales.

Fuente de Abastecimiento: Es todo recurso de agua utilizado en un sistema de suministro de agua.

IA: índice de contaminación por alcalinidad.

IC: índice de contaminación por conductividad.

ICO: índice de contaminación.

ICOMI: índice de contaminación por minerales.

ICOMO: índice de contaminación por materia orgánica.

ICOpH: índice de contaminación por pH.

Norma de calidad del agua potable: valores de referencia admisibles para algunas características presentes en el agua potable, que proporcionan una base para estimar su calidad.

Planta de potabilización: conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable.

Punto de muestreo: Sitio específico destinado para tomar una muestra representativa del cuerpo de agua.

UNT: unidades nefelométricas de turbiedad.

UPC: unidades platino cobalto, utilizadas para medir el color.

µs/cm: unidades de conductividad, expresan la cantidad de micro-siemens que arrastran los sólidos suspendidos en el agua en un centímetro.

UFC: unidades formadoras de colonias, utilizadas para medir la cantidad de coliformes totales en 100 mililitros de agua.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
1. MARCO TEÓRICO.....	19
1.1. Localización Geográfica y Caracterización Demográfica de la Zona donde se ubica el Problema o Necesidad en forma Directa	19
1.1.1. Localización geográfica.....	19
1.1.2. Caracterización Demográfica.....	19
1.2. NORMATIVIDAD DE CALIDAD DEL AGUA Y SU TRATABILIDAD	21
1.3. PARÁMETROS EMPLEADOS PARA LA CARACTERIZACION DEL AGUA DE LAS FUENTES HÍDRICAS ABASTECEDORAS.....	22
1.3.1. Características de los parámetros utilizados para el cálculo de los Índices de Contaminación ICO y correlaciones entre variables.....	24
1.3.1.1. Conductividad.....	24
1.3.1.2. pH.....	24
1.3.1.3. Sólidos Suspendidos	24
1.3.1.4. Oxígeno.....	25
1.3.1.5. Coliformes totales.....	25
1.3.1.6. Dureza.....	25
1.3.1.7. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	25
1.3.1.8. Alcalinidad	25
1.3.2. Índices de Contaminación (ICOs).....	26
1.3.2.1. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)	26
1.3.2.2. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO).....	26
1.3.2.3. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS).....	26
1.3.2.4. Índice de contaminación por pH (ICOpH).....	26
2. METODOLOGÍA.....	27

2.1. IDENTIFICACION DE LAS ZONAS DE MUESTREO	28
2.1.1. Zonas de muestreos.....	28
2.2. MUESTREO ACORDE CON ntC-ISO 5667-5.....	29
2.2.1. Toma de muestras para pruebas <i>in situ</i>	29
2.2.2 Toma de muestras para pruebas ex situ	30
2.2.2.1. Recipientes para las muestras	30
2.2.2.2. Llenado de Botellas	30
2.2.2.3. Preservación y etiquetado	30
2.2.2.4. Libro de campo.....	30
2.2.2.5. Traslado al laboratorio IDEAM y análisis	30
2.3. RESULTADOS DEL LABORATORIO IDEAM.....	31
2.4. CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN (ICOs).....	31
2.4.1. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)	32
2.4.2. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)	33
2.4.3. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)	34
2.4.4. Índice de contaminación por pH (ICOpH):.....	34
2.5. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA INFORMÁTICA ICOSSIST V 1.0 PARA EL CÁLCULO Y MANEJO DE LOS DATOS CORRESPONDIENTES A LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS FUENTES HIDRICAS ABASTECEDORAS DE LOS MUNICIPIOS DE ESTUDIO.	35
3. ANÁLISIS Y RESULTADOS	36
3.1. ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MINERALIZACIÓN (ICOMI).....	36
3.2. ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MATERIA ORGANICA (ICOMO).....	37
3.3. ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR SÓLIDOS SUSPENDIDOS (ICOSUS)	38
3.4. INDICE DE CONTAMINACION POR pH (ICOpH)	38
3.5. ACCIONES REQUERIDAS PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA DE LAS FUENTES HIDRICAS ABASTECEDORAS EN LOS ACUEDUCTOS URBANOS DE LOS MUNICIPIOS DE ESTUDIO DE ACUERDO CON LOS ICOS.....	39
3.6. UBICACIÓN Y ANÁLISIS DE LA FUENTE HÍDRICA ABASTECEDORA DEL MUNICIPIO ALBANIA, SECTOR QUEBRADA NEGRA POR MEDIO DE ICOSSIST..	40

3.6.1. Ubicación del punto de muestreo sobre el mapa de Colombia	40
3.6.2. Ingreso de los parámetros fisicoquímicos de la bocatoma Sector Quebrada Negra, para el cálculo de los ICOs.....	41
5. CONCLUSIONES.....	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
ANEXOS	47

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Población de la zona de estudio ubicada sobre la cuenca del río Suárez.....	20
Tabla 2. Clasificación niveles de calidad de la fuente abastecedora y grado de tratamiento asociado.....	22
Tabla 3. Parámetros usados para el cálculo de los índices de contaminación ICO.....	24
Tabla 4. Posición geográfica zonas de muestreo.....	28
Tabla 5. Métodos de análisis utilizados para el cálculo de los parámetros fisicoquímicos.....	29
Tabla 6. Métodos instrumentales y normas empleadas por el laboratorio para la medición de los parámetros utilizados.	31
Tabla 7. Significancia de los índices de contaminación ICO.....	34
Tabla 8. Índice de contaminación por minerales (ICOMI).....	36
Tabla 9. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO).....	37
Tabla 10. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS).....	38
Tabla 11. Índice de contaminación por pH (ICOpH).....	38
Tabla 12. Tratamiento sugerido después del análisis de los índices de contaminación ICO.....	39
Tabla 13. Parámetros requeridos para el cálculo de los ICO, Municipio Albania-Sector Quebrada Negra	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metodología empleada.....	27
Figura 2. Ubicación Bocatoma Municipio Albania, Sector Quebrada Negra	41
Figura 3. Ingreso de los parámetros fisicoquímicos de la bocatoma Sector Quebrada Negra, para el cálculo de los ICOs.....	42
Figura A 1. Visualización de puntos de muestreo.....	48
Figura A 2. Creación puntos muestreo.....	50
Figura A 3. Ingreso variables necesarias para cálculo de los ICOs.....	51
Figura A 4. Ejemplo cálculo y resultado del ICOSUS por medio del programa ICOSIST	52

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. MANUAL DE EJECUCION DEL PROGRAMA ICOSIST V 1.0.....	45
--	----

RESUMEN

TÍTULO: CREACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA EL ANÁLISIS Y LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS FUENTES HÍDRICAS ABASTECEDORAS DE LOS MUNICIPIO DE BARBOSA, JESÚS MARÍA, SUCRE Y ALBANIA.*

AUTORES: ANA GEHOVEL JIMÉNEZ TIBADUIZA.**.

PALABRAS CLAVES: Recurso hídrico, Bocatoma, Índices de Contaminación ICO, Nivel de contaminación, ArcGIS.

DESCRIPCIÓN

En Colombia, el manejo inadecuado de los recursos hídricos ha alterado su composición y disminuido su disponibilidad, lo que se evidencia en que gran parte de la población no cuenta con un recurso hídrico de calidad. Por esta razón, el Estado y entes ambientales del país ejecutan programas dirigidos a conservar, preservar, proteger o prevenir el deterioro de las fuentes hídricas abastecedoras, a través de El Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico de una Cuenca.

En este trabajo se evaluó la calidad del agua de las fuentes hídricas abastecedoras, de los municipios de Barbosa, Jesús María, Sucre y Albania ubicados dentro de la cuenca del río Suárez, en la zona del departamento de Santander, según el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca (POMCA) otorgado por la Corporación Autónoma de Santander CAS a la Corporación de Tecnologías Ambientales Sostenibles CTAS. Para la evolución se realizó un muestreo *in situ*, evaluando parámetros fisicoquímicos y pruebas *ex situ* por el laboratorio IDEAM.

Los resultados obtenidos fueron analizados haciendo uso de la metodología de índices de contaminación ICO, propuesta por Ramírez y Viña 1998 (considerando el ICOMI, ICOMO, ICOpH e ICOSUS) a través de la creación e implementación de la herramienta informática **ICOSSIST V 1.0**, que tiene como finalidad facilitar el diagnóstico de la calidad del agua de las fuentes hídricas abastecedoras, ubicar y visualizar estos datos sobre el punto de muestreo en el mapa de Colombia, así como guardar esta información en la base de datos para realizar un monitoreo de cambios en la fuente hídrica, además de dar sugerencias básicas en cuanto a lo que se debe hacer para garantizar la calidad del agua destinada al consumo humano en cada uno de los municipios.

* Practica Empresarial

** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Profesor, Luis Javier López, Universidad Industrial de Santander. Codirector: Químico Especialista, Salomón Gualdrón Rueda, Corporación de Tecnologías Ambientales Sostenibles, CTAS.

ABSTRACT

TITLE: CREATION AND IMPLEMENTATION OF A COMPUTATIONAL TOOL, FOR THE ANALYSIS AND EVALUATION OF WATER QUALITY OF SUPPLY WATER SOURCES OF THE MUNICIPALITY OF BARBOSA, JESÚS MARÍA, SUCRE Y ALBANIA.*.

AUTHOR: ANA GEHOVEL JIMÉNEZ TIBADUIZA. **.

KEY WORDS: Water resources, Supply water sources, Pollution Index ICO, pollution level, ArcGIS.

CONTENT

In Colombia, the inadequate management of water resources has altered its composition and decreased its availability, which is evident because much of the population does not have a water resource quality. For this reason, the state and national environmental agencies running programs to conserve, preserve, protect or prevent deterioration of water sources supplying, through the management plan of water resources in a watershed.

It study evaluated water quality of supply water sources of the municipalities of Barbosa, Jesus Maria, Sucre and Albania, located within the basin of Suarez, in the department of Santander, according to the Management Plan and Watershed Management (POMC) issued by the Autonomous Corporation of Santander CAS, to the Sustainable Environmental Technologies Corporation CTAS. For its evolution, was performed a sampling of physicochemical parameters evaluated in situ and ex situ testing by IDEAM laboratory.

The results were analyzed using the methodology of pollution Index, ICO, proposed by Ramírez and Viña 1998 (considering the ICOMI, ICOMO, ICOpH and ICOSUS) through the creation and implementation of a computational tool named ICOSSIST V 1.0. This tool is intended to facilitate the diagnosis of water quality of the supply water sources, locate and display this data on the sampling point on the map of Colombia, and save this information in the database for monitoring of changes in the source water, in addition this tool give basic suggestions as to what should be done to ensure the quality of water intended for human consumption in each of the municipalities.

* Internship, Bucaramanga Sustainable Environmental Technologies Corporation CTAS

** Physical and Chemical Department. Chemical Engineering Department, Director: Professor, Luis Javier López, Co-director: Specialist Chemist, Salomón Gualdrón Rueda,

INTRODUCCIÓN

El manejo inadecuado de los recursos hídricos ha alterado su composición y ha disminuido aún más su disponibilidad. Esta situación ha llevado al Estado y a entes ambientales del país a planificar el uso sostenible de este recurso y ejecutar programas y proyectos, como El Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico de una Cuenca, dirigidos a conservar, preservar, proteger o prevenir el deterioro de las fuentes, los manantiales y las cuencas hidrográficas [1].

Como parte del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico de una cuenca (Decreto 1729 de 2002, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial), en su fase de diagnóstico, las corporaciones ambientales deben realizar una caracterización de la variabilidad espacial y temporal de la calidad del agua de las fuentes superficiales, que permita establecer los usos más adecuados de los recursos, de acuerdo con el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura, así como la capacidad asimilativa de los cuerpos de agua para mantener sus variables de calidad, por debajo de intervalos de concentración preestablecidos [2] .

Por esto, la Corporación Áreas Naturales Protegidas, ANP, junto con la Corporación de Tecnologías Ambientales Sostenibles, CTAS, bajo la supervisión de la corporación autónoma regional de Santander, CAS, llevaron a cabo el proyecto de Formulación del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Suárez, POMCA Río Suárez, Departamento de Santander.

En el área de la cuenca del río Suárez, hay procesos de transformación y fragmentación de ecosistemas por actividad antrópica en los nacimientos y cabeceras de la cuenca, lo que lleva a la pérdida de biodiversidad, degradación de suelos, disminución de bienes y servicios ambientales como la regulación hídrica, la protección de suelos, el suministro de agua para consumo humano y procesos productivos, entre otros aspectos importantes para el desarrollo local y regional.

Este estudio es el resultado de una práctica empresarial realizada por la autora en CTAS, donde, en la fase de diagnóstico del proyecto para la formulación del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica (POMCA) del río Suárez, se determinó el estado actual de la calidad de las fuentes hídricas abastecedoras, empleando los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos *in situ* y *ex situ*, para cuatro municipios: Barbosa, Jesús María, Sucre y Albania, pertenecientes a la cuenca hidrográfica.

Los resultados obtenidos en esta práctica fueron analizados, empleando la metodología de los Índices de Contaminación, ICOs, a través de la creación e implementación de la herramienta informática **ICOSSIST V 1.0**, que tiene como finalidad facilitar el diagnóstico de la calidad del agua de las fuentes hídricas abastecedoras de los acueductos del casco urbano de los municipios estudiados, además de ubicar y visualizar estos datos sobre el punto de muestreo, en el mapa de Colombia.

Con los resultados obtenidos, se pretende determinar qué tipo de tratamiento se debe aplicar para garantizar la calidad del agua destinada al consumo humano en cada uno de los municipios.

Respecto de los Índices de Contaminación del agua, ICOs, se emplearon los desarrollados por Ramírez y Viña (1998), que evalúan el nivel de contaminación del agua, mediante la agrupación de variables fisicoquímicas que denotan la misma condición ambiental. Los índices son de fácil estimación y permiten puntualizar el tipo de problema ambiental presente. En este estudio, se desarrollará el cálculo de cuatro ICO: por materia orgánica, ICOMO; por mineralización, ICOMI; por sólidos suspendidos, ICOSUS y por pH, ICOpH.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERIZACIÓN DEMOGRÁFICA DE LA ZONA DONDE SE UBICA EL PROBLEMA O NECESIDAD EN FORMA DIRECTA

1.1.1. Localización geográfica

El río Suárez nace en la laguna de Fúquene, en los límites de los departamentos de Boyacá y Cundinamarca. Inicialmente toma una dirección norte y transcurre por el departamento de Boyacá, para luego entrar por el sur del departamento de Santander, sector por donde se desplaza con características torrentosas. El río Suárez recibe al río Fonce después que éste ha pasado por San Gil y se une luego con el río Chicamocha cuyas vertientes conforman el río Sogamoso (confluencia Suárez – Chicamocha), presenta una altura máxima de 3700 m y mínima de 700 m [3].

1.1.2. Caracterización Demográfica

La población en la cuenca Hidrográfica del río Suárez, en el Departamento de Santander es de 223148 habitantes distribuida en 31 municipios: Socorro, Oiba, Contratación, Suaita, Guadalupe, Simacota, Galán, Chima, Gambita, Palmas del Socorro, Hato, Guapota, Confines, El Guacamayo, Palmar, Barichara, Villanueva, Cabrera, Vélez, Puente Nacional, Guepsa, Bolívar, La Paz, Aguada, San Benito, Albania, Guavatá, Chipatá, Barbosa, Jesús María, Sucre y Albania, siendo estos cuatro últimos municipios pertenecientes a la provincia de Vélez y limitantes territorialmente entre sí los que se estudiarán y caracterizarán en este proyecto.

La distribución de la población en estos municipios es principalmente rural, esta característica se refleja en la intervención del suelo y el aprovechamiento de los recursos naturales para desarrollar actividades agropecuarias.

Tabla 1. Población de la zona de estudio ubicada sobre la cuenca del río Suárez

MUNICIPIO	POBLACIÓN URBANA	POBLACIÓN RURAL	TOTAL
BARBOSA	20782	5795	26577
JESUS MARIA	803	2588	3391
SUCRE	428	8624	9052
ALBANIA	473	4000	4473
Total			43493

Fuente: Corporación CAS.

Municipio de Barbosa: La cabecera municipal de Barbosa está localizada sobre la margen izquierda del río Suárez y cuenta con ocho veredas discriminadas así: Vereda Santa Rosa, Vereda La Palma, Vereda Francisco de Paula Santander, Vereda Buenavista, Vereda el Amarillo, Vereda Cristales, Vereda Pozo Negro, Vereda Centro.

Municipio Jesús María: El municipio se halla ubicado al sur del Departamento de Santander, limita territorialmente por el norte con el municipio de Sucre, por el Oriente con Guavatá y Puente Nacional, al Occidente con Florián y la Belleza, al Sur con Albania. A este municipio lo conforman diez veredas: Agua Fría, Alto Grande, Angostura, Arciniegas, Bravo Páez, Cabrera Alta, El Oscuro, Laderas, Santa Rosa, Alto Cruces.

Municipio Sucre: El Municipio de Sucre se encuentra ubicado al sur del Departamento de Santander, forma parte de la Provincia de Vélez y limita por el norte con los municipios de El Peñón y Bolívar, al Occidente con el municipio de Bolívar, al Sur con los municipios de la Belleza y Jesús María y al oriente con el municipio de Guavatá. Este municipio cuenta con los corregimientos de La Granja, Sabana Grande y La Pradera.

Municipio de Albania: Ubicado al sur del departamento de Santander, limita por el norte con el Municipio de Jesús María, por el Oriente con el municipio de Puente Nacional, al Nor- occidente con el municipio de Florián y al sur con el Departamento de Boyacá, Municipios de Tununguá y Saboyá .

1.2. NORMATIVIDAD DE CALIDAD DEL AGUA Y SU TRATABILIDAD

Las sustancias y/o microorganismos presentes le confieren al agua las características físicas, químicas y microbiológicas que determinan su calidad, y estas están contempladas y reglamentadas tanto en las recomendaciones de organizaciones sanitarias internacionales (OMS, OPS), como en la legislación nacional. La mayoría de los parámetros se expresan en términos de concentración; sin embargo hay otros como color, turbiedad, alcalinidad, acidez, conductividad, que no expresan la concentración de un elemento en particular, sino que miden el efecto de una combinación de sustancias [4, 5].

Las Normas de Calidad del Agua determinan el valor admisible o deseable establecido para algunas de las características presentes en el agua con el fin de determinar su calidad y contribuir a preservar y mantener la salud humana [5]. Es así, como existe una normatividad que regula los rangos permisibles para los parámetros que intervienen en dicha calidad.

El agua producida en un sistema de potabilización no debe contener microorganismos patógenos, ni sustancias tóxicas o nocivas para la salud. Por tanto, el agua para consumo humano debe cumplir los Requisitos de Calidad microbiológicos, organolépticos y físico-químicos exigidos en el Decreto 475 de marzo 10 de 1998, además de seguir el Sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano establecido en el Decreto 1575 de mayo 9 de 2007 de los Ministerios de Salud y de Desarrollo Económico [6].

La calidad de la fuente hídrica abastecedora debe caracterizarse de la manera más completa posible para poder identificar el tipo de tratamiento que necesita y los parámetros principales de interés. Además, la fuente debe cumplir con lo exigido en el Decreto 1594 del 26 de junio de 1984, en sus artículos 37 y 38, o en su ausencia el que lo reemplace [7].

En la tabla 2 se presenta la clasificación de los niveles de calidad de las fuentes de abastecimiento en función de los parámetros mínimos de análisis físico químicos y microbiológicos, y el grado de tratamiento asociado.

Tabla 2. Clasificación niveles de calidad de la fuente abastecedora y grado de tratamiento asociado.

Parámetros	Análisis según		Nivel de calidad de acuerdo al grado de polución			
	Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
DBO 5 días	3630					
Promedio mensual mg/l			≤ 1,5	1,5 - 2,5	2,5 - 4	>4
Máximo diario mg/l			1 - 3	3 - 4	4 - 6	>6
Coliformes totales (NMP/100 ml)						
Promedio mensual		D-3870	0 - 50	50 - 500	500 - 5000	> 5000
Oxígeno disuelto mg/l	4705	D-888	≥ 4	≥ 4	≥ 4	< 4
PH promedio	3651	D 1293	6,0 - 8,5	5,0 - 9,0	3,8 - 10,5	
Turbiedad (UNT)	4707	D 1889	< 2	2 - 40	40 - 150	≥ 150
Color verdadero (UPC)			< 10	10 -20	20 - 40	≥ 40
Gusto y olor		D 1292	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros (mg/l - Cl)		D 512	< 50	50 - 150	150 - 200	300
Fluoruros (mg/l - F)		D 1179	< 1,2	< 1,2	< 1,2	> 1,7
GRADO DE TRATAMIENTO						
- Necesita un tratamiento convencional			NO	NO	Sí, hay veces (ver requisitos para uso FLDE : literal C.7.4.3.3)	SI
- Necesita unos tratamientos específicos			NO	NO	NO	SI
- Procesos de tratamiento utilizados			(1) = Desinfección + Estabilización	(2) = Filtración Lenta o Filtración Directa + (1)	(3) = Pretratamiento + [Coagulación + Sedimentación+ Filtración Rápida] o [Filtración Lenta Diversas Etapas] + (1)	(4) = (3) + Tratamientos específicos

Fuente: RAS-2000. Sistemas de Potabilización.

1.3. PARÁMETROS EMPLEADOS PARA LA CARACTERIZACION DEL AGUA DE LAS FUENTES HÍDRICAS ABASTECEDORAS

La valoración de la calidad del agua puede ser entendida como la evaluación de su naturaleza química, física y biológica, en relación con la calidad natural, los efectos humanos y usos posibles. Para hacer más simple la interpretación de los datos de su monitoreo, es cada vez más frecuente el uso de índices de calidad de agua, los cuales

son herramientas prácticas que reducen una gran cantidad de parámetros a una expresión sencilla dentro de un marco unificado [8, 9].

Para poder determinar la calidad de la fuente hídrica abastecedora y su grado de contaminación antes de su debido tratamiento en los acueductos urbanos de los municipios de Barbosa, Jesús María, Sucre y Albania, se utilizó la formulación descrita por Ramírez y Viña (1998), quienes desarrollaron los índices de contaminación –ICO– a partir del análisis de componentes principales (ACP) aplicado a información fisicoquímica resultante de diferentes estudios limnológicos relacionados con la industria colombiana del petróleo. Estos índices evalúan el nivel de contaminación del agua mediante la agrupación de variables fisicoquímicas que denotan la misma condición ambiental. Actualmente existen nueve ICO entre los cuales se destacan el ICO por materia orgánica –ICOMO–; el ICO por mineralización –ICOMI–; y el ICO por sólidos suspendidos –ICOSUS– [8, 9].

Los parámetros utilizados para calcular los índices dependen de la información existente y su importancia como estándar de calidad. En general, estos índices se seleccionan de acuerdo con su relevancia dentro del rol ecológico, ó porque en sí mismos conjugan en forma simultánea el impacto de distintas variables. Entre las variables fisicoquímicas empleadas para la formulación de los ICO se encuentran: la conductividad, la dureza, la alcalinidad, el pH, el oxígeno disuelto, la demanda biológica de oxígeno, los coliformes totales y los sólidos suspendidos. Estas variables se agrupan con el fin de determinar diferentes índices de contaminación tal como se resume en la Tabla 3:

Tabla 3. Parámetros usados para el cálculo de los índices de contaminación ICO

Parámetros	Índice de Contaminación
Alcalinidad, Conductividad, Dureza	ICOMI
DBO, Coliformes Totales, %de Saturación de Oxígeno disuelto	ICOMO
pH	ICOpH
Sólidos Suspendidos	ICOSUS

Fuente: Limnología Colombiana.

1.3.1. Características de los parámetros utilizados para el cálculo de los Índices de Contaminación ICO y correlaciones entre variables

1.3.1.1. Conductividad

Refleja la mineralización de las aguas (sólidos disueltos), dado que conjuga los cationes sodio, potasio, calcio, magnesio, así como los aniones carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros. Por lo tanto, se correlaciona con la dureza (calcio y magnesio) y la alcalinidad (principalmente carbonatos, bicarbonatos e hidroxilo).

1.3.1.2. pH

El pH se correlaciona con componentes de mineralización como alcalinidad y en menor forma conductividad y sólidos disueltos. La relación del pH con la alcalinidad está sustentada en el hecho de que esta última mide la capacidad del agua para aceptar iones hidrógeno, lo cual se hace determinando principalmente la cantidad de iones bicarbonato, carbonato e hidroxilo.

1.3.1.3. Sólidos Suspendidos

Las condiciones de este parámetro son diferentes a las de los sólidos disueltos y no denotan ninguna relación con alguna variable propia de mineralización; la turbiedad es otra forma de expresión de esta variable y de allí las correlaciones exhibidas entre ellas. Sus valores son afectados por procesos erosivos y extractivos, y su efecto sobre

los ecosistemas acuáticos manifestados en la reducción de la penetración lumínica y con ello la limitación en la realización de la fotosíntesis. Cabe destacar que el amonio y la DBO, propias de la contaminación orgánica se encuentran asociadas de forma importante a ella.

1.3.1.4. Oxígeno

El papel biológico de esta variable es fundamental porque define la presencia o ausencia potencial de todas las especies acuáticas. (No se correlacionó con la DBO, ya que ésta sólo presentó correlación con la DQO).

1.3.1.5. Coliformes totales

Se correlacionan con los fecales, dado que estos hacen parte de los primeros y exhiben independencia para las variables restantes.

1.3.1.6. Dureza

Corresponde a la suma de los cationes polivalentes expresados como la cantidad equivalente de carbonato de calcio, de los cuales los más comunes son los de calcio y los de magnesio. La dureza está relacionada con el pH y la alcalinidad; depende de ambos.

1.3.1.7. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Corresponde a la cantidad de oxígeno necesario para descomponer la materia orgánica por acción bioquímica aerobia. Se expresa en mg/L. Esta demanda es ejercida por las sustancias carbonadas, las nitrogenadas y ciertos compuestos químicos reductores.

1.3.1.8. Alcalinidad

Es la capacidad del agua de neutralizar ácidos. Sin embargo, aniones de ácidos débiles (bicarbonatos, carbonatos, hidróxido, sulfuro, bisulfuro, silicato y fosfato) pueden contribuir a la alcalinidad. La alcalinidad está influenciada por el pH, la composición general del agua, la temperatura y la fuerza iónica.

1.3.2. Índices de Contaminación (ICOs)

Con base en las correlaciones referidas en la sección anterior, se definen los siguientes índices de contaminación, ICOs:

1.3.2.1. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

Expresado en numerosas variables, de ellas elegidas la conductividad como reflejo de los sólidos disueltos, dureza por los cationes calcio y magnesio y alcalinidad por los aniones.

1.3.2.2. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

Se expresa en diferentes variables que incluyen: nitrógeno amoniacal, nitritos, fósforo, oxígeno, DBO, DQO, coliformes totales y fecales principalmente. Algunas otras variables cuya medición es menos frecuente como materia orgánica, dióxido de carbono, metano y ácido sulfhídrico, también pertenecen a este grupo. Se seleccionaron DBO y coliformes totales, ya que estas reflejan diferentes fuentes de contaminación por materia orgánica, así como el porcentaje de saturación de oxígeno que indica la respuesta o capacidad ambiental del sistema ante este tipo de polución.

1.3.2.3. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)

Determinado mediante la concentración de los sólidos suspendidos.

1.3.2.4. Índice de contaminación por pH (ICOpH)

Se determina empleando el valor del pH total.

2. METODOLOGÍA

La metodología de campo empleada fue desarrollada siguiendo las normas que rigen este tipo de estudios, entre las cuales se destacan: La Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-5, en la cual se consignan las directrices para el muestreo de agua potable en instalaciones de abastecimiento de agua; El Decreto 1594 de 1984, en el Capítulo IV, “De los Criterios de Calidad para Destinación del Recurso”, artículos 38 a 45, que fijan los diferentes parámetros a monitorear.

El proceso de valoración de la calidad del agua incluye al monitoreo como principal herramienta para definir la condición del recurso. El monitoreo, por su parte, abarca mediciones estandarizadas, colección de información en un número determinado de locaciones (puntos de muestreo) a intervalos de tiempo, con el fin de proveer datos que puedan ser usados como información, para definir las condiciones del sistema, establecer tendencias y verificar las relaciones causa- efecto.

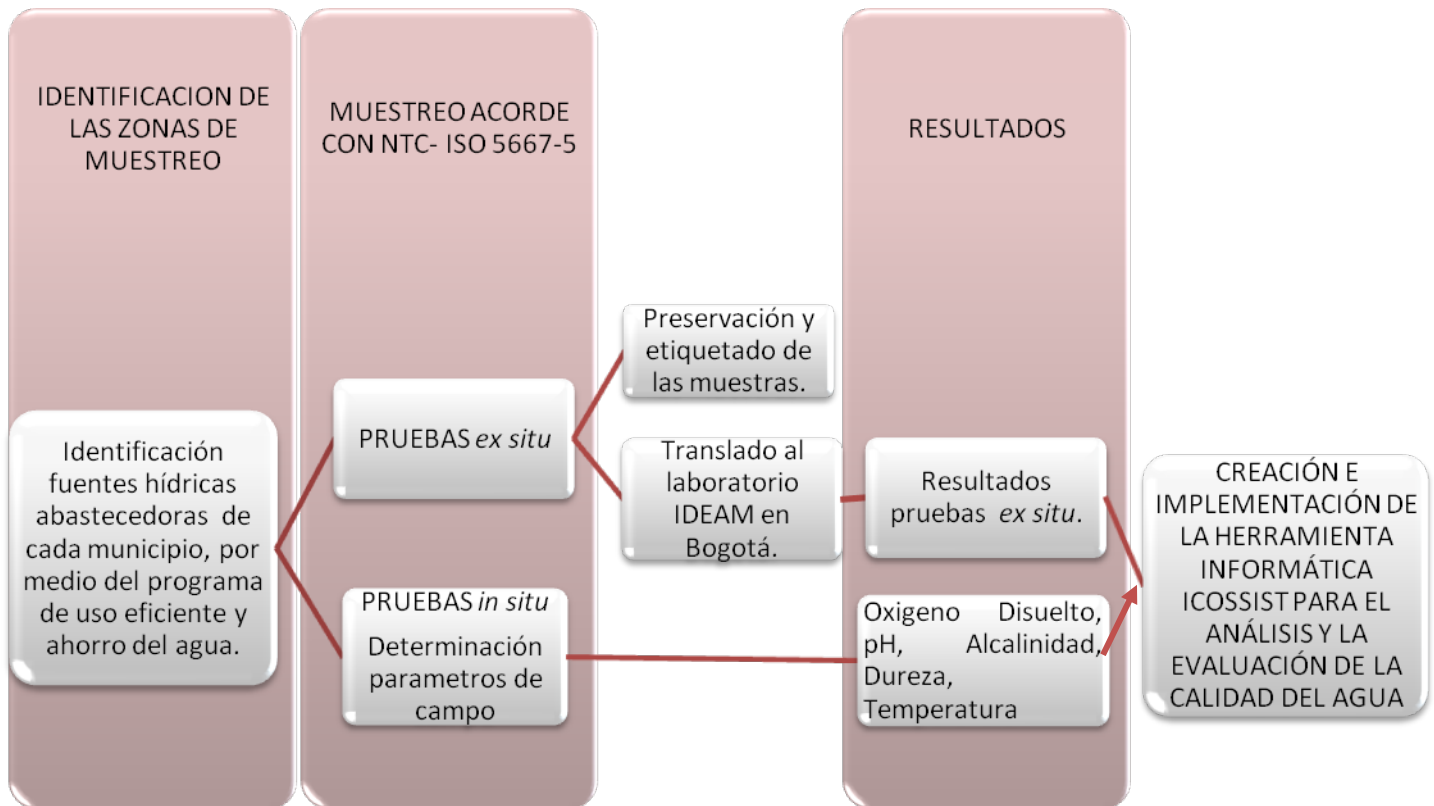


Figura 1. Metodología empleada

Fuente: La Autora

2.1. IDENTIFICACION DE LAS ZONAS DE MUESTREO

Las zonas donde se realizaron los muestreos (fuentes hídricas abastecedoras) fueron tomadas de los Programas de Uso Eficiente y Ahorro del Agua PUEAA para cada municipio, formulados dentro del marco de la Ley 373/97, los cuales están basados en el diagnóstico de la oferta hídrica de las fuentes de abastecimiento y la demanda de agua. Estos documentos hacen parte de los archivos de la Corporación Autónoma de Santander CAS, que contiene una información detallada del recurso hídrico.

2.1.1. Zonas de muestreos

Las principales zonas donde se hicieron los respectivos muestreos (Tabla 4) están determinadas por afluentes del río Suárez, los cuales se encuentran ubicados en las diferentes veredas de los municipios de Barbosa, Jesús María, Sucre y Albania.

Tabla 4. Posición geográfica zonas de muestreo

ACUEDUCTO	POSICIÓN		ALTURA(MSMM)	PRESICION(M)
	X	Y		
URBANO-BARBOSA				
Vereda: Buenavista	1046224,99341	1146973,62511	1664	5
Vereda: El amarillo	1050262,71270	1148098,07862	1552	6
Río Suárez, vereda cristales	1050220,78775	1146718,74361	1105	5
URBANO- JESÚS MARÍA				
Sector: Los Alpes	1025952,90473	1142070,56918	2561	7
Sector: Cabrera baja	1027084,46770	1133277,55517	2168	8
URBANO- SUCRE				
Vereda: Peña Blanca	1026347,14009	1143764,56356	2502	3
Sector: Los Alpes	1025827,37058	1142142,39747	2525	9
URBANO ALBANIA				
Sector: Quebrada Negra	1035190	1135650	2042	5
Corregimiento El Hatillo	1034370	1133413	2310	5

Fuente: La Autora

La toma de muestras se realizó en los meses de marzo a agosto del año 2011, aprovechando los diferentes tiempos climáticos que se presentaron durante esta época.

2.2. MUESTREO ACORDE CON NTC-ISO 5667-5

Para determinar la calidad del agua, independientemente del posible uso al que vayan a ser destinadas, se parte de la toma de muestras para la obtención de una serie de parámetros como pueden ser la concentración de diversos elementos, temperaturas, dureza, alcalinidad, aspectos microbiológicos, etc.

A continuación se presenta la metodología usada para la toma de muestras de las fuentes hídricas abastecedoras, basada en La Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-5. El agua de estas fuentes fue sometida a una serie de mediciones para determinar los valores físico-químicos y biológicos con el fin de evaluar el estado actual de dichas fuentes.

2.2.1. Toma de muestras para pruebas *in situ*.

La técnica de muestreo depende del tipo de análisis que se requiera efectuar. Para este caso se realizó un muestreo simple, es decir tomando una sola muestra en un sitio determinado, en este muestreo *in situ* se determinaron parámetros de calidad del agua como dureza, oxígeno disuelto, pH y alcalinidad, empleando equipos portátiles (kits de campo Merck) que utilizan métodos estándares para dicha determinación (Tabla 5).

Tabla 5. Métodos de análisis utilizados para el cálculo de los parámetros fisicoquímicos.

PARAMETROS DE CALIDAD DEL AGUA	UNIDADES	METODOLOGIA USADA
Dureza	mg/l	SM 2340C (Método titración con EDTA)
Alcalinidad	mg/l	SM 2320B (Método titración)
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /l	SM 4500 O (titulación de Winkler)
pH	-	Papel Indicador
Temperatura	°C	Se utilizó un termómetro de mercurio fabricado en vidrio

Fuente: Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.

2.2.2 Toma de muestras para pruebas ex situ

2.2.2.1. Recipientes para las muestras

Para la toma de muestras se utilizaron botellas de plástico de 1 litro de volumen según lo estipulado por la Norma Técnica Colombiana ISO 5667-5 para muestreo de agua potable.

2.2.2.2. Llenado de Botellas

Tan pronto se ejecutó el muestreo, se purgaron dos o tres veces todas las botellas con la muestra; desechando tales enjuagues y se procedió a llenar las botellas evitando la inclusión de material u objetos flotantes y/o sumergidos y dejando un espacio libre de aproximadamente dos centímetros en el cuello de la botella.

2.2.2.3. Preservación y etiquetado

Todas las muestras de un mismo sitio de muestreo fueron almacenadas en una misma cava a una temperatura cercana a los 4° C con el objetivo de asegurar que la muestra conserve las concentraciones relativas de todos los componentes presentes en el material original sin que ocurran cambios significativos antes de su análisis.

Para prevenir todo tipo de confusión en la identificación de las muestras, se utilizó una etiqueta con la siguiente información: número de la muestra, nombre del recolector, fecha, hora y lugar de recolección.

2.2.2.4. Libro de campo

Toda la información correspondiente a observaciones de campo se registró para tener una memoria del procedimiento realizado.

2.2.2.5. Traslado al laboratorio IDEAM y análisis

Las cavas fueron entregadas al laboratorio IDEAM por la persona encargada, la cual hizo parte de la comisión de muestreo, entregando igualmente los formatos de campo.

2.3. RESULTADOS DEL LABORATORIO IDEAM

Los métodos analíticos para medir los parámetros solicitados fueron desarrollados en el laboratorio IDEAM (Bogotá) certificado por el ministerio de salud. Todos los análisis fueron efectuados empleando normas internacionales para análisis de aguas (Tabla6).

Tabla 6. Métodos instrumentales y normas empleadas por el laboratorio para la medición de los parámetros utilizados.

PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA	UNIDADES	METODOLOGÍA USADA
CONDUCTIVIDAD	mg/l	S.M. 2510 B
COLIFORMES TOTALES	UFC/100ml	S.M. 9230 B
DBO ₅	mg O ₂ /l	S.M. 5210 B
SOLIDOS SUSPENDIDOS	mg/l	S.M. 2540

Fuente: Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.

2.4. CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN (ICOS)

El procedimiento metodológico para la formulación de estos índices correspondió al descrito en Ramírez *et al.* (1997) y Ramírez *et al.* (1999) el cual se describe brevemente a continuación:

- Asignación de valores de contaminación entre cero y uno a la escala de las variables.
- Selección de la ecuación que permita relacionar el valor de la variable y su incidencia en contaminación.
- Aplicación del análisis de regresión lineal por el método de mínimos cuadrados ordinarios a la relación entre el índice y el parámetro.
- Ajuste de la ecuación estimada.

2.4.1. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

Es el valor promedio de los índices de cada una de las 3 variables elegidas (conductividad, dureza y alcalinidad), valores muy bajos cercanos a cero reflejan baja contaminación por mineralización y cercanos a uno lo contrario. La fórmula general para su cálculo es:

$$ICOMI = \frac{1}{3} [I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad}]$$

Para el cálculo de las variables tenemos:

➤ $I_{Conductividad}$

$$\log_{10}(I_{Conductividad}) = -3,26 + 1,34 \log_{10} Conductividad [\mu s/cm]$$

Para esta variable hay que tener en cuenta que conductividades mayores a 270 $\mu s/cm$, se les asigna el valor de 1.

➤ I_{Dureza}

$$\log_{10}(I_{Dureza}) = -9,09 + 4,40 \log_{10} Dureza [mg/l]$$

Se debe tener en cuenta que:

Durezas mayores a 110 mg/l tienen un valor de 1 ($I_{Dureza} = 1$)

Durezas menores a 30mg/l tienen valor de 0 ($I_{Dureza} = 0$)

➤ $I_{Alcalinidad}$

$$(I_{Alcalinidad}) = -0,25 + 0,005 Alcalinidad [mg/l]$$

Para esta variable se debe tener en cuenta:

Alcalinidades mayores a 250 mg/l tienen un valor de 1 ($I_{Alcalinidad} = 1$)

Alcalinidades menores a 50mg/l tienen un valor de 0 ($I_{Alcalinidad} = 0$)

2.4.2. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

Es el valor promedio de los índices de cada una de las 3 variables elegidas: Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO, Coliformes totales y Porcentaje de Saturación de Oxígeno. La fórmula general para su cálculo es la siguiente:

$$ICOMO = \frac{1}{3} [I_{DBO} + I_{Coliformes\ Totales} + I_{Oxigeno\%}]$$

Para el cálculo de cada una de las variables tenemos:

➤ I_{DBO}

$$(I_{DBO}) = -0,05 + 0,70 \log_{10} DBO[mg/l]$$

Para esta variable debemos tener en cuenta que:

DBO mayores a 30 mg/l tienen un valor de uno ($I_{DBO} = 1$).

DBO menores a 2 mg/l tienen un valor de cero ($I_{DBO} = 0$)

➤ $I_{Coliformes\ Totales}$

$$(I_{Coliformes\ Totales}) = -1,44 + 0,56 \log_{10} Col.\ Totales[NMP/100ml]$$

Para esta variable de debe tener en cuenta que:

Col. totales mayores a 20.000 NMP/100ml se les asigna un valor de 1 ($I_{Col.\ Totales} = 1$)

Coliformes totales menores a 500 NMP/100 ml tienen un valor de cero ($I_{Col.\ Totales} = 0$)

➤ $I_{Oxigeno\%}$

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

Donde:

Porcentaje de Oxígeno mayores a 100% tienen un valor de cero ($I_{Oxigeno\%} = 0$)

Para sistemas lénticos con eutroficación y porcentajes de saturación mayores al 100% se sugiere reemplazar la expresión por:

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

2.4.3. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)

Sólo utiliza una variable para su cálculo que es el valor de los sólidos suspendidos y su fórmula general es:

$$ICOSUS = -0,02 + 0,003 \text{ Solidos Suspendidos (mg/l)}$$

Para este índice valores mayores a 340 mg/l tienen un valor de uno (ICOSUS = 1).

Sólidos suspendidos menores a 10 mg/l tienen un valor de cero (ICOSUS = 0).

2.4.4. Índice de contaminación por pH (ICOpH):

$$ICOpH = \frac{e^{-31.08+3.45 \cdot pH}}{1 + e^{-31.08+3.45 \cdot pH}}$$

Si el pH tomado es menor a 7, entonces $pH = 14 - pH$ Tomado, si el pH tomado es superior a 7 se toma el valor reportado en el análisis y se calcula el índice ICOpH.

En la Tabla 7 se presenta una relación entre éstos índices de contaminación ICO y su grado de contaminación en escala de color.

Tabla 7. Significancia de los índices de contaminación ICO.

ICOs	GRADO DE CONTAMINACION	ESCALA DE COLOR
0 – 0.2	Ninguno	
> 0,2 – 0,4	Bajo	
> 0,4 – 0,6	Medio	
> 0,6 – 0,8	Alto	
> 0,8 – 1	Muy Alto	

Fuente: Ramírez et al. (1999).

2.5. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA INFORMÁTICA ICOSSIST V 1.0 PARA EL CÁLCULO Y MANEJO DE LOS DATOS CORRESPONDIENTES A LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS FUENTES HIDRICAS ABASTECEDORAS DE LOS MUNICIPIOS DE ESTUDIO.

A partir de los resultados obtenidos en cuanto a la valoración de la calidad del agua de las fuentes hídricas abastecedoras ubicadas en los municipios estudiados, y usando los índices de contaminación ICOs desarrollados por Ramírez y Viña, se diseñó el programa ICOSSIST V 1.0 [Anexo A].

ICOSSIST es una herramienta computacional que facilita el cálculo de dichos índices de contaminación y la visualización geográfica de éstos en un punto sobre el mapa de Colombia, en este caso sobre la región de Santander, donde fue realizado el muestreo. Además, este programa brinda recomendaciones básicas que permiten al usuario conocer las condiciones iniciales en las que se encuentra la fuente hídrica abastecedora, para a partir de éstas, determinar los procesos que deben ser implementados para la potabilización del agua de dichas fuentes.

Además de ser un programa para asistir a expertos, académicos y agencias del sector, ICOSSIST V 1.0 puede ser usado inclusive por el público en general, en la evaluación de la calidad del agua, con el valor agregado de presentar la información de una manera sencilla, veraz y fácilmente entendible por los distintos usuarios.

Esta herramienta se desarrolló por medio del programa ArcGIS 9.3, haciendo uso de su herramienta *Visual Basic Editor*. ArcGIS es un sistema de información geográfica que se utiliza para describir y caracterizar geografías, con el propósito de visualizar y analizar información de referencia geográfica.

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados y análisis realizados con los parámetros tomados *in-situ* y los entregados por el laboratorio IDEAM, usando como herramienta de cálculo las ecuaciones y condiciones establecidas para cada Índice de Contaminación, ICO, desarrollados por Ramírez y Viña (1998).

Los ICOs son una herramienta con un enfoque de desagregación de las categorías de contaminación; esto quiere decir que las fórmulas no fueron diseñadas sobre la base de los estándares de calidad de agua, sino que la selección de las variables para cada índice se sustentó en el efecto de cada parámetro sobre las condiciones del agua; por ejemplo, aguas de muy buena calidad según el ICOMI, pueden tener valores de dureza de 2 mgO₂/l (criterios para el consumo humano) y 2mg/l de alcalinidad además de concentraciones bajas de dureza. Sin embargo, esta agua puede contener cantidades significantes de coliformes totales y DBO. Por esto, se hace necesario prestar atención al momento de su interpretación.

3.1. ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MINERALIZACIÓN (ICOMI)

Tabla 8. Índice de contaminación por minerales (ICOMI).

ACUEDUCTO	CONDUCTIVIDAD (μ/cm)	IC	DUREZA (mg/L)	ID	ALCALINIDAD (mg/L)	IA	ICOMI	GRADO DE CONTAMINACION
URBANO-BARBOSA								
Vereda: Buenavista	122	0,343	87	0,278	2	0,000	0,207	BAJO
Vereda: El amarillo	187	0,609	86	0,264	2	0,000	0,291	BAJO
Rio Suarez, vereda cristales	70	0,163	57	0,043	1	0,000	0,069	NINGUNO
URBANO- JESUS MARIA								
Sector: Los Alpes	112	0,306	53	0,031	8	0,000	0,113	NINGUNO
Sector: Cabrera baja	90	0,228	45	0,015	1	0,000	0,081	NINGUNO
URBANO- SUCRE								
Vereda: Pena Blanca	111	0,303	50	0,024	6	0,000	0,109	NINGUNO
Sector: Los Alpes	137	0,401	53	0,031	7	0,000	0,144	NINGUNO
ALBANIA								
Sector: Quebrada Negra	155	0,473	30	0,003	5	0,000	0,159	NINGUNO
Corregimiento El Hatillo	130	0,374	24	0,001	9	0,000	0,125	NINGUNO

Fuente: La Autora.

Según los resultados obtenidos se infiere que el valor bajo del grado de contaminación del ICOMI en las veredas Buenavista y El amarillo pertenecientes al municipio de Barbosa, es una consecuencia directa de los altos valores reportados de conductividad y dureza respectivamente. Por tanto si estas fuentes hídricas se quieren tomar como bocatomas, es necesario implementar en el sistema de tratamiento las etapas de floculación y filtración para mejorar la calidad del agua.

3.2. ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MATERIA ORGANICA (ICOMO)

Tabla 9. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO).

ACUEDUCTO	DBO (mg O/l)	IDBO	COT* (NMP/100ml)	ICOT	O%	IO%	ICOMO	GRADO DE CONTAMINACION
URBANO-BARBOSA								
Vereda: Buenavista	12	0,705	1	0,000	82,7	0,173	0,293	BAJO
Vereda: El amarillo	18	0,829	1	0,000	79	0,210	0,346	BAJO
Rio Suarez, vereda cristales	220	1,000	24500	1,000	40	0,600	0,867	MUY ALTO
URBANO- JESUS MARIA								
Sector: Los Alpes	3,5	0,331	1	0,000	77	0,230	0,187	NINGUNO
Sector: Cabrera baja	2	0,161	1	0,000	60	0,400	0,187	NINGUNO
URBANO- SUCRE								
Vereda: Pena Blanca	2,3	0,203	1	0,000	65	0,350	0,184	NINGUNO
Sector: Los Alpes	3	0,284	1	0,000	77	0,230	0,171	NINGUNO
ALBANIA								
Sector: Quebrada Negra	12	0,705	20	0,000	55	0,450	0,385	BAJO
Corregimiento El Hatillo	3	0,284	1	0,000	75	0,250	0,178	NINGUNO

Fuente: La Autora.

*COT: Coliformes Totales

Analizando los resultados obtenidos (tabla 9), se infiere que un bajo grado de contaminación con respecto al ICOMO, es consecuencia directa de un valor alto de la DBO₅, así como el alto grado de contaminación del ICOMO es consecuencia de altos valores de la DBO y un valor bajo del porcentaje de oxígeno. Para lograr que el grado de estas fuentes hídricas abastecedoras sea aceptable, se hace necesario adaptar en el proceso de tratamiento la etapa de aireación para aumentar el porcentaje de oxígeno disuelto y por consiguiente disminuir los valores de la DBO, además se deben implementar las etapas de floculación y filtración, las cuales garantizan la remoción de la materia orgánica.

3.3. ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR SÓLIDOS SUSPENDIDOS (ICOSUS)

Tabla 10. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS).

ACUEDUCTO	SOLIDOS SUSPENDIDOS SS (mg SST/L)	ICOSUS	GRADO DE CONTAMINACION
URBANO-BARBOSA			
Vereda: Buenavista	25	0,055	NINGUNO
Vereda: El amarillo	30	0,070	NINGUNO
Rio Suarez, vereda cristales	500	1,000	MUY ALTO
URBANO- JESUS MARIA			
Sector: Los Alpes	18	0,034	NINGUNO
Sector: Cabrera baja	16	0,028	NINGUNO
URBANO- SUCRE			
Vereda: Pena Blanca	55	0,145	NINGUNO
Sector: Los Alpes	22	0,046	NINGUNO
ALBANIA			
Sector: Quebrada Negra	83	0,229	BAJO
Corregimiento El Hatillo	12	0,016	NINGUNO

Fuente: La Autora

Se observa (Tabla 10) que en el municipio de Barbosa y Albania, las fuentes hídricas abastecedoras del Río Suárez y el corregimiento El Hatillo respectivamente, se ven afectadas por la contaminación por sólidos suspendidos. Para reducir este grado de contaminación se hace necesario el buen funcionamiento en las etapas de floculación y filtración.

3.4. INDICE DE CONTAMINACION POR PH (ICOPH)

Tabla 11. Índice de contaminación por pH (ICOpH).

ACUEDUCTO	pH	14-pH	ICOpH	GRADO DE CONTAMINACION
URBANO-BARBOSA				
Vereda: Buenavista	6,3	7,7	0,011	NINGUNO
Vereda: El amarillo	5,8	8,2	0,058	NINGUNO
Rio Suarez, vereda cristales	5,5	8,5	0,147	NINGUNO
URBANO- JESUS MARIA				
Sector: Los Alpes	5,5	8,5	0,147	NINGUNO
Sector: Cabrera baja	6	8	0,030	NINGUNO
URBANO- SUCRE				
Vereda: Pena Blanca	6	8	0,030	NINGUNO
Sector: Los Alpes	5,5	8,5	0,147	NINGUNO
ALBANIA				
Sector: Quebrada Negra	5,7	8,3	0,080	NINGUNO
Corregimiento El Hatillo	6	8	0,030	NINGUNO

Fuente: La Autora

Como se observa (Tabla 11), el pH está en el rango de valores aceptables. Según ICOpH, el rango de contaminación de estas fuentes hídricas abastecedoras es ninguno. Esto quiere decir que no se presentarán problemas de corrosión en la tubería; sin embargo, se debe realizar el respectivo ajuste de pH según el coagulante a utilizar en la etapa de floculación-coagulación para que esta etapa sea llevada eficientemente.

3.5. ACCIONES REQUERIDAS PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA DE LAS FUENTES HIDRICAS ABASTECEDORAS EN LOS ACUEDUCTOS URBANOS DE LOS MUNICIPIOS DE ESTUDIO DE ACUERDO CON LOS ICOS

En las secciones anteriores se emplearon los ICOS como herramienta de diagnóstico de la calidad de la fuente hídrica antes de su tratamiento. Así mismo, se esbozaron las acciones de tratamiento a efectuar con el ánimo de obtener agua potable. Siendo consecuentes con los alcances de este trabajo se resumen a continuación las estrategias a seguir (Tabla 12) y las unidades de tratamiento requeridas en las plantas de potabilización.

Tabla 12. Tratamiento sugerido después del análisis de los índices de contaminación ICO.

MUNICIPIO	ACUEDUCTO	LOCALIZACION DE LAS BOCATOMAS	TRATAMIENTO SEGÚN ANÁLISIS ICOS
BARBOSA	Urbano	Vereda: Buenavista	AJUSTE DE pH-FLOCULACIÓN- COAGULACIÓN-FILTRACIÓN-DESINFECCIÓN
		Vereda: El amarillo	AJUSTE DE pH-FLOCULACIÓN- COAGULACIÓN-FILTRACIÓN-DESINFECCIÓN
		Rio Suarez, vereda cristales	AIREACIÓN-PRETRATAMIENTO-AJUSTE DE pH-FLOCULACIÓN-COAGULACIÓN-FILTRACIÓN-DESINFECCIÓN
JESUS MARIA	Urbano	Sector: Los Alpes	NO SE HACE NECESARIO TRATAMIENTO CONVENCIONAL NI ESPECÍFICO
		Sector: Cabrera baja	NO SE HACE NECESARIO TRATAMIENTO CONVENCIONAL NI ESPECÍFICO
SUCRE	Urbano	Vereda: Pena Blanca	NO SE HACE NECESARIO TRATAMIENTO CONVENCIONAL NI ESPECÍFICO
		Sector: Los Alpes	NO SE HACE NECESARIO TRATAMIENTO CONVENCIONAL NI ESPECÍFICO
ALBANIA	Urbano	Sector: Quebrada Negra	AJUSTE DE pH-FLOCULACIÓN- COAGULACIÓN-FILTRACIÓN-DESINFECCIÓN
		Corregimiento El Hatillo	NO SE HACE NECESARIO TRATAMIENTO CONVENCIONAL NI ESPECÍFICO

Fuente: La Autora

3.6. UBICACIÓN Y ANÁLISIS DE LA FUENTE HÍDRICA ABASTECEDORA DEL MUNICIPIO ALBANIA, SECTOR QUEBRADA NEGRA POR MEDIO DE ICOSSIST

A continuación se muestra a manera de ejemplo la ubicación en el mapa de Colombia y el análisis de la calidad de la fuente hídrica abastecedora del Municipio de Albania, en el sector Quebrada Negra, haciendo uso del programa ICOSSIST.

3.6.1. Ubicación del punto de muestreo sobre el mapa de Colombia

Para ubicar el punto, utilizamos la opción de *Editor, Comenzar a editar, o, Start Editing*. Al seleccionar esta opción aparece una ventana donde se escoge la base de datos que guardará los registros realizados, para ICOSSIST la base de datos tiene como extensión *.mdb*. Luego seleccionamos la herramienta en forma de lápiz encontrada junto a *Editor*, clic derecho sobre cualquier parte del mapa, clic en la opción, *Absolute xy* que se encarga de la ubicación del punto, e ingresamos las coordenadas planas, para este caso Municipio de Albania, Sector Quebrada Negra, X=1035190 Y=1135650, finalmente, *enter*.

El punto ubicado aparece en color verde con un punto negro en el centro. Para finalizar la ubicación del punto se debe dar clic en la opción de *Editor Stop Editing* (Ver figura 2).

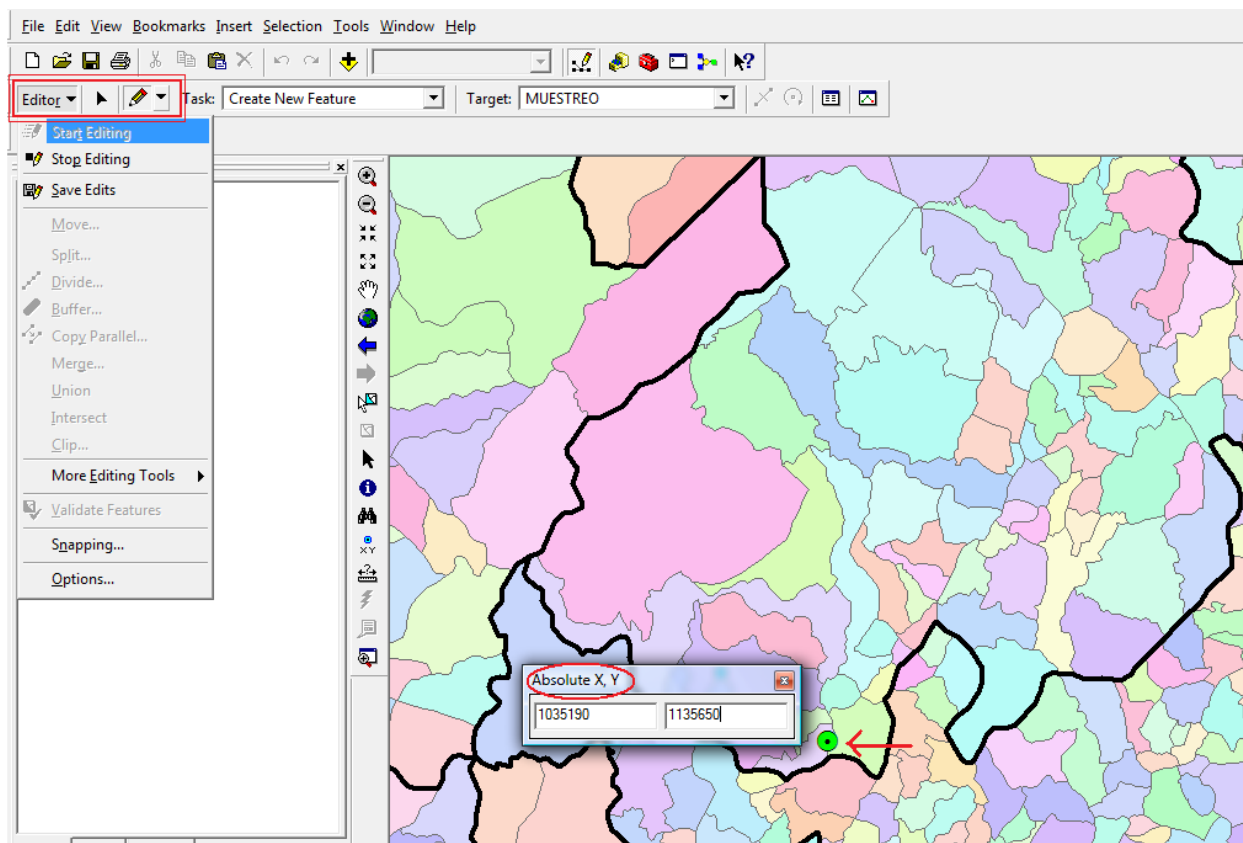


Figura 2. Ubicación Bocatoma Municipio Albania, Sector Quebrada Negra

Fuente: La Autora

3.6.2. Ingreso de los parámetros fisicoquímicos de la bocatoma Sector Quebrada Negra, para el cálculo de los ICOs

Luego de haber ubicado el punto, seleccionamos en la barra de herramientas una figura en forma de *martillo* encerrado en un cuadro, damos clic en el centro del punto e inmediatamente aparecerá una ventana donde se encuentra una *UserForm* con cuatro pestañas correspondientes a cada uno de los cuatro índices objeto de estudio. Antes de ingresar los parámetros en cada una de estas pestañas, debemos hacer clic en la opción de *NUEVO* e ingresar la información requerida (tabla 12), para este caso se observa el índice de contaminación por materia orgánica. Finalmente, clic en el botón *calcular* para la estimación de los ICO. (Figura 3).

Tabla 13. Parámetros requeridos para el cálculo de los ICO, Municipio Albania-Sector Quebrada Negra

Parámetro	Conductividad (μ/cm)	Dureza (mg/l)	Alcalinidad (mg/l)	DBO (mg O ₂ /L)	COT (NMP/100ml)	%O	Solidos Suspendidos (mg SST/l)	pH
Valor	155	30	5	12	20	55	83	5,7

Fuente: La Autora

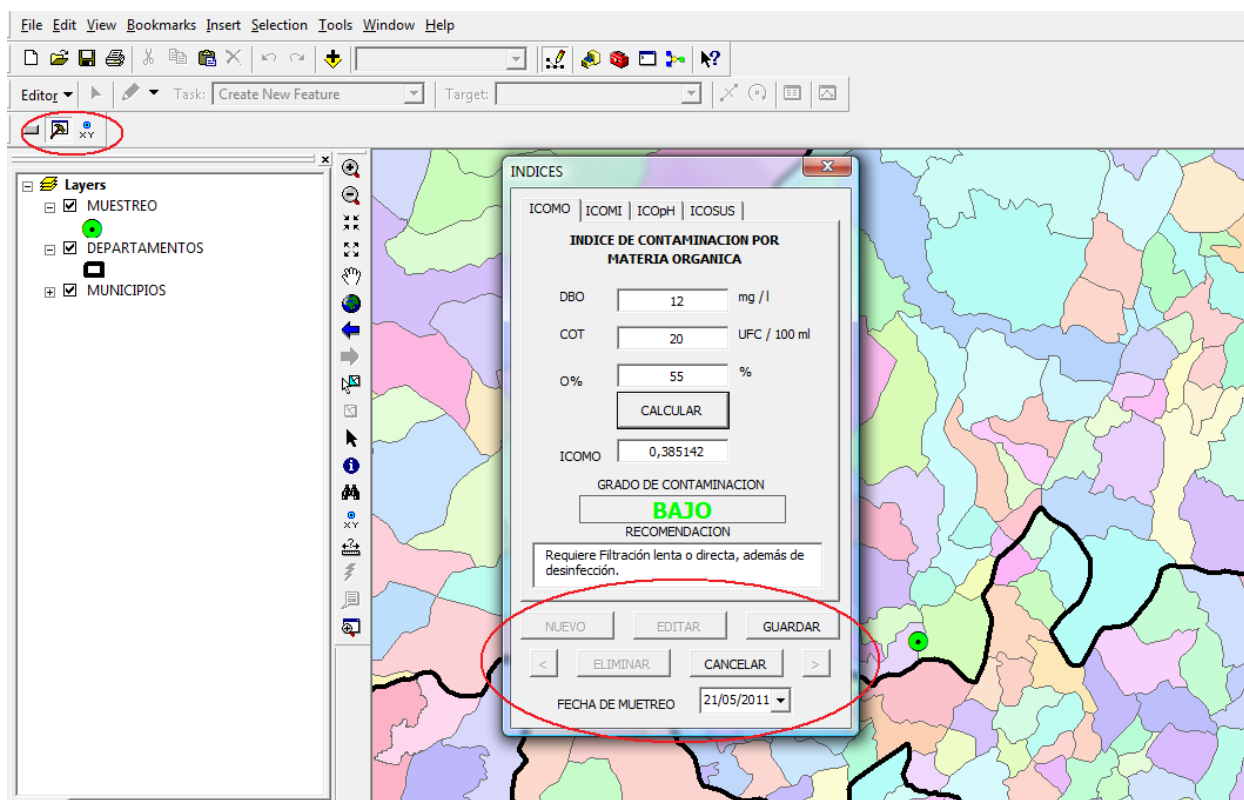


Figura 3. Ingreso de los parámetros fisicoquímicos de la bocatoma Sector Quebrada Negra, para el cálculo de los ICOs

Fuente: La Autora

Como se observa en la figura 3, el programa ICOSIST, además de calcular los ICOs, (en este caso se observa el cálculo del ICOMO que tiene como resultado 0,3851 correspondiente a un grado de contaminación *bajo*), tiene opciones que como sus nombres lo indican, permiten crear nuevos datos, o editar los existentes, eliminarlos o cancelarlos. Adicionalmente permite ingresar la fecha en la que se realizó el muestreo, y la más relevante de todas, permite guardar los datos de todos los muestreos que se realicen en un mismo punto, lo que significa que el usuario puede comparar sus datos con los ya existentes.

Se observa también que el programa ICOSIST muestra una recomendación básica de lo que es necesario hacer para potabilizar el agua, en el caso en el que se decida tomar esta fuente como abastecedora para el municipio, en este caso la recomendación es que si se toma esta fuente como abastecedora, ésta requiere filtración lenta o directa, además de desinfección

5. CONCLUSIONES

- La naturaleza de los Índices de Contaminación, ICOs, es objetiva y consistente, ya que su escala representa de forma satisfactoria la información sobre la calidad del agua, lo que permite una adecuada visualización de los diferentes problemas ambientales en una fuente hídrica.
- Los Índices ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOpH cobran un interés particular, ya que permiten cuantificar el grado de contaminación de las aguas respecto a su condición general y no a contaminantes específicos, así como también conjugan las propiedades fundamentales del agua.
- Los resultados obtenidos de acuerdo a la utilización de los Índices de Contaminación ICOs muestran que las fuentes hídricas abastecedoras del acueducto del casco urbano de los municipios de Barbosa y Albania (en el sector Quebrada Negra) presentan niveles de contaminación de consideración con lo que respecta a la contaminación por mineralización y por materia orgánica.
- Los resultados de este estudio permiten sugerir acciones necesarias para que se realice un tratamiento adecuado de potabilización del agua de dichas fuentes hídricas abastecedoras, además permite tener consideraciones en cuanto a la escogencia de la fuente hídrica que abastecerá al acueducto del casco urbano de los municipios de estudio.
- **ICOSSIST V 1.0**, es un software diseñado para asistir a expertos, académicos, agencias del sector e inclusive al público en general en la evaluación de la calidad del agua de una fuente hídrica abastecedora, con la atenuante de presentar la información de una manera sencilla, amable y fácilmente entendible por los distintos usuarios, en consideración a su marco unificado de criterios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. CONGRESO DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA, PROGRAMA DE FORTALECIMIENTO LEGISLATIVO, OFICINA DE ASISTENCIA TECNICA LEGISLATIVA. Estudio de antecedentes de zonas de páramos. Bogotá D.C. Febrero del 2004. p. 91.
- [2]. JIMENEZ, Mario Alberto; VELEZ, María Victoria, “Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial.” N° 14 (Octubre, 2006); 0121-5701.
- [3]. GENERALIDADES Río Suárez. [Artículo en línea]. [Consultado el 10 de junio de 2011]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Río_Suárez
- [4]. TEBBUT. Fundamentos de control de la calidad del agua. Primera edición. México D. F. Editorial Limusa, 1998.
- [5]. GARCIA OBANDO, Lina Andrea. Monitoreo de la calidad del agua en cursos de agua: ríos y arroyos. Primera edición. Cali: Unidad central del Valle del Cauca, 2009
- [6]. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000. Sección I; Título A. Sección II; Título B, Título C. Bogotá D.C. Noviembre de 2000.
- [7] MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 1575 de 2007. Capítulo I, Art 2. Capítulo IV, Art 12 Bogotá D.C. Mayo de 2007.
- [8]. Ramírez A, y Viña G, “Limnología colombiana. Aportes a su conocimiento y Estadísticas de análisis.” Universidad Jorge Tadeo Lozano, 1998.

[9]. TORRES, Patricia; HERNAN, Camilo; PATIÑO, Paola Janeth, "Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano.," En: Revista Ingenierías. Vol. 8, No. 15 especial (2009); 79-94 - ISSN 1692-3324.

[10]. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE SANTANDER. Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hídrica del Río Fonce. Departamento de Santander. San Gil, Santander, 2010.

[11]. FERNÁNDEZ, Nelson Josué; SOLANO Freddy, "Índices de calidad del agua e Índices de contaminación.," 1^{ra} Edición. Universidad de Pamplona, 2005. ISBN 958-33-7810-0.

[12]. IDEAM, 2000. Estudio Nacional del Agua. [Consultado el 3 de Junio de 2001]. Disponible en: www.ideam.gov.co

[6] MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 de 2007. Capítulo II, art. 2, art. 5, art. 6, art. 7, art. 9. Capítulo III, art. 11. Capítulo IV, art. 13, art. 14, art.15. Bogotá D.C. Junio 22 de 2007.

ANEXOS

ANEXO 1. MANUAL DE EJECUCION DEL PROGRAMA ICOSSIST V 1.0.

A continuación, se describe el manual de ejecución del programa ICOSSIST V 1.0, que fue realizado con ayuda del software ArcGIS 9.3, por medio de su herramienta *Visual Basic Editor*.

ICOSSIST V 1.0 es un programa que permite crear y visualizar sobre el mapa de Colombia, los puntos donde se realizó el muestreo, además sobre dichos puntos, calcula el grado de contaminación que presenta una fuente hídrica abastecedora, empleando como descriptores los Índices de Contaminación, ICOs, desarrollados por Ramírez y Viña (1998) y adoptados por la limnología colombiana.

Se espera que este software sea empleado como herramienta para identificar aquellas fuentes abastecedoras que requieren un menor tratamiento de potabilización. Finalmente, esta herramienta propone las unidades necesarias para el respectivo tratamiento de potabilización de una fuente abastecedora, según sea su grado de contaminación.

A1.1. ASPECTOS METODOLÓGICOS.

ICOSSIST V 1.0 fue programado en ArcGIS 9.3 ®, haciendo uso de su herramienta *Visual Basic Editor*, a partir de una metodología de desarrollo orientada a componentes. Cada uno de los índices, así como todas sus contemplaciones en cuanto a escala de color y sugerencias respecto al tipo de tratamiento para la fuente hídrica, se programó y perfeccionó por separado debido a la escasa homogeneidad de sus formas de cálculo y tipo de información disponible.

Los componentes fueron ensamblados en un solo paquete de software capaz de utilizar rutinas como el cálculo separado de los índices de contaminación, ICOs.

A1.2. DESCRIPCIÓN DE ICOSSIST V 1.0

ICOSSIST V 1.0 está diseñado para correr bajo cualquier plataforma de *Windows* y permite introducir, modificar, eliminar y guardar datos analíticos correspondientes a los valores de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos requeridos para el cálculo de los Índices de Contaminación, ICOs.

ICOSSIST V 1.0 también permite al usuario ubicar por medio de coordenadas planas, el punto donde se realizó el muestreo así como su visualización en el mapa de Colombia (Figura A 1).

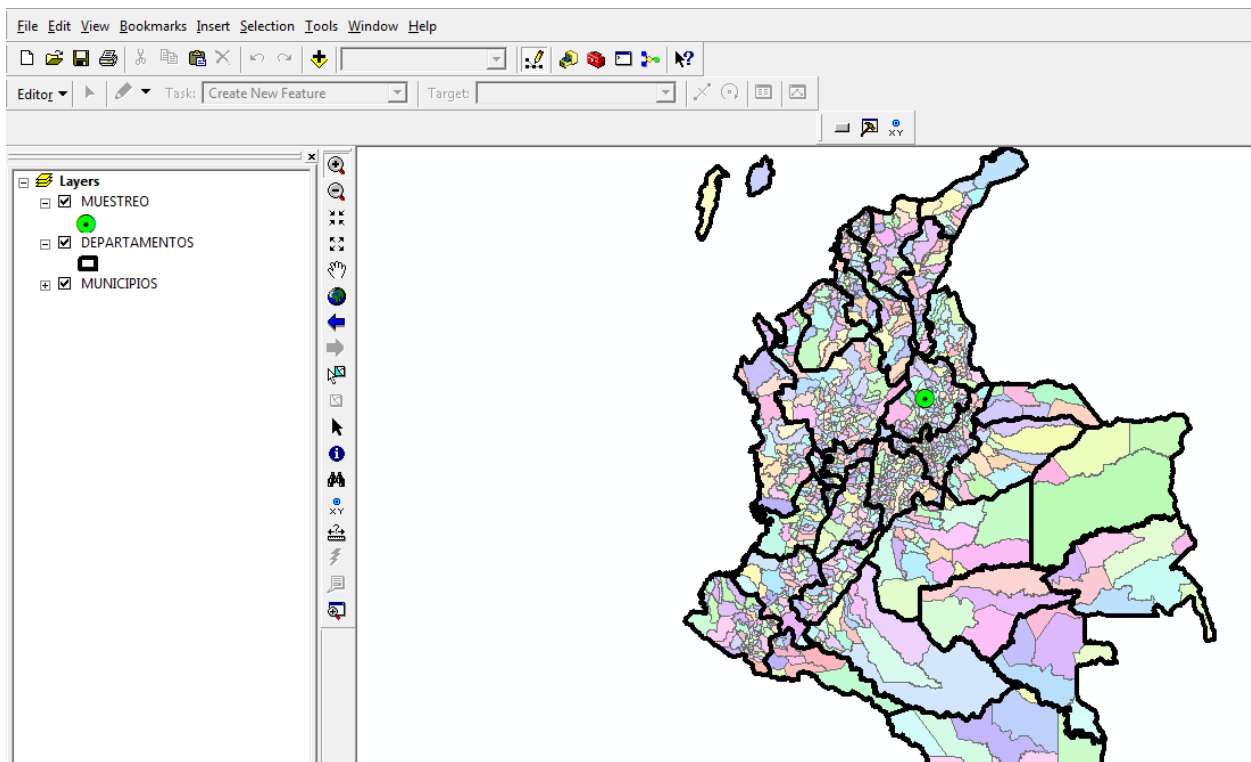


Figura A 1. Visualización de puntos de muestreo

Fuente: La Autora

A1.3. EJECUCIÓN ICOSSIST V 1.0

A continuación se describen los pasos a seguir necesarios para el uso y buen funcionamiento del programa ICOSIST V 1.0.

A1.3.1. Creación de puntos de muestreo.

Gracias a que ICOSIST V 1.0 se realizó con el programa ArcGIS, podemos hacer uso de las herramientas de este último, en este caso, para la ubicación de los puntos donde se realizaron los respectivos muestreos, hacemos uso de la herramienta *Editor* (ubicada en la barra de herramientas). Para ubicar un punto de muestreo sobre el mapa, utilizamos la opción de editor *Comenzar a editar* o *Start Editing* (ver Figura A 2), al seleccionar esta opción aparece una ventana donde se escoge la base de datos que guardara los registros realizados, para ICOSIST la base de datos tiene como extensión *.mdb*. Luego seleccionamos la herramienta en forma de lápiz encontrada junto a *Editor*, clic derecho sobre cualquier parte del mapa, opción *Absolute xy* (ver Figura A 2), ingresamos las coordenadas planas y finalmente clic *enter*. El punto ubicado aparece en color verde con un punto negro en el centro. Se debe finalizar la ubicación del punto dando clic en la opción *Stop Editing* de *Editor*.

Para eliminar un punto ya ubicado, nuevamente clic en la opción *Start Editing*, en este caso seleccionamos la figura en forma de flecha ubicada en la barra de herramientas de *Editor*, seleccionamos el punto y luego lo borramos, hay que recordar que se debe finalizar dando clic en la opción *Stop Editing* de editor.

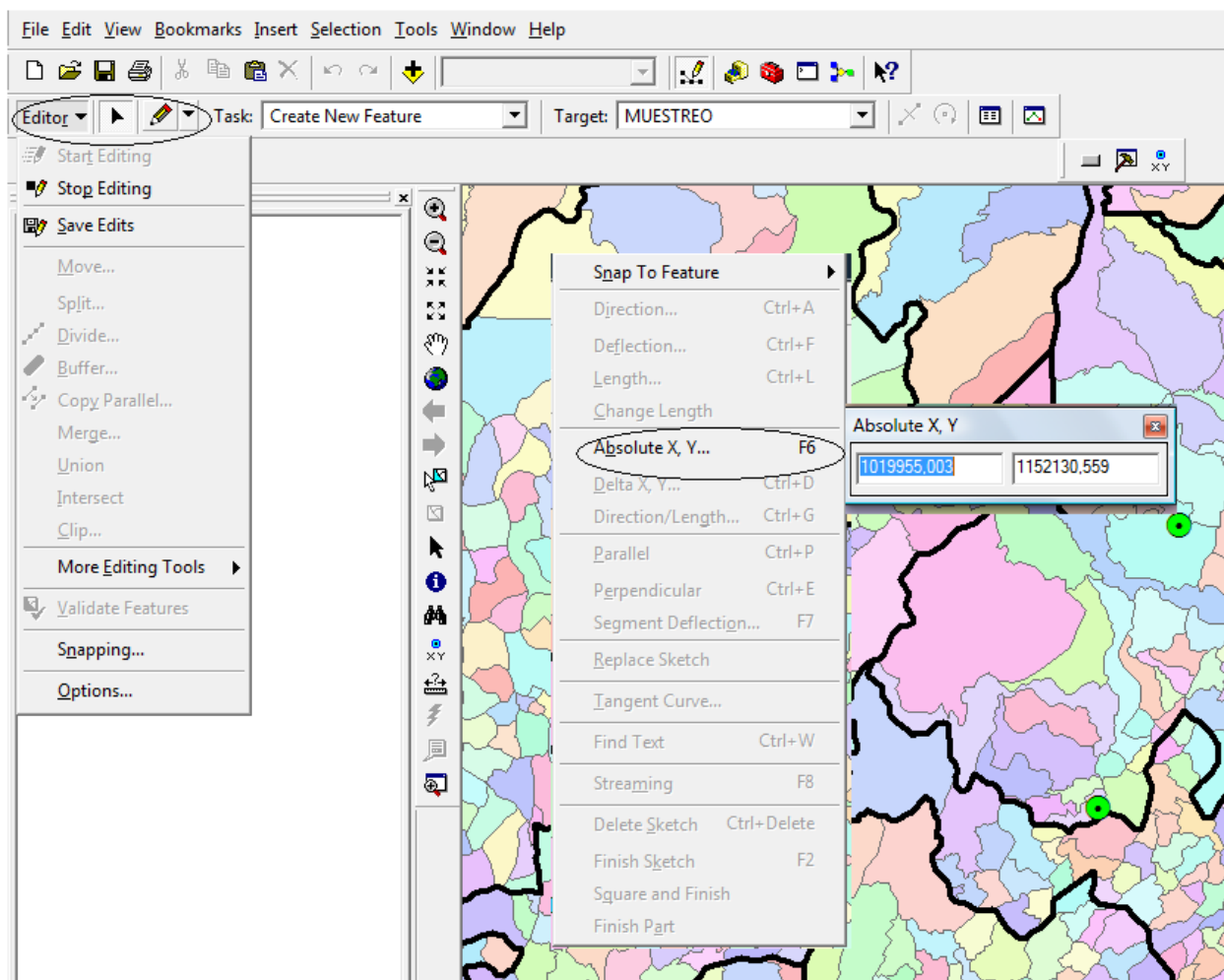


Figura A 2. Creación puntos de muestreo

Fuente: La Autora

A1.3.2. Ingreso de los parámetros físico-químicos necesarios para el cálculo de los ICO.

En la barra de herramientas, se encuentra una figura en forma de *martillo* encerrado en un cuadro (ver Figura A 3), luego de tener ubicado el punto, seleccionamos dicha herramienta y damos clic en el centro del punto. Inmediatamente aparecerá una ventana donde se encuentra una *UserForm* con cuatro pestañas correspondientes a cada uno de los cuatro índices objeto de estudio. Antes de ingresar los parámetros en cada una de estas pestañas, debemos hacer clic en la opción de *NUEVO* en cada una de estas pestañas, luego el usuario deberá registrar la información necesaria

(parámetros fisicoquímicos y microbiológicos) para el cálculo de los índices de contaminación ICOs, finalmente, clic en el botón *Calcular* para la estimación de éstos.

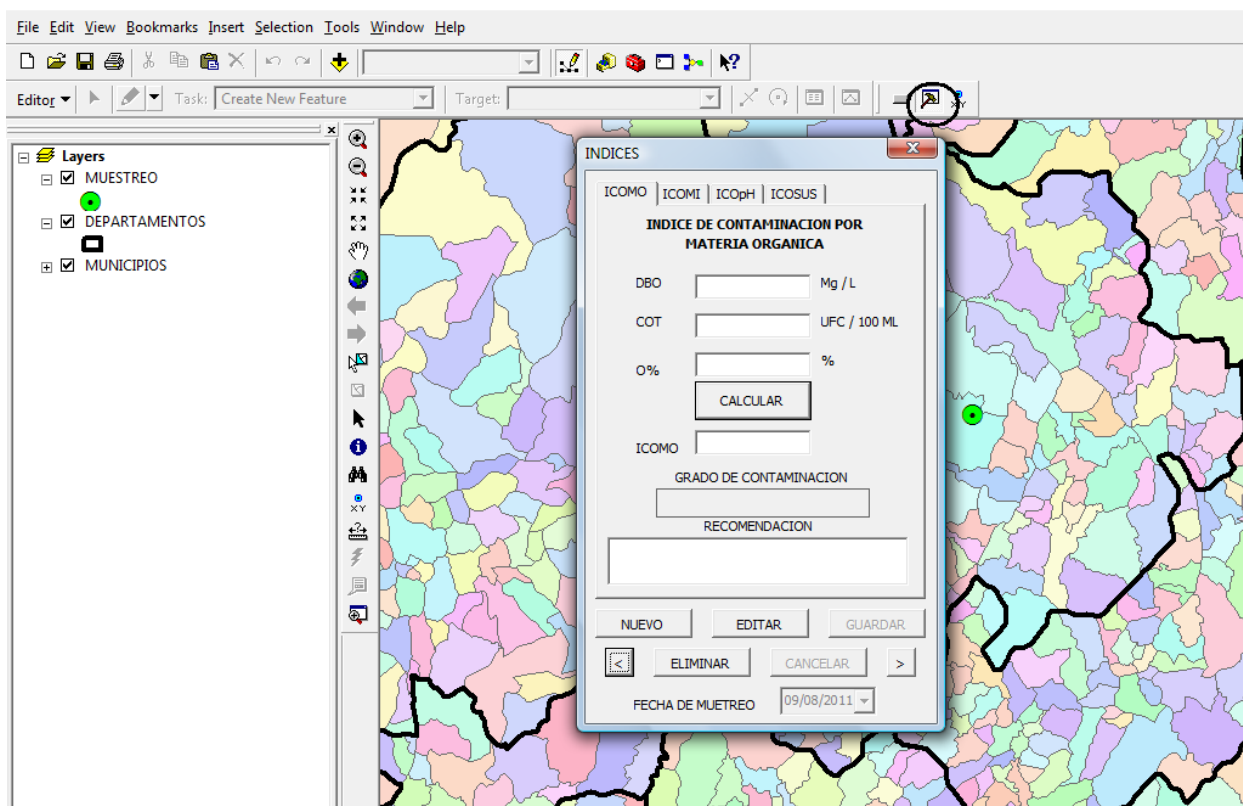


Figura A 3. Ingreso Variables necesarias para cálculo de los ICOs

Fuente: La Autora

A1.3.3. Cálculos y resultados de los Índices de Contaminación ICOs

Luego de ingresar los parámetros requeridos para el respectivo cálculo de los ICOs, el programa ICOSIST V 1.0 plasma el resultado en la *UserForm* y además genera un cuadro de dialogo, donde, se observa la escala y grado de contaminación de acuerdo con el índice que se esté calculando, así como una breve descripción o recomendación de lo que se debe hacer para potabilizar la fuente hídrica en el caso que se quiera tomar como bocatoma.

También podemos ingresar la fecha del muestreo, así como hacer cambios a los datos ingresados como cancelar, editar, eliminar, y guardar los que consideremos están listos

para que en el futuro se puedan comparar con otros datos de muestreo que se realicen sobre el mismo punto.

En la Figura A 4, podemos observar un ejemplo del cálculo del índice de contaminación por sólidos suspendidos ICOSUS, así como la descripción hecha anteriormente.

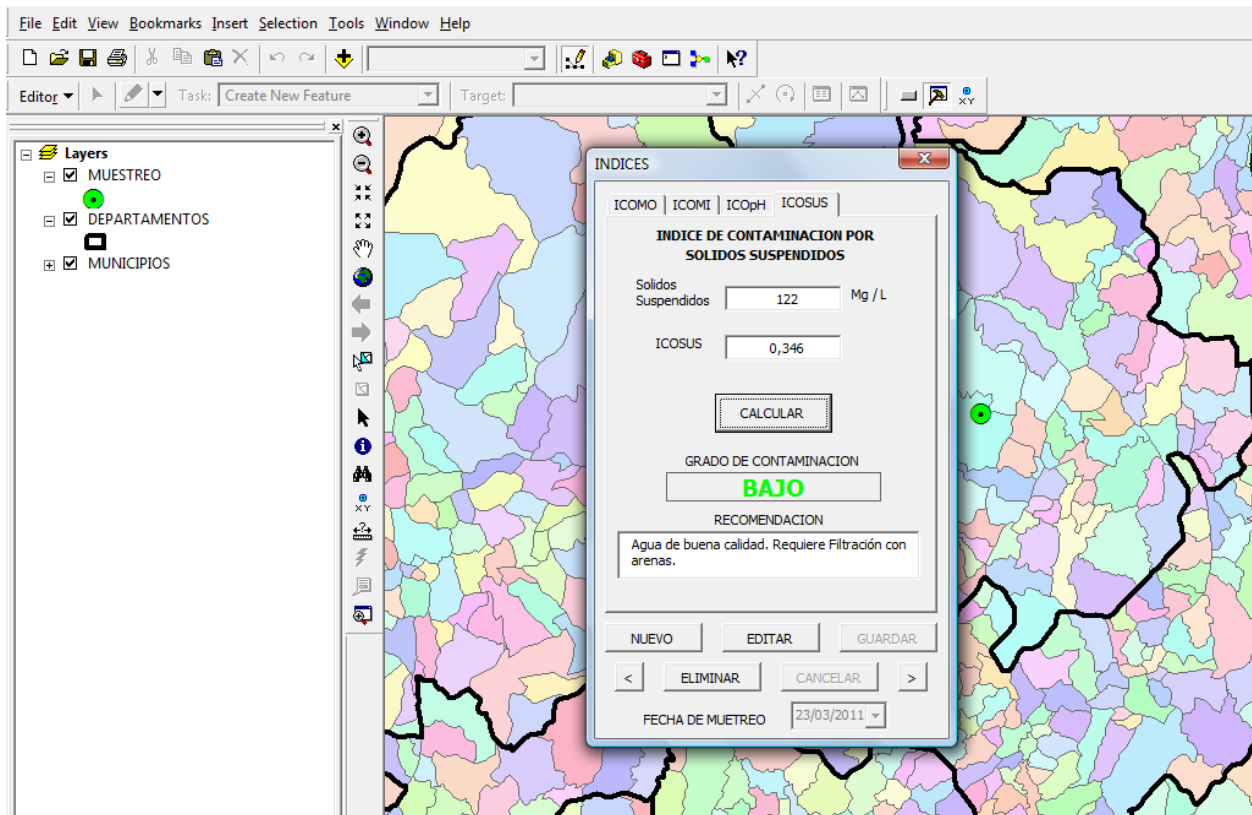


Figura A 4. Ejemplo cálculo y resultado del ICOSUS por medio del programa ICOSIST

Fuente: La Autora

Finalmente, si queremos guardar los datos y cálculos hechos por el programa ICOSIST sobre un punto establecido, simplemente damos la opción *guardar*. Se debe tener en cuenta que al cerrar el programa, aparece una caja de dialogo donde pregunta *si desea guardar los cambios hechos*, si se está seguro de los cambios o de haber ingresado correctamente los datos, variables y demás parámetros utilizados, entonces damos clic en la opción *yes o sí*.