

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA SISTEMATIZADA  
EMPLEANDO EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) PARA DETERMINAR EL  
DETERIORO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DE LOS VERTIMIENTOS DEL RÍO  
SUÁREZ ZONA COMUNERA**

**LIZETH OFELIA BALLESTEROS GALVIS  
LILIANA CONSUELO PEROSA BELTRÁN**

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

**2014**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA SISTEMATIZADA  
EMPLEANDO EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) PARA DETERMINAR EL  
DETERIORO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DE LOS VERTIMIENTOS DEL RÍO  
SUÁREZ ZONA COMUNERA**

**LIZETH OFELIA BALLESTEROS GALVIS  
LILIANA CONSUELO PEROSA BELTRÁN**

Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero Químico

Director:

**Luis Javier López Giraldo  
Ingeniero Químico**

Universidad Industrial de Santander

Codirector:

**Salomón Gualdrón Rueda  
Químico Especialista**

Corporación de Tecnologías Ambientales Sostenibles, CTAS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS  
ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2014**

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.*

*A mi madre y padre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional.*

*A mi hermana Tatiana por ser el ejemplo de una hermana mayor, por apoyarme en cada momento de mi vida y a la cual amo mucho.*

*A mi compañera, Liliana por su paciencia, cariño y por el gran equipo que formamos, haciendo juntas que este gran proyecto se culminara con éxito.*

*A mi novio Luis Miguel por siempre estar a mi lado, por realizar los sueños juntos y por su gran amor.*

*A mis amigos Yaritza, Silvia, Tatiana, Sergio y Rodrigo porque siempre están en los mejores momentos de mi carrera brindándome sus risas, su cariño como grandes hermanos.*

*Lizeth Ofelia Ballesteros Galvis*

## **DEDICATORIA**

*A Dios, por darme la fuerza y permitir la presencia de personas especiales en mi vida.*

*A mis padres por su amor y confianza.*

*A mis hermanos.*

*A José Gabriel por su amor y paciencia.*

*A mis amigos.*

*Liliana Consuelo Perosa Beltrán*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a la Corporación de Tecnologías Ambientales Sostenibles, CTAS, por habernos permitido realizar esta práctica empresarial.

A Luis Javier, Ingeniero Químico, director del proyecto, por permitirnos trabajar con él, y su colaboración.

A Salomón Gualdrón, Químico Especialista, por la orientación brindada en la ejecución de este proyecto y por el tiempo dedicado.

Agradecemos a la Universidad Industrial de Santander, que contribuyó en nuestra formación como profesionales.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	20
1. MARCO TEÓRICO .....	22
1.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERIZACIÓN DEMOGRÁFICA DE LAS ZONAS DE MUESTREO.....	22
1.1.1 Ubicación geográfica.....	22
1.1.1.1 Situación de la cuenca.....	22
1.1.2 Caracterización demográfica.....	22
1.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS MUNICIPIOS Y DESCRIPCIÓN DE LOS VERTIMIENTOS.....	23
1.2.1 Municipio de Galán.....	23
1.2.2 Municipio El Hato.....	24
1.2.3 Municipio El Palmar.....	25
1.3 MARCO NORMATIVO.....	26
1.4 PARÁMETROS SELECCIONADOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA DE LOS VERTIMIENTOS UBICADOS EN LOS MUNICIPIOS DE GALAN, HATO Y PALMAR.....	29
2. METODOLOGÍA .....	32
2.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.....	33
2.2 TOMA DE MUESTRAS CON BASE EN LA NTC-ISO 5667-10.....	34
2.3 PRUEBAS <i>IN SITU</i> .....	35
2.4 PRUEBAS <i>EX SITU</i> .....	35
2.4.1 Pruebas realizadas en el laboratorio.....	35
2.5 CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA.....	35
2.5.1 Descripción de las diferentes clasificaciones de la calidad del agua.....	37
2.6 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA ICAR.....	37
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	39
3.1 MUNICIPIO DE GALÁN.....	40

3.1.1 Chitaraque.....	40
3.1.2 Romera y PTAR.....	40
3.2 MUNICIPIO EL HATO.....	42
3.2.1 PBA.....	42
3.2.2 PTAR.....	42
3.3 MUNICIPIO EL PALMAR.....	43
4. CONCLUSIONES .....	44
5. RECOMENDACIONES.....	45
BIBLIOGRAFÍA.....	46

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de población por municipio.....	23
Tabla 2. Valores máximos permisibles para los vertimientos que pueden ser susceptibles a potabilización.....	27
Tabla 3. Límites permisibles para los diferentes usos de las aguas superficiales.	28
Tabla 4. Parámetros y ponderaciones aplicadas en el cálculo de ICA Rojas .....	31
Tabla 5. Posición geográfica de las zonas de muestreo.....	34
Tabla 6. Métodos empleados para el análisis de las muestras.....	35
Tabla 7. Ecuaciones de cada parámetro para el cálculo del ICA Rojas.....	36
Tabla 8. Clasificación de la calidad y color representativo del agua con el ICA Rojas.....	37
Tabla 9. Valores empleados para el cálculo del ICA Rojas municipio Galán.....	41
Tabla 10. Valores empleados para el cálculo del ICA Rojas municipio Hato.....	42
Tabla 11. Valores empleados para el cálculo del ICA Rojas municipio El Palmar.	43

## LISTA DE FIGURAS

Figura1. Metodología utilizada. ....	33
Figura 2. Cálculo del ICA en el vertimiento la PTAR municipio de Galán.....	39

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. MANUAL DE EJECUCION DEL PROGRAMA ICAR .....	49
--	----

## GLOSARIO

**AGUAS RESIDUALES:** también llamadas “aguas negras”. Son las contaminadas por la dispersión de desechos humanos, procedentes de los usos domésticos, comerciales o industriales.

**AGUAS SERVIDAS:** son las aguas residuales domésticas y que son el resultado de las actividades cotidianas de las personas.

**AGUAS SUBTERRÁNEAS:** son aguas situadas por debajo de la superficie del suelo en los espacios porosos del suelo y en las fracturas de las formaciones rocosas.

**AGUAS SUPERFICIALES:** son las aguas continentales que se encuentran en la superficie de la Tierra.

**ArcGIS:** es el nombre de un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o **SIG**. Producido y comercializado por ESRI, bajo el nombre genérico ArcGIS se agrupan varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica.

**CARCAVAMIENTOS:** es un fenómeno de erosión hídrica que por infiltración y escurrimiento superficial va degradando el suelo hasta formar grandes surcos, formando túneles subsuperficiales y hundimiento del suelo, a la vez que las áreas afectadas quedan desprovistas de vegetación.

**CHIRCAL:** lugar donde se moldea la arcilla para cocinarla y así producir ladrillos, tejas y baldosas de este material.

**COLIFORMES FECALES:** son bacterias que se encuentran en los intestinos de los humanos y de algunos animales de sangre caliente y se transmiten por medio de los excrementos.

**CUENCA HIDROGRÁFICA:** territorio definido por la existencia de la división geográfica principalmente por aguas superficiales, conformando un sistema interconectado de cauces secundarios que convergen en un cauce principal.

**DBO<sub>5</sub>:** medida de la cantidad de oxígeno consumido en el proceso de degradación de la materia orgánica presente en un cuerpo de agua.

**Has:** abreviación de hectáreas.

**ICA:** índice de Calidad del agua.

**ICAm:** índice de Calidad del Agua multiplicativo.

**NMP:** número muy probable.

**OXÍGENO DISUELTO (OD):** es la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, el cual es indispensable para que en los ríos se desarrolle la vida animal y vegetal.

**pH:** permite determinar si una sustancia es ácida, neutra o básica. El pH puede verse afectado debido a actividades humanas, derrames químicos, efluentes de aguas residuales, drenajes agrícolas, agua lluvia y por el intercambio de CO<sub>2</sub> con el aire.

**REPTACIÓN:** corrimiento del suelo debido a la inestabilidad del terreno y la gravedad.

**SÓLIDOS SUSPENDIDOS:** describe a la materia orgánica e inorgánica particulada existente en el agua.

**SOLIFLUXIÓN:** Proceso geomorfológico que tiene que ver con el desplazamiento masivo y lento por gravedad de formaciones arcillosas sobre terreno estable.

**TURBIEDAD:** Es el aspecto que ofrece un líquido a causa de la presencia de materias en suspensión.

**UNT:** unidades nefelométricas de turbiedad.

**VERTIMIENTO:** descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido.

**VERTIMIENTOS PUNTUALES:** el que se realiza a partir de un medio de conducción, del cual se puede precisar el punto exacto de descarga al cuerpo de agua, al alcantarillado o al suelo.

## RESUMEN

**TÍTULO:** DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA SISTEMATIZADA EMPLEANDO EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) PARA DETERMINAR EL DETERIORO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DE LOS VERTIMIENTOS DEL RÍO SUÁREZ ZONA COMUNERA.\*

**AUTORES:** Lizeth Ofelia Ballesteros Galvis, Liliana Consuelo Perosa Beltrán.\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Aguas servidas, Índice de Calidad del Agua, Autodepuración, ArcGIS.

### DESCRIPCIÓN:

Entre las razones de la contaminación de los cuerpos de agua se encuentran el vertimiento sin tratamiento de aguas servidas, doméstico, industrial y pecuario.

Por lo tanto se hace indispensable identificar cuáles son los vertimientos que contribuyen directamente con el deterioro de una fuente hídrica y observar cuales son los principales elementos contaminantes que afectan sus propiedades fisicoquímicas, para así poder plantear soluciones que permitan disminuir el grado de afectación. Para determinar el deterioro de las aguas superficiales, una de las herramientas de diagnóstico rápido empleadas es el Índice de Calidad del Agua (ICA), ésta permite determinar la calidad de la fuente hídrica mediante variables fisicoquímicas y microbiológicas, y la información resultante es de fácil interpretación permitiendo clasificar el agua en óptima, buena, aceptable inadecuada y pésima.

En este trabajo se analizaron los vertimientos de tres municipios Galán, Hato y Palmar ubicados en la zona comunera del departamento de Santander utilizando el ICA Rojas [15]. Mediante el plan de manejo de vertimientos fue posible identificar los puntos que tienen influencia directa con el río Suárez y el nivel de deterioro que presentan. En la mayoría de los vertimientos se obtuvo un ICA aceptable debido a que el terreno por el que discurren contribuye con la autodepuración del agua, y las PTAR serían más eficientes si se realizara limpieza de los equipos.

Además se realizó el desarrollo de una herramienta informática por medio del programa ArcGIS que permite ubicar los puntos de muestreo en un mapa, guardar información y mostrar los resultados del ICA Rojas [15] mediante el ingreso de los parámetros fisicoquímicos obtenidos de pruebas (*in-situ*) y (*ex-situ*). Los parámetros fisicoquímicos considerados en el cálculo de los ICA's fueron Oxígeno disuelto, DBO<sub>5</sub>, Sólidos suspendidos, pH, Coliformes fecales y Turbiedad.

---

\* Práctica 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:** DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A SYSTEMATIC TOOL USING THE WATER QUALITY INDEX (ICA) FOR DETERMINING THE DETERIORATION OF THE SURFACE WATER FROM THE SUAREZ RIVER COMUNERA ZONE\*

**AUTHOR:** Lizeth Ofelia Ballesteros Galvis, Liliana Consuelo Perosa Beltrán.\*\*

**KEY WORDS:** Sewage, Water Quality Index, Self-Filtering, ArcGIS.

### DESCRIPTION:

Among the reasons for the contamination of water bodies is found the wastewater discharge without sewage, domestic, industrial and cattle treatment.

For this reason, it is essential to identify which are the wastewater discharges that contribute directly with the deterioration of an hydraulic source, and to observe which are the main contaminating elements that affect its physicochemical properties in order to suggest solutions that let to decrease the level of affectation. To determine the surface water deterioration, one of the fast diagnosis tools employed is the water Quality Index (ICA), this one lets to determine the quality of the hydraulic source throughout physicochemical and microbiological variables, and the resulting information can be easily interpreted letting to classify the water into optimal, good, acceptable inappropriate and awful.

In this work, it was analyzed the wastewater discharges from three towns Galan, Hato And Palmar located in the comunera zone from the Santander department using the ICA Rojas [15]. By means of the wastewater discharge management plan, it was possible to identify the points that have direct influence with the Suárez river and the deterioration level that they show. In the majority of wastewater discharges, it was obtained an acceptable ICA because the land, in which they pass, contributes with the water self-filtering and the PTAR would be more efficient if a cleaning equipment was made.

Furthermore, the development of an informatic tool was made through the ArcGIS program that lets to locate the sampling points in a map, to save information and to show the results of the ICA Rojas [15] through the entry of the physicochemical criteria obtained in the (*in-situ*) and (*ex-situ*) tests. The physicochemical criteria considered in the ICA's calculation were Mixed oxygen, DBO<sub>5</sub>, Suspended solids, pH, Fecal coliforms and Turbidity.

---

\* 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

Las fuentes de agua superficial son el eje de desarrollo de los seres humanos que permiten el abastecimiento para las diferentes actividades socioeconómicas llevadas a cabo en los asentamientos poblacionales. No obstante, de forma paradójica muchas de estas actividades causan alteración y deterioro de las mismas. En general, las aguas superficiales están sometidas a contaminación natural (arrastre de material particulado y disuelto y presencia de materia orgánica natural –MON–) y de origen antrópico (descargas de aguas residuales domésticas, escorrentía agrícola, efluentes de procesos industriales, entre otros) [17].

El gobierno nacional, a través del Decreto 1594 de 1984 se obliga a desarrollar planes que permitan mitigar el impacto negativo que originan las aguas servidas a los cauces naturales; así cada municipio implementa el plan de manejo de vertimientos el cual consta de programas, proyectos y actividades necesarias para avanzar en el saneamiento y tratamiento de los vertimientos. Además de garantizar que las aguas se encuentren dentro de los parámetros establecidos y esta información vincularla con el plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica para prevenir el deterioro y restaurar la cuenca hidrográfica.

Este trabajo de aplicación se desarrolló con base en las prácticas desarrolladas por la Corporación de Tecnologías Ambientales Sostenibles, (CTAS), y la Corporación de Áreas Naturales Protegidas, (ANP), las cuales están direccionadas por la Corporación Autónoma Regional de Santander, (CAS) que recolectó información para el plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica del río Suárez. Con base en la información recopilada por las instituciones anteriormente mencionadas fue posible identificar los puntos de vertimiento críticos en los municipios de Galán, El Hato y El Palmar y seguidamente, evaluar los parámetros fisicoquímicos que tienen una incidencia directa sobre la calidad del agua del río Suárez. Esto se logró mediante la

evaluación de los índices de calidad del agua (ICA), cuyo uso es cada vez más popular para identificar las tendencias integradas a cambios en la calidad de ella, especificar condiciones ambientales y ayudar en decisiones gubernamentales y en la evaluación de programas de control ya que los índices de calidad consideran indicadores representativos que garantizan un análisis integral del recurso.

Los ICAS's han ratificado su importancia en Colombia gracias a que ha sido posible determinar la calidad del río Cauca y sus tributarios en su valle alto donde se aplicaron los siguientes índices: ICA de la de la fundación de Sanidad Nacional de los Estados Unidos (ICA-NSF) [14], ICA de la Compañía Ambiental del Estado de Sao Paulo (ICA- CETESB) [1], ICA Rojas [15] e ICA Dinius [19], con los que fue posible identificar el deterioro creciente del río Cauca a medida que es afectado por las actividades socioeconómicas desarrolladas en su cuenca, presentando calidad entre regular y mala, haciendo necesario su tratamiento para destinación del recurso en consumo humano. Posteriormente, se adaptó un índice de calidad del agua a las condiciones específicas del río Cauca, denominado ICAUCA [6]. También a la quebrada La Ayurá, Antioquia, le fue aplicada los ICA-NSF [14] e ICA Dinius [19]. El empleo de esta metodología permitió conocer el estado fisicoquímico y determinar que el deterioro presente en la quebrada es consecuencia de la actividad antrópica existente en inmediaciones de los sitios de muestreo [20].

Con base en lo expuesto, en este trabajo se aplicó el ICA Rojas [15] el cual es un ajuste del ICA-NSF para ríos colombianos, que permite realizar un diagnóstico de la calidad del recurso hídrico. Para el cálculo del índice se creó una rutina de cálculo en el software ICAR que permitió un cálculo rápido del índice de calidad del agua así como la ubicación del lugar de muestreo en el mapa de Colombia; así mismo, el software fue provisto de cuadros de diálogo en los que se hacen observaciones y se proponen opciones de tratamiento que minimizan el grado de afectación de la fuente hídrica analizada.

## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERIZACIÓN DEMOGRÁFICA DE LAS ZONAS DE MUESTREO**

#### **1.1.1. Ubicación geográfica**

El río Suárez nace en la laguna de Fúquene, entre los límites de los departamentos de Boyacá y Cundinamarca. La cuenca tiene una extensión de 982.092 Has de las cuales 403.092 Has, es decir el 41 % del área total de la cuenca, se encuentra en territorio Santandereano. El río Suarez recibe al río Fonce después que este ha pasado por San Gil y se une posteriormente con el río Chicamocha cuyas vertientes conforman el río Sogamoso (confluencia Suarez-Chicamocha), presenta una altura máxima de 3.700 m y mínima de 700 m.

El caudal medio multianual es de 195 m<sup>3</sup>/s. Las principales subcuencas corresponden a los ríos Oibita, Lenguaruco, Cochineru y Ubaza en el departamento de Santander [4].

#### **1.1.1.1 Situación de la cuenca**

Actualmente, la cuenca del río Suárez presenta problemas de deforestación debido a la ampliación de la frontera agrícola y ganadera; el uso incorrecto de los suelos, la inadecuada o inexistente recolección, tratamiento y disposición de los residuos líquidos y sólidos que son vertidos a los cuerpos hídricos y generan problemas de salubridad y de calidad del agua en varias regiones. En el área del río Suárez se presentan cárcavamientos, presencia de surcos y fenómenos de solifluxión, deslizamientos, reptación, entre otros, debido al mal manejo de los suelos en cultivos y pastizales, actividades mineras y precipitaciones.

#### **1.1.2 Caracterización demográfica**

Debido a la diversidad del clima en la cuenca del río Suárez, las actividades económicas son variadas, como la agricultura, ganadería, trapiches, chircales, el aprovechamiento de la tierra y del material de arrastre del río.

La población en la cuenca hidrográfica del río Suárez, en el Departamento de Santander es de 223.148 habitantes distribuidos en 30 municipios. A continuación se muestra la cantidad de habitantes ubicados en la zona comunera donde se estudiarán y caracterizarán los vertimientos de los municipios de Galán, El Hato y El Palmar (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Distribución de población por municipio.

PROVINCIA	MUNICIPIO	POBLACIÓN CABECERA	POBLACIÓN RURAL	POBLACIÓN TOTAL
COMUNERA	Socorro	23.455	5.892	29.347
	Oiba	4.770	6.324	11.094
	Contratación	2.907	989	3.896
	Suaita	1.943	8.883	10.826
	Guadalupe	1.674	3.755	5.429
	Simacota	2.263	6.418	8.691
	<b>Galán</b>	<b>738</b>	<b>2.082</b>	<b>2.820</b>
	<b>Hato</b>	<b>774</b>	<b>1.621</b>	<b>2.395</b>
	<b>Palmar</b>	<b>866</b>	<b>2.104</b>	<b>2.970</b>
	Chima	833	2.451	3.284
	Gambita	422	4.694	5.116
	Guapota	506	1.739	2.245
	Confines	376	2.378	2.754
	El Guacamayo	418	1.821	2.239
	Palmas del Socorro	642	1.761	2.403
<b>TOTAL</b>	<b>15 Municipios</b>	<b>42.587</b>	<b>52.912</b>	<b>95.509</b>

Fuente: Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica del río Suárez, departamento de Santander [4].

## 1.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS MUNICIPIOS Y DESCRIPCIÓN DE LOS VERTIMIENTOS

**1.2.1 Municipio de Galán:** Colinda por el norte con el municipio de Zapatoca separados por la quebrada Pao, por el sur con el municipio de Palmar y el municipio El Hato utilizando como línea de separación la quebrada la Chirigua, por el oriente con los municipios de Barichara y Cabrera, separados por el cañón del río Suárez y por el occidente con los municipios de San Vicente de Chucurí y El Carmen de Chucurí, siendo línea divisoria la parte más alta de la serranía de los Yariagués.

### **Vertimiento Chitaraque**

La descarga se realiza a través de un tubo PVC de 10" de diámetro. Dicho vertimiento se encuentra en el sector del barrio La Floresta en un área rocosa con pendientes medias, rodeada de arbustos y una granja porcina y caprina. En el punto de vertimiento las aguas residuales caen directamente en el suelo generando una escorrentía en el terreno [3].

### **Vertimiento La Romera**

Se encuentra localizado en una quebrada con relieve boscoso. El punto de vertimiento presenta a su alrededor vegetación arbustiva y especies arbóreas. La salida de este vertimiento es un tubo PVC de 10" de diámetro y la descarga se hace directamente a la quebrada La Romera. Los sectores que hacen la mayor descarga en estos vertimientos son el barrio La Floresta, el hospital y sector Las Cuatro [3].

### **Vertimiento planta de tratamiento de aguas residuales**

La planta con que cuenta el municipio de Galán es un reactor anaerobio UASB. En esta planta se concentra el 70% de las aguas servidas del casco urbano del municipio, está ubicada aproximadamente a 1km del perímetro urbano, el vertimiento a la salida de la planta de tratamiento es recibido por un caño denominado La Majuana a 5 m de la planta [3].

**1.2.2 Municipio El Hato:** La cabecera municipal limita al norte con el municipio de Galán, al sur con el municipio de Simacota, al oriente con el municipio de Palmar y al occidente con el municipio de El Carmen. A este municipio lo conforman nueve veredas: Centro, Hoya Negra, Paramito, Páramo, Primavera, Roncancio, Salitre, Santo Domingo, Vega de San Juan.

### **Vertimiento planta de tratamiento de aguas residuales**

Se encuentra ubicada al sur-occidente del casco urbano del municipio del Hato.

Recibe las descargas de la red doméstica las cuales presentan características como color grisáceo, olor significativo y presencia de espumas. La PTAR realiza un pre-tratamiento (cribado, trampa de grasas), tratamiento primario y secundario anaerobio el cual se lleva a cabo en un reactor UASB.

El vertimiento de la PTAR realiza su descarga sobre la corriente hídrica La Lajita mediante un tubo de PVC de 8" de diámetro [5].

### **Vertimiento planta de beneficio animal (PBA)**

A las aguas servidas que llegan a este lugar se le realiza un pre-tratamiento (cribado y trampa de grasas). El vertimiento de la planta de beneficio animal se realiza sobre una fuente hídrica intermitente innominada mediante un tubo de PVC de 6" de diámetro [5].

**1.2.3 Municipio de Palmar:** Está ubicado a la margen izquierda del río Suárez, en el corredor conformado por la vía que comunica de Socorro a Zapatoca. Este municipio delimita al norte con el municipio de Galán, por medio de la quebrada la Chirigua; al oriente con los municipios del Socorro y Cabrera, por medio del río Suárez; al sur con el municipio de Simacota, por medio de la quebrada Cinco Mil y por el occidente con el municipio el Hato.

### **Vertimiento planta de tratamiento de aguas residuales**

La planta realiza un proceso anaerobio logrando una remoción del 60%. A la salida de la PTAR las aguas residuales forman una cañada natural en la cual se va purificando pues se puede apreciar la presencia de animales como peces lamebotas y tortugas. Dicha cañada discurre directamente al río Suárez.

### **1.3 MARCO NORMATIVO**

El agua es un recurso importante para las actividades del diario vivir, pero así como es fundamental adquirir dicho recurso también lo es saber que destino tienen ésta después de su uso.

Por lo tanto, es función del Estado garantizar el debido control sobre los vertimientos que desemboquen en las aguas superficiales o subterráneas, interiores o marinas, con el objetivo de que estas aguas servidas no se vuelvan epicentros de contaminación que pongan en riesgo los ciclos biológicos, el normal desarrollo de las especies y la capacidad auto reguladora de los cuerpos de agua [13].

Se hace necesario determinar la calidad del agua ya sea para su vertido, tratamiento de depuración, potabilización o cualquier otro uso, por lo que es útil determinar una serie de parámetros físico-químicos que cumplan con los índices establecidos en la legislación nacional para vertimientos.

Seguidamente se da a conocer la reglamentación colombiana con la cual se trabajó en el desarrollo de este proyecto.

#### **El artículo 49 de la Constitución Política de Colombia de 1991 [2].**

Establece que el saneamiento ambiental es un servicio público a cargo del Estado.

#### **Artículo 79 y 80 de la Constitución Política de Colombia de 1991 [2].**

El estado se encuentra obligado a proteger la diversidad e integridad del ambiente, así como fomentar la conciencia ambiental para que las personas disfruten de un ambiente sano y contribuyan con su protección, igualmente el estado garantizará la calidad del agua para consumo humano y, en general, para las demás actividades en que su uso es necesario.

**Decreto 1594 del 26 de Junio de 1984 del Ministerio de Agricultura [11].**

En éste se dan lineamientos de calidad del agua para diferentes usos del recurso hídrico mediante la evaluación de diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

En el Artículo 38 del Decreto 1594 se establecen los valores máximos permitidos para los vertimientos que pueden ser susceptibles a potabilización, y con los que se es posible realizar comparación con los resultados obtenidos en los vertimientos de los municipios visitados (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Valores máximos permisibles para los vertimientos que pueden ser susceptibles a potabilización.

PARAMETROS	MAXIMO PERMISIBLE	PARAMETROS	MAXIMO PERMISIBLE
Alcalinidad(mg/l)	500	Hexaclorociclohexano en agua(mg/l)	3.500
Amonios(mg/l)	1	Nitratos(mg/l)	18
Cloruros(mg/l)	250	Nitritos y nitratos(mg/l)	24
Coliformes fecales(NMP)	20	Nitratos y amonio(mg/l)	19
Coliformes totales(NMP)	20	Nitrógeno total(mg/l)	25
Color(unidades Pt-Co)	75	pH(unidades)	9
Conductividad(micromhos/cm)	400	Sólidos suspendidos(mg/l)	650
Cromo en agua(mg/l)	0,05	Sólidos totales(mg/l)	730
DBO(mg/l)	30	Turbidez(mg/l)	10
Diferencia de Temperatura	11	Fosfatos (mg/l)	0,2
DQO(mg/l)	30	Dureza(mg/l)	250

Fuente: Decreto 1594 de 1984

**Decreto 3930 del 25 de octubre del 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [13].**

En este decreto se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a sistemas de alcantarillado público, también establece el ordenamiento de los cuerpos de agua, sus diferentes usos, posibilidades de aprovechamiento y normas de vertimiento que competen a las autoridades ambientales. En la actualidad y por estar en periodo de transición, este decreto aplica artículos del decreto 1594 de

1984. A continuación se exponen los que se utilizan para el desarrollo de este proyecto:

**Artículo 4 [13].**

Las autoridades ambientales competentes son las encargadas de realizar el ordenamiento (clasificación y destino) del recurso hídrico.

**Artículo 24 [13].** Parámetros a tener en consideración para determinar las capacidades asimilativas de sustancias biodegradables o la dilución de sustancias no biodegradables presentes en el recurso hídrico.

- 1) DBO<sub>5</sub>: Demanda bioquímica de oxígeno a cinco (5) días.
- 2) DQO: Demanda química de oxígeno.
- 3) SS: Sólidos suspendidos.
- 4) pH: Potencial de ión hidronio, H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>
- 5) T: Temperatura.
- 6) OD: Oxígeno disuelto.
- 7) Q: Caudal.
- 8) Datos hidrobiológicos.
- 9) Coliformes totales y coliformes fecales.

**Artículo 10 [13].** En la Tabla 3 se pueden apreciar los valores de los parámetros para máximos permitidos según sea la aplicación.

Tabla 3. Límites permisibles para los diferentes usos de las aguas superficiales.

USOS	PARAMETROS			
	pH	COLIFORMES FECALES (NMP)	OXIGENO DISUELTO (mg/l)	TURBIEDAD (NTU)
Consumo humano tratamiento	5,9-9,0	20	*	*
Consumo humano desinfección	6,5-8,5	*	*	0,53
Uso agrícola	4,5-9,0	10	*	*
Uso pecuario		*	*	*
Recreación contacto primario	5,0-9,0	20	0,7 % Saturación	*
Recreación contacto secundario	5,0-9,0	*	0,7 % Saturación	*
Preservación fauna y flora	6,5-9,0	*	5	0

\*La norma no contempla valores

Fuente: Decreto 1594 de 1984.

### **Decreto 2667 del 21 de Diciembre del 2012 [12].**

Se reglamenta el pago de la tasa retributiva debido al uso que se le da al agua como receptor de vertimientos puntuales y estos dineros recaudados deben ser utilizados en procesos de descontaminación y monitoreos de los cauces afectados.

Anualmente, se realiza en cada municipio la caracterización de vertimientos; consiste en compilar información, la cual es analizada en laboratorios certificados por el IDEAM.

### **1.4 PARÁMETROS SELECCIONADOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL INDICE DE CALIDAD DEL AGUA DE LOS VERTIMIENTOS UBICADOS EN LOS MUNICIPIOS DE GALAN, HATO Y PALMAR.**

La evaluación química, física y biológica del agua permite tener una valoración de la calidad de ésta, en relación con la calidad natural, los efectos sobre humanos y usos posibles. Los Índices de Calidad del Agua (ICAs) son indicadores útiles en los programas de vigilancia y control de la calidad del agua y herramientas importantes para la administración de los recursos hídricos. Los (ICAs); permiten reducir una gran cantidad de parámetros a una expresión sencilla dentro de un marco de análisis, sin necesidad de estudiar el comportamiento de éstos en forma individual.

Estos índices permiten por medio de la planificación, controlar la disminución o el aumento de la contaminación programando metas y objetivos a cumplir a corto y largo plazo, las cuales pueden ser medidas y evaluadas en el tiempo y que además son de fácil entendimiento para la población que es afectada directa o indirectamente por los problemas de contaminación de las fuentes hídricas [7].

En el ámbito nacional y regional, se han desarrollado diferentes estudios orientados a desarrollar o adaptar ICA's acordes con las características ambientales de algunas fuentes superficiales.

Por medio de la aplicación de los índice ICA-NSF[14], ICA Dinius [19], e ICA Rojas [15], fue posible identificar el deterioro creciente del río Cauca a medida que es afectado por las actividades socioeconómicas desarrolladas en su cuenca, presentando calidad entre regular y mala, haciendo necesario su tratamiento cuando la destinación del recurso sea para consumo humano. El estudio realizado a este río fue un trabajo de seguimiento donde se identificaron los parámetros con mayor influencia en la contaminación de esta fuente hídrica y se desarrolló el ICAUCA. Para la selección de los parámetros a incluir en el índice ICAUCA se consideraron los resultados del análisis de sensibilidad y del estudio “Identificación de parámetros críticos en el río Cauca y sus principales tributarios”. [6]

En la quebrada La Ayurá, Antioquia, se aplicaron los índices de calidad de Dinius [19], NSF[14] y el índice biótico Biological Monitoring Working Party, (BMWP/Col), [8], como una medida para evaluar las aguas superficiales, considerando que en parte del tramo estudiado se presentaban descargas de aguas residuales. Los resultados obtenidos mostraron que en la Estación 1 se presenta buena calidad del agua y en las Estaciones 2 y 3 un deterioro medio del agua como consecuencia de la actividad antrópica existente en inmediaciones de estos sitios de muestreo [20].

En Brasil, la Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental [1] desarrolló e implementó el ICA de agua cruda para abastecimiento público (IAP), como respuesta al aumento en la complejidad de los contaminantes vertidos a las fuentes de agua; su cálculo se realiza mediante el producto de la ponderación de los resultados del índice de calidad de agua y el índice de sustancias tóxicas (ISTO), el primero adaptado a partir del ICA de NSF [14] y el segundo desarrollado en el año 2002. El ISTO complementa el ICA de tal forma que garantiza una evaluación integral del agua a ser destinada al abastecimiento público previo tratamiento.

El ICA aplicado en este trabajo es el ICAm Rojas [15], el cual utiliza ecuaciones de tipo multiplicativo que permiten que cualquier variación de los parámetros refleje con mayor precisión un cambio de calidad del agua.

ICAm Rojas es una adaptación del ICA-NSF el cual fue diseñado para ríos de Estados Unidos, al cual Rojas realizó una adaptación en 1991. En su modificación, Rojas realizó un ajuste de los parámetros del NSF haciéndolos aplicables a condiciones tropicales en las cuales existen diferencias relacionadas con los desechos que llegan a los ríos, las políticas y características naturales de los ríos ecuatoriales. Los parámetros empleados son los resumidos en la Tabla 4 [16].

Otra de las razones para escoger el ICA Rojas se debe a que en las pruebas *in-situ* y *ex-situ* los parámetros analizados fueron los propuestos por Rojas.

Tabla 4. Parámetros y ponderaciones aplicadas en el cálculo de ICA Rojas

Parámetro	Unidades	Peso relativo (W)
pH	Unidades	0,17
Oxígeno Disuelto	% Sat	0,25
Turbiedad	UNT	0,11
DBO <sub>5</sub>	mg/l	0,15
Sólidos Suspendidos	mg/l	0,11
Coliformes Fecales	NMP	0,21

Fuente: Rojas [15].

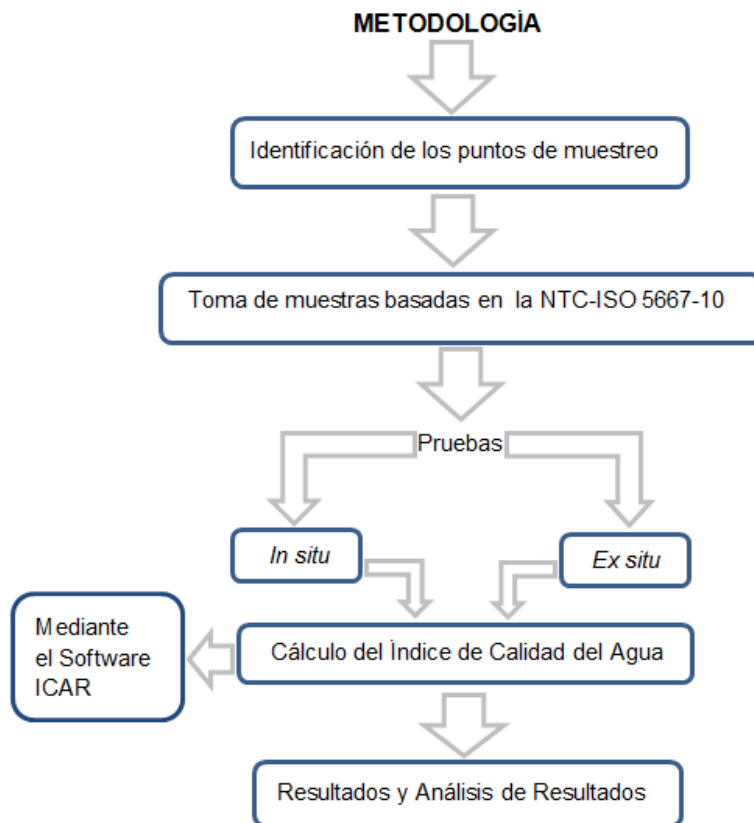
Se omitieron parámetros como nitratos y fosfatos ya que la incidencia de éstos es despreciable en la calidad del agua de los ríos, debido a las bajas concentraciones en las que se encuentran. También se omitió la variable temperatura debido a que no existen descargas a lo largo del río Suárez que puedan afectar significativamente la temperatura del agua.

Rojas en su trabajo considera los sólidos totales. Sin embargo, se decidió cambiar este parámetro en el presente trabajo a sólidos suspendidos debido a que las caídas y agitación que presenta el río Suárez contribuye con el alto valor de este parámetro. Además de la influencia directa que tiene con la cantidad de materia orgánica presente, el aspecto del agua (turbidez) y el oxígeno disuelto.

## **2. METODOLOGÍA**

Con el fin de contribuir con el Plan de Manejo y Ordenamiento de la Cuenca del Río Suárez, se realizó la toma de muestras aplicando la norma técnica colombiana NTC-ISO 5667-10 a vertimientos de tres municipios que tienen influencia sobre este río. Mediante la recopilación de datos se determinó el impacto ambiental que se viene realizando a esta cuenca. Por ende se utilizaron los parámetros fisicoquímicos obtenidos para aplicarlos a la determinación del índice de calidad del agua ICA que permite establecer la condición de deterioro actual de cada vertimiento sometido a estudio y generar posibles soluciones. En la Figura 1 se observa los pasos de la metodología.

Figura1. Metodología utilizada.



Fuente: Autores

## 2.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

La identificación de los puntos de muestreo se realizó en cada municipio con base en los planos del PSMV (Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos). Estos últimos permiten una ubicación rápida y precisa, permitiendo realizar la visita a campo donde se hizo el reconocimiento de cada uno de los puntos de vertimiento. En la Tabla 5, se identifican los puntos de vertimiento de cada municipio.

Tabla 5. Posición geográfica de las zonas de muestreo.

VERTIMIENTO	POSICIÓN		ALTURA[MSNM]	PRECISIÓN[m]
	X	Y		
<b>EL HATO</b>				
PTAR	1'085.132	1'215.291	1.308	4
PLANTA DE BENEFICIO ANIMAL	1'085.027	1'215.325	1.431	4
<b>EL PALMAR</b>				
PTAR	1'087.034	1'215.180	1.200	4
100 M ANTES DEL RÍO SUÁREZ	1'087.179	1'215.204	1.190	4
100 M DESPUES DEL RÍO SUÁREZ	1'087.796	1'215.228	1.185	4
<b>GALAN</b>				
PTAR	1'087.205	1'225.311	892	5
CHITARAQUE	1'087.543	1'225.878	904	5
LA ROMERA	1'087.797	1'226.410	900	5

Fuente: Autores

## 2.2 TOMA DE MUESTRAS CON BASE EN LA NTC-ISO 5667-10 [9].

Para tener resultados confiables de los índices de calidad del agua, es necesario realizar correctamente la toma de muestras de los vertimientos sometidos a estudio, por eso se hace indispensable aplicar la metodología correcta para la toma de muestras de aguas residuales con base en la Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-10.

A continuación se mencionan algunos aspectos de la norma que se tuvieron presentes a la hora de la recolección de muestras:

- Para el muestreo de aguas residuales se utilizaron botellas plásticas para el almacenamiento de las muestras tomadas.
- En las plantas de tratamiento de aguas residuales se recolectaron muestras en tomas y puntos de descargas.
- Se hizo toma de muestras puntuales.
- Preservar las muestras de aguas residuales a una temperatura inferior a 4°C.

### 2.3 PRUEBAS *IN SITU*

Son las que se llevan a cabo en el campo de trabajo, y con las cuales es posible determinar parámetros como pH, Oxígeno disuelto, dureza mediante la utilización de equipos portátiles como kits de campo Merck y cinta indicadora de pH.

### 2.4 PRUEBAS *EX SITU*

Se purgaron las botellas plásticas con agua de la cual se va a tomar muestra para analizar, se arrojó el agua de la purga y se llenaron las botellas de un litro dejando un espacio vacío de aproximadamente 2 cm. Se procedió a rotular con especificación de fecha, hora y nombre del vertimiento. Las muestras envasadas se depositaron en una cava a 4°C.

#### 2.4.1 Pruebas realizadas en el laboratorio

El respectivo análisis físico-químico y microbiológico de las muestras fue realizado por el laboratorio PSL PROANALISIS LTDA en la ciudad de Bucaramanga. Este último se encuentra acreditado ante el IDEAM, mediante la Resolución N° 044 del 14 de Marzo de 2007, bajo la Norma ISO 17025. En la Tabla 6 se resumen los parámetros y las metodologías de análisis empleado.

Tabla 6. Métodos empleados para el análisis de las muestras.

Parámetro	Método de Análisis
Oxígeno disuelto	S.M.4500-0 G
pH	Potenciométrico S.M.4500 H <sup>+</sup>
DBO <sub>5</sub>	Respirométrico S.M. 5210 B
Sólidos suspendidos	Gravimetría, S.M. 2540 D
Coliformes fecales	S.M. 9221 B
Turbiedad	S.M. 2130.B

Fuente: Laboratorio PSL PROANALISIS LTDA.

### 2.5 CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA

El cálculo del ICA se lleva a cabo en las siguientes etapas:

1) Estimación de los subíndices  $I_i$ , donde se realiza la transformación adimensional de cada parámetro que conforma el ICA mediante curvas o

ecuaciones matemáticas. Para los alcances de este trabajo de aplicación se utilizarán las ecuaciones mostradas en la Tabla 7.

Tabla 7. Ecuaciones de cada parámetro para el cálculo del ICA Rojas.

Parámetro	Unidad	Función de subíndice ( $I_i$ )
Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ )	mg $O_2$ /l	$I_{DBO_5} = e^{(4,5824-0,1078DBO_5+2,4581*10^{-14}e^{DBO_5})}$ Si $DBO_5 > 30$ mg/l, $I_{DBO_5} = 2$
OD % Sat	% de Saturación	$I_{\%sat} = e^{(1,3663+0,063\%sat-0,000303\%sat^2)}$ Si % Sat > 140, $I_{\%sat} = 50$
Turbiedad (Turb)	NTU	$I_{Turb} = e^{(4,561-0,0196Turb+2,4167*10^{-5}Turb^2)}$ Si Turbiedad > 100 UNT, $I_{Turb} = 5$
Sólidos suspendidos (SS)	mg/l	$I_{SS} = -0,3005 SS + 102,11$ Si $SS \leq 10$ mg/l entonces $I_{SS} = 100$ Si $SS \geq 340$ mg/l entonces $I_{SS} = 2$
pH	Unidades de pH	$I_{pH} = e^{(-7,6434pH+18,5352\frac{1}{pH}+14,625[Ln(pH)]^2)}$ Si $pH < 2$ o $pH > 12$ unid, $pH = 0$
Coliformes fecales (ColiF)	NMP	$I_{ColiF} = e^{4,5685-0,1305Ln(ColF)-0,0129[Ln(ColF)]^2}$ Si Coliformes Fecales $> \frac{10^5}{100ml}$ , $I_{ColiF} = 2$

Fuente: Índices de Calidad del Agua [16].

2) Asignación del peso relativo  $W_i$ , identifica la importancia de cada parámetro dentro del ICA. En este caso el parámetro con mayor factor de peso es el oxígeno disuelto debido a que contribuye directamente con los procesos de purificación de la corriente que requiere niveles de oxígeno adecuado para facilitar las formas de vida aeróbicas, le siguen los coliformes fecales, pH y  $DBO_5$  que son los asociados a la presencia de materia orgánica. (Ver Tabla 4).






3) Con los valores de  $I_i$  y de  $W_i$  obtenidos, se procede al cálculo del ICA Rojas a través de la Ecuación (1) [20].

$$ICA_m = \prod_{i=1}^n I_i^{W_i} = (I_1^{W_1})(I_2^{W_2}) \dots (I_n^{W_n}) \quad \text{Ecuación (1)}$$

$i$ : Corresponde a cada uno de los parámetros de calidad elegidos Oxígeno disuelto, pH,  $DBO_5$ , Sólidos suspendidos, Coliformes fecales, Turbidez.

4) El valor numérico del ICA obtenido tiene una clasificación cualitativa y cuantitativa que permite asignar el agua en cierta categoría, ver Tabla 8.

Tabla 8. Clasificación de la calidad y color representativo del agua con el ICA Rojas.

Valor ICA Rojas	Clasificación de la calidad del agua	Color de clasificación
81-100	Óptima	
51-80	Buena	
36-50	Aceptable	
20-35	Inadecuada	
0-19	Pésima	

Fuente: Rojas [15].

### 2.5.1 Descripción de las diferentes clasificaciones de la calidad del agua

En el ICA, el valor máximo de calidad del agua es 100 y va disminuyendo dependiendo del grado de contaminación encontrado en los puntos de muestreo.

Las aguas con clasificación “óptima” o “buena” son capaces de poseer una alta diversidad de la vida acuática. Además, el agua también sería conveniente para ser empleadas en todas las formas que impliquen contacto directo con ella.

Las aguas con un “ICA” de categoría “aceptable” tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de las algas.

Las aguas con un “ICA” de categoría “inadecuada” pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas con la contaminación.

Las aguas con un “ICA” que caen en categoría “pésima” pueden solamente apoyar un número limitado de las formas acuáticas de la vida, presentan problemas abundantes, y normalmente no sería considerado aceptable para las actividades que implican el contacto directo con ella, tales como natación [10].

### 2.6 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA ICAR

A partir de los resultados obtenidos del análisis de aguas en los vertimientos de cada municipio y aplicando los Índices de Calidad del Agua (ICA) desarrollados por Rojas, se implementó una herramienta computacional llamada (ICAR) que realiza el cálculo de cada parámetro con el respectivo factor de peso indicado por

el ICA Rojas y posteriormente calcula el grado de contaminación de cada agua residual.

El programa permite georeferenciar el vertimiento en el mapa de Santander zona comunera y guardar los resultados de cada parámetro en una base de datos para así realizar un seguimiento y llevar un control con el cual se puede observar cómo cambia con el tiempo los parámetros y, por ende, los índices de calidad del agua del río Suárez.

Este programa brinda herramientas básicas para que el usuario pueda conocer con facilidad las condiciones iniciales en las que se encuentra el vertimiento y le sugiere recomendaciones o posibles soluciones que se deben implementar para el mejoramiento de dicho vertimiento. Además, es un programa de fácil uso y los resultados pueden ser comprendidos por expertos, académicos y agencias del sector.

ICAR se desarrolló mediante el software ArcGIS 9.3 que es un sistema de información geográfica, que a través de su herramienta Visual Basic Editor permite realizar el montaje de la consola de manejo del programa. La utilidad del ArcGIS 9.3 consiste en la practicidad en el momento de georeferenciar un punto y poder ubicarlo en un mapa.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Antes de iniciar la sección de resultados, es importante mencionar que el muestreo de las fuentes hídricas fue desarrollado en el mes de marzo del 2011, después del paso del fenómeno de La Niña el cual causo fuertes precipitaciones en los meses de Noviembre y Diciembre del año inmediatamente anterior. Estas circunstancias dificultaron el acceso a la zona de recolección y es posible que los valores de las descargas estén caracterizados por poseer un alto valor de dilución que deberá verificarse con salidas a campo posteriores.

A continuación se ejemplifica un cálculo del ICA empleando el software ICAR.

Figura 2. Cálculo del ICA en el vertimiento la PTAR municipio de Galán.

The screenshot shows the ICAR software interface for calculating the ICA (Index of Water Quality) for a wastewater treatment plant (PTAR) in Galán. The interface is divided into several sections:

- PARAMETROS PARA CALCULAR EN INDICE:** A list of parameters with input fields and units:
  - DBO: 29 MG / L
  - OD (% SAT): 54 %
  - SOL SUSPEN: 30 MG / L
  - PH: 7 UNIDADES
  - COL FECALES: 20 NPM
  - TURBIEDAD: 60 UNT
  - ICAROJAS: 40,713 UNID
- GRADO DE CONTAMINACION:** A yellow box indicates the result is **ACEPTABLE**. Below it, **OBSERVACIONES** state:
  - El DBO5 Cumple con el decreto 1594
  - El OD es aceptable
  - El pH cumple con el decreto 1594
  - Los Coliformes Fecales cumplen con el decreto 1594
- RECOMENDACIONES:** A text box suggests: "Se recomienda realizar mantenimiento y limpieza periódicamente de tanques del sistema de tratamiento debido a colmatación de sólidos suspendidos y sedimentables y por la formación de..."
- CLASIFICACIÓN CALIDAD DE AGUA:** A legend on the right shows color-coded ranges for ICAROJAS:
  - 81 - 100: ÓPTIMA (Blue)
  - 51 - 80: BUENA (Green)
  - 36 - 50: ACEPTABLE (Yellow)
  - 20 - 35: INADECUADA (Orange)
  - 0 - 19: PÉSIMA (Red)
- PARAMETROS TABLE:** A table at the bottom summarizes the data:
 

FECHA	DBO	OD	SOLSUS	PH	COLFEC	TURB	ICAROJAS	CAL
14/02/2014	29	54	30	7	20	60	40,713	ACEPTABLE

Fuente: Autores.

En la parte izquierda de la Figura 2 se puede observar los valores de los factores necesarios para el cálculo del ICA; mientras que en la parte derecha se visualizan los

resultados obtenidos una vez el botón calcular es activado. Para finalizar, el software permite guardar los análisis realizados con fines de comparación y consulta (parte inferior, Figura 2).

Seguidamente, se mostrarán y analizarán las calidades del agua de la zona comunera valorada.

### **3.1 MUNICIPIO DE GALÁN**

#### **3.1.1 Chitaraque**

En los resultados mostrados en la Tabla 8, se observa una concentración de oxígeno disuelto baja, pese a que la zona cumple con características topográficas favorables para cumplir con una buena oxigenación; es posible que este resultado esté influenciado por la cantidad considerable de materia orgánica que se refleja en una alta demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), la cual sobrepasa el límite permitido. La creciente presencia de materia orgánica es debido a la cercanía de granjas caprinas y porcinas que realizan las descargas de sus desechos en este vertimiento.

Se determinó un aumento en la turbidez de ocho veces el valor permitido ver tablas 3 y 8). Esto está asociado con los niveles altos de microorganismos y material particulado que se encuentran presentes en el agua. Finalmente, de acuerdo con el ICA, en este punto la calidad del agua inadecuada.

#### **3.1.2 Romera y PTAR**

De acuerdo con los resultados que se registran en la Tabla 9, la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) y el oxígeno disuelto (OD) son inversamente proporcionales, y esto tiene como consecuencia que con el aumento oxígeno disuelto disminuye la  $DBO_5$  porque las bacterias aeróbicas se encuentran degradando la materia orgánica y biodegradable.

En estos puntos el agua es adecuada para uso agrícola considerando los límites presentados en la Tabla 3.

Tabla 9. Valores empleados para el cálculo del ICA Rojas municipio Galán.

PARAMETROS	UNIDADES	GALAN		
		CHITARAQUE	LA ROMERA	PTAR
DBO <sub>5</sub>	mg/l	37	30	29
OD (% Sat)	% Sat	25	92	54
Sólidos suspendidos	mg/l	30	166	30
pH	unidades	7	7	7
Coliformes fecales	NMP	22	10	20
Turbiedad	UNT	82	70	60
<b>ICA Rojas</b>		<b>25,82</b>	<b>46,56</b>	<b>40.71</b>

Fuente: Autores

El agua del vertimiento Chitaraque corre por canales abiertos hasta la fuente hídrica receptora contaminando el suelo; además discurre por potreros donde es evidente el consumo de aguas residuales domésticas por parte del ganado; generando un alto riesgo en la salud y erosión del suelo. Es indispensable realizar seguimiento debido a la cercanía de este vertimiento con la población.

Se recomienda realizar mantenimiento y limpieza periódicamente de tanques del sistema de tratamiento debido a la colmatación de sólidos suspendidos y sedimentables y por la formación de bacterias anaerobias.

Por otra parte, el sistema de tratamiento de aguas (PTAR – Galán) es deficiente, y se recomienda la implementación de una o varias piscinas facultativas; así como una unidad filtración a la salida del reactor UASB. Todo lo anterior con el fin de aumentar el grado de remoción a valores próximos al 90%.

Así mismo, se recomienda hacer limpieza de la red de alcantarillado para evitar que los residuos sólidos que se producen en el municipio y que son arrojados en las calles vayan a parar finalmente en las redes de alcantarillado causando obstrucciones y colmataciones de los pozos de inspección.

## 3.2 MUNICIPIO EL HATO

### 3.2.1 PBA

Este vertimiento muestra un pH ácido causado principalmente por la acidez del suelo. Esto afecta el comportamiento biológico reduciendo los procesos de síntesis y degradación de los microorganismos anaerobios responsables de la degradación de la materia orgánica.

El pH ácido causa el crecimiento e incluso la muerte de algunos microorganismos encargados de la degradación de materia orgánica. La calidad del agua en este punto es inadecuada ya que se identifica un DBO<sub>5</sub> superior a los valores estipulados. (Ver Tablas 2 y 10).

### 3.2.2 PTAR

En este punto no se alcanza un índice de calidad de agua bueno, debido a que la carga orgánica es apreciable (Ver Tabla 9).

El agua en este punto es apta para consumo humano con previo tratamiento. Se puede mejorar el tratamiento en la PTAR realizando limpieza de los equipos utilizados en la etapa de pre-tratamiento para evitar acumulación. Igualmente, es necesario implementar el tratamiento terciario donde se utilice la ultrafiltración logrando un efluente de alta calidad con una remoción del 90% de materia orgánica u otro tipo de contaminante.

Tabla 10. Valores empleados para el cálculo del ICA Rojas municipio Hato.

PARAMETROS	UNIDADES	HATO	
		PBA	PTAR
DBO <sub>5</sub>	mg/l	100	436
OD (% Sat)	% Sat	84	70
Sólidos suspendidos	mg/l	150	145
pH	unidades	5	7
Coliformes fecales	NMP	20	20
Turbiedad	UNT	50	40
<b>ICA Rojas</b>		<b>33,4</b>	<b>39,1</b>

Fuente: Autores

### 3.3 MUNICIPIO EL PALMAR

Aunque en El Palmar los tres puntos de vertimiento monitoreados arrojaron un índice de calidad aceptable, se aprecia diferencia entre los valores del ICA Rojas, en la PTAR se logra una remoción de los sólidos suspendidos y de la carga orgánica. En estos vertimientos el agua es apta para consumo humano con tratamiento previo (ver Tablas 3 y 11).

El vertimiento discurre por canales abiertos a través de zonas de pastoreo y cultivos, a través de un suelo arcilloso y rocoso que por su pendiente ayudan a la oxigenación, formación de bacterias aerobias, presencia de peces (lamebotas o gupis peces de pequeño tamaño que necesitan de bajos niveles de oxígeno disuelto y altas concentraciones de materia orgánica) realizando un proceso de autodepuración natural hasta el vertimiento final a la fuente hídrica receptora el Río Suárez. En la Tabla 11, se observa el ICA calculado para los vertimientos de este municipio.

Tabla 11. Valores empleados para el cálculo del ICA Rojas municipio El Palmar.

PARAMETROS	UNIDADES	PALMAR		
		100 m ANTES DEL RIO SUAREZ	100 m DESPUÉS DEL RIO SUAREZ	PTAR
DBO5	mg/l	150	200	12
OD (% Sat)	% Sat	76	90	37
Sólidos Suspendidos	mg/l	117	98,5	3,2
pH	unidades	6	6	7,3
Coliformes Fecales	NMP	20	20	20
Turbiedad	UNT	31	30	28
<b>ICA Rojas</b>		<b>39,20</b>	<b>39,1</b>	<b>48,80</b>

Fuente: Autores

#### 4. CONCLUSIONES

Con base en los ICA's de los vertimientos analizados, se puede evidenciar que los sistemas de tratamiento implementados en la zona comunera son deficientes para el proceso de tratamiento de las aguas residuales domésticas, generando impacto negativo en la fuente hídrica receptora. Sin embargo, el impacto del vertimiento del Municipio El Palmar es mínimo debido a la autodepuración natural.

Se analizaron los parámetros oxígeno disuelto, DBO5, coliformes fecales, sólidos suspendidos, pH y turbiedad. Se observó que a pesar de haber vertimientos con alta carga de materia orgánica el índice de calidad del agua alcanza el rango de aceptable. Debido a la morfología del terreno se realiza una buena autodepuración sin necesidad de aplicar algún tratamiento.

Los vertimientos Chitaraque en Galán y la PBA en el Hato, presentaron un ICA inadecuado debido a que no cumplen visitados se determinó un ICA aceptable, pero al mismo tiempo ninguno cumple con los límites de los parámetros consignados en el Decreto 1594 de 1984.

El programa ICAR permite estimar de manera sencilla el Índice de Calidad del Agua – Rojas. A partir de esta estimación se tiene una evaluación de la carga contaminante en un vertimiento y además es posible guardar la información de los resultados obtenidos de cada muestreo para llevar a cabo un control que permita observar la variación de los parámetros. Igualmente, esta herramienta puede ser aplicada a otras cuencas hidrográficas.

## **5. RECOMENDACIONES**

Proponer que cuando se aplique el estudio de la tasa retributiva sean tenidos en cuenta los parámetros faltantes para completar el ICA Rojas, para que no solo se pueda dar un valor del costo por contaminar una cuenca hídrica, si no que a su vez se pueda caracterizar y observar cuales son los factores que influyen en el deterioro de la misma.

Mejorar los sistemas de tratamiento con el fin de que cumplan con la reglamentación actual. Específicamente, se deberán mejorar los sistemas ubicados Chitaraque en el municipio de Galán y PBA del municipio El Hato.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] CETESB, Índice de Qualidade das Águas.  
[www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indices.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indices.asp), [citado el 06 de Enero del 2014].
- [2] Colombia. Constitución Política. Bogotá D.C. 1991.
- [3] Colombia. Corporación Autónoma Regional de Santander. Caracterización de los Vertimientos del Municipio de Galán departamento de Santander. Galán: Alcaldía Municipal. 2013. p. 9-13.
- [4] Colombia. Corporación Autónoma Regional de Santander. Formulación del Plan de Ordenamiento y Manejo de la cuenca Hídrica del río Suárez, departamento de Santander. San Gil: La corporación. 2011.24 p.
- [5] Colombia. Corporación Autónoma Regional de Santander. Monitoreo y Caracterización de los Vertimientos de Aguas Residuales Domésticas de la cabecera municipal Hato departamento de Santander. Hato: Alcaldía Municipal. 2009. p. 4-7.
- [6] Colombia. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Calidad del agua del río Cauca y sus tributarios. Santiago de Cali: la corporación. 2004.60 p.
- [7] Colombia. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Estudio de la Calidad del Agua del Río Cauca y sus Principales Tributarios Mediante la Aplicación de Índices de Calidad Y Contaminación. Santiago de Cali: La corporación. 2002. p. 21-25.

[8] G. ROLDAN. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col. Primera Edición. Colombia: Editorial Universidad de Antioquia. 2003. p. 29-32.

[9] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Documentación: Gestión Ambiental. Calidad de Agua. Muestreo. Muestreo de Aguas Residuales. Bogotá D.C: ICONTEC. 1995. 19 p. (NTC-ISO 5667-10).

[10] Índice de Calidad del Agua General "ICA".  
[www.buscar.snet.gob.sv/cgi-bin/wxis.exe/iah/](http://www.buscar.snet.gob.sv/cgi-bin/wxis.exe/iah/), [citado el 10 de Enero del 2014].

[11] Ministerio de Agricultura. Decreto 1594. Bogotá D.C. Junio de 2010.

[12] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Decreto 2667 de 2010. Bogotá D.C. Diciembre de 2012.

[13] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto 3930 de 2010. Preámbulo. Bogotá D.C. Octubre de 2010.

[14] NSF, "WQI- National Sanitation Foundation, Consumer information," 2006.

[15] O. ROJAS, Índices de Calidad del Agua en Fuentes de Captación. Memorias del Seminario internacional sobre Calidad del agua para consumo. Valle del Cauca: ACODAL.1991.

[16] P. PATIÑO, J. HOLGUÍN, Ho. BARBA, L. CRUZ, C. RAMÍREZ, A. DUQUE, y L. BAENA. Metodología para la Adaptación de un Índice de Calidad del Agua a las Condiciones Medioambientales del río Cauca en el tramo Salvajina- La Virginia. En: Seminario internacional: visión integral en el mejoramiento de la calidad del agua. 2005. 8 p.

[17] P. TORRES, C. CRUZ, P. PATIÑO. Índice de Calidad de Agua en fuentes Superficiales Utilizadas en la Producción de agua para consumo Humano. Una revisión Crítica. En: Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Vol.8, No.15 (2009); p.79-94.

[18] P. TORRES, C. CRUZ, P. PATIÑO, J. ESCOBAR, A. PÉREZ. Aplicación de Índices de Calidad de Agua-ICA orientados al uso de la fuente para consumo humano. En: Revista Ingeniería e Investigación. Vol. 30, No.3 (2010); 13 p.

[19] S. H. DINIUS. Design of a Index of Water Quality, vol. 23, 1987.

[20] V. GONZÁLEZ, O. CAICEDO, N. AGUIRRE. Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia. En: Revista Gestión y Ambiente. Vol. 16, No.1 (2013); 12 p.

## ANEXOS

### ANEXO A. MANUAL DE EJECUCION DEL PROGRAMA ICAR

A continuación, se describe el manual de ejecución del programa ICAR que fue realizado con ayuda del software ArcGIS 9.3 por medio de la herramienta Visual Basic Editor.

ICAR es un programa que ofrece una aplicación de entrada de datos donde se calcula el índice de calidad del agua (ICA) y se observa el grado de contaminación presente en un cuerpo de agua, indicando cuales son los parámetros que marcan el cambio en el ICA y permite guardar en una base de datos la información de cada parámetro.

La expectativa de este software es que sea una herramienta de fácil uso y que los resultados mostrados sean de fácil comprensión, que cualquier persona no especializada pueda ingresar los parámetros *in situ* y *ex situ* en ICAR y pueda saber de inmediato cual es la calidad del agua que está analizando.

Finalmente las corporaciones ambientales pueden contribuir con propuestas para realizar tratamientos dependiendo del resultado del ICA.

### ASPECTOS METODOLÓGICOS

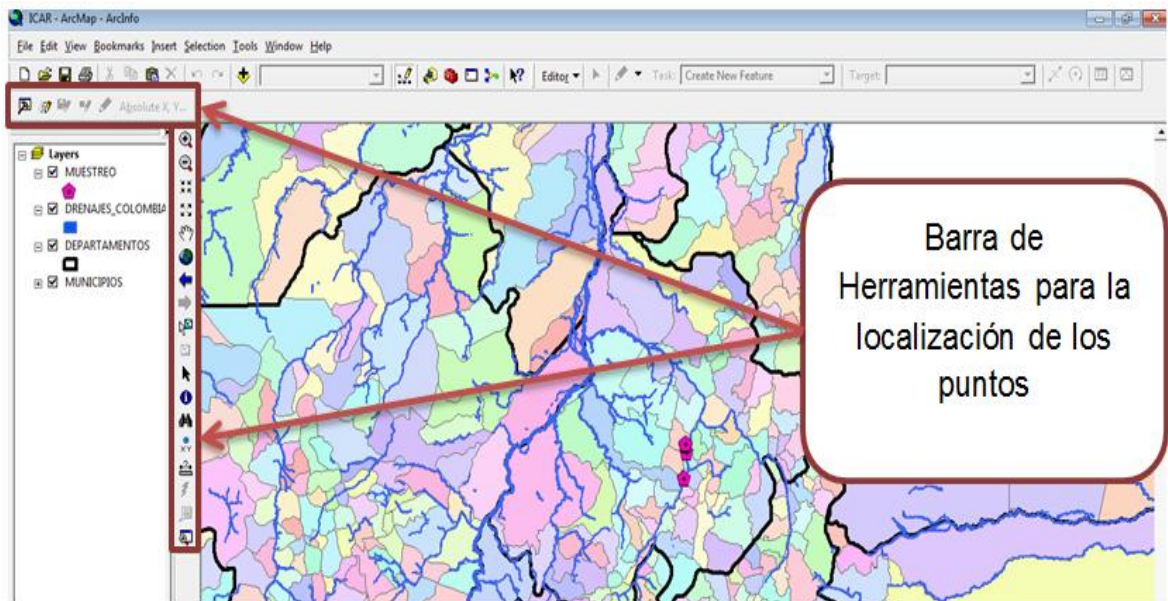
ICAR fue programado dentro de la plataforma principal del software ArcGIS 9.3 donde ofrece la georreferenciación de los puntos y ubicación del río que se evaluó. En la herramienta Visual Basic Editor se programó la metodología que se implementó para cada índice, donde se logra observar la escala de colores que muestra el grado de contaminación y señala la observación de cada parámetro perteneciente al programa.

## DESCRIPCION DE ICAR

ICAR se diseñó para que solo pueda correr en el programa ArcGIS 9.3 sujeto a las siguientes especificaciones que son:

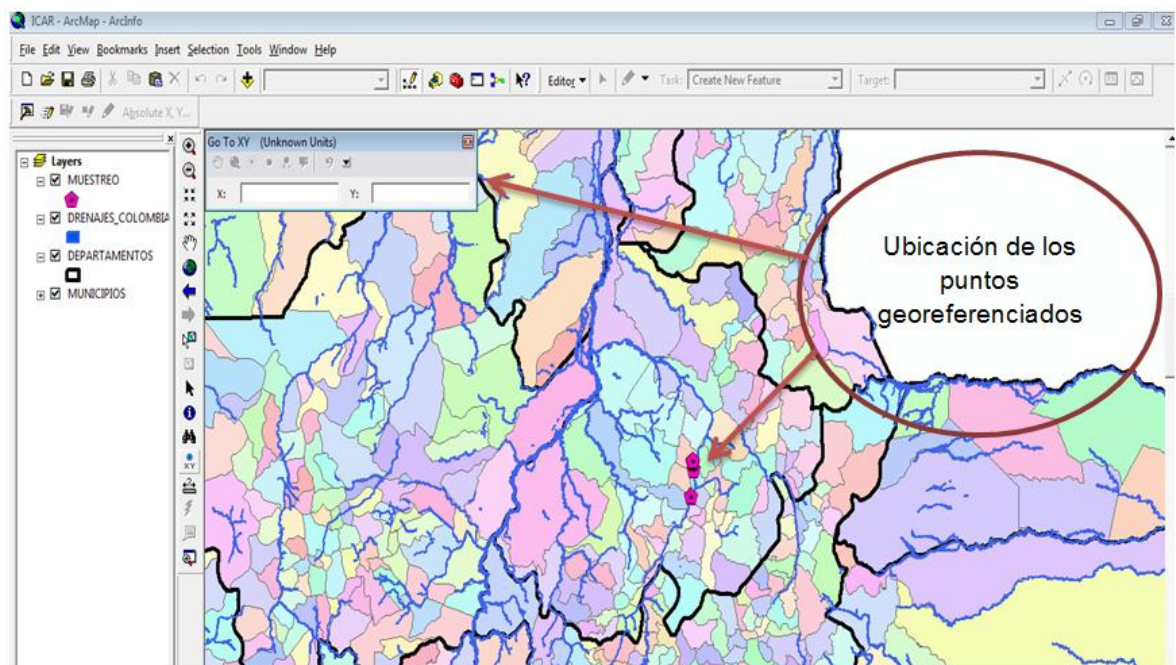
- Descargar la carpeta de la herramienta ICAR y guardarla en el disco (D).
  
- Con la ayuda de la barra de herramientas se ubica en el símbolo que dice absoluta posición (X, Y) donde se ubica el punto de georeferencia de cada vertimiento. (Figura A. 1).
  
- Luego de ingresar el punto se observa el símbolo de ubicación y se señala, abriéndose la ventana donde se debe ingresar los respectivos parámetros. (Figura A. 2 y A. 3).
  
- Esta ventana muestra diferentes cuadros de uso donde se ubica un nuevo análisis de aguas residuales haciendo clic en nuevo y finalmente cuando se muestra el ICA se guarda y se observa una tabla de históricos, un cuadro de observaciones que la herramienta desarrolla dependiendo la característica de cada parámetro y un cuadro de recomendaciones que el usuario o personal preparado tiene aseso para escribir generalizando el índice de calidad del agua, dando su punto de vista para posibles tratamientos o mejoras para cada punto.(Figura A. 4).

Figura A. 1. Creación de punto de muestreo



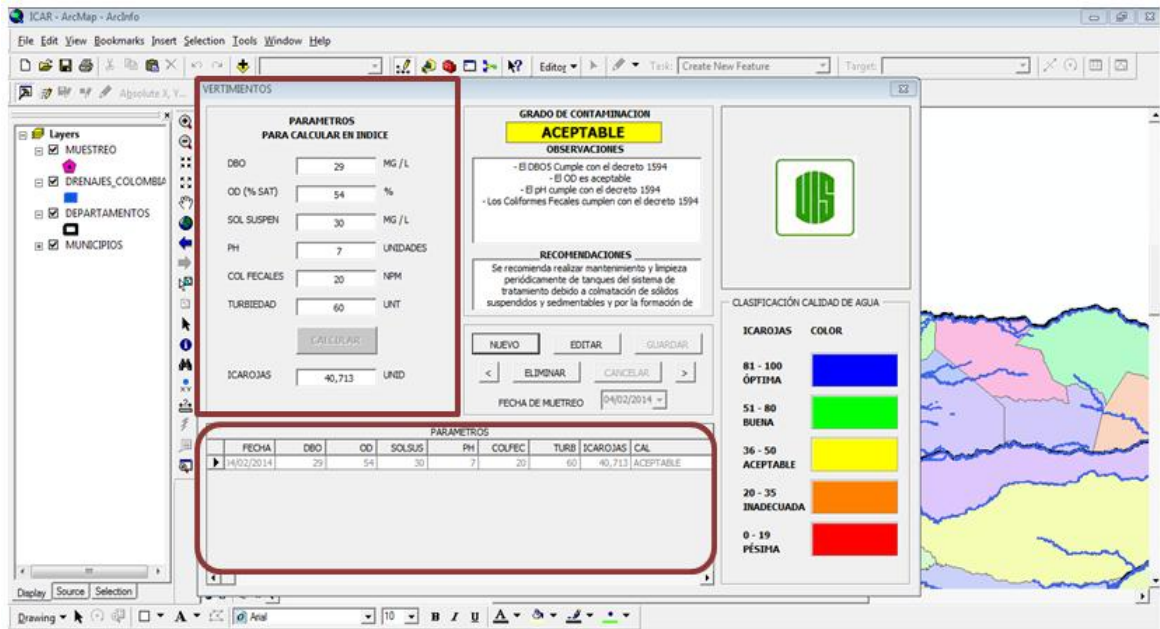
Fuente: Autores

Figura A. 2. Señalamiento del municipio a evaluar.



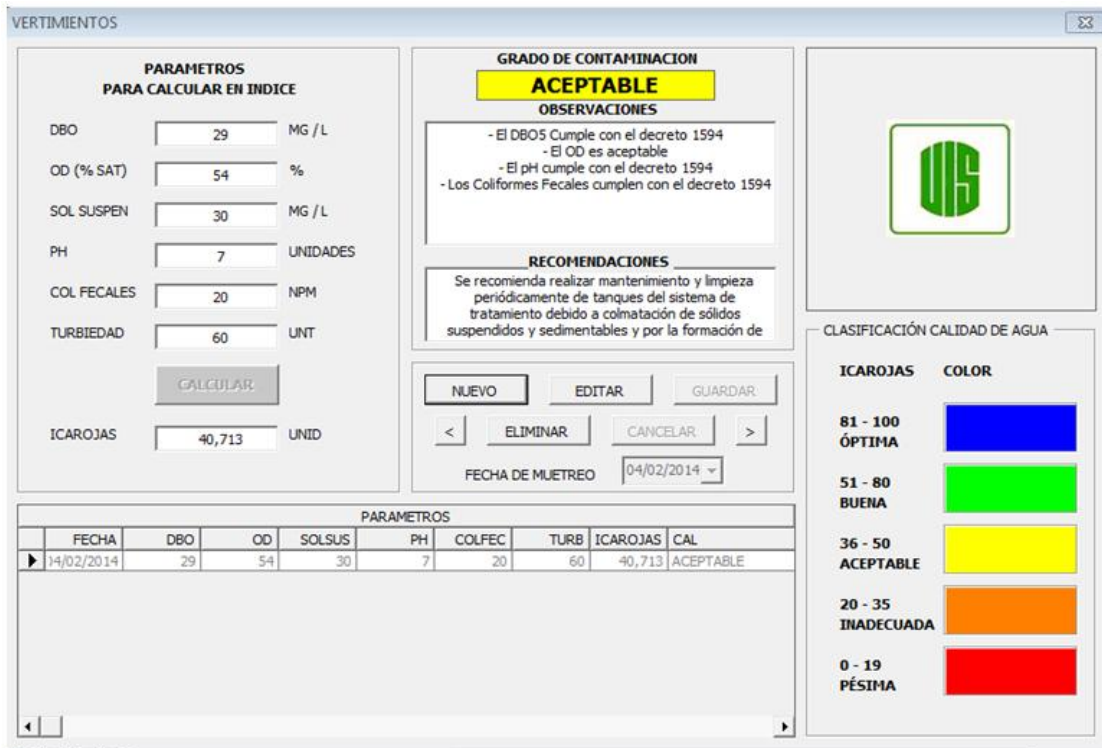
Fuente: Autores.

Figura A. 3. Imagen del programa ICAR.



Fuente: Autores.

Figura A. 4. Imagen del programa ICAR.



Fuente: Autores.