



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

**EVALUACIÓN EXPLORATORIA DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO SAN JUAN  
EN EL MUNICIPIO DE TADÓ, CHOCÓ, POR EL IMPACTO QUE CAUSAN LOS  
VERTIMIENTOS MINEROS.**

**LINA MARCELA MOSQUERA CHAVERRA, ING. QCA.**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES**

**MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE**

**MANIZALES, CALDAS**

**2016**

**EVALUACIÓN EXPLORATORIA DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO SAN JUAN  
EN EL MUNICIPIO DE TADÓ, CHOCÓ, POR EL IMPACTO QUE CAUSAN LOS  
VERTIMIENTOS MINEROS.**

**LINA MARCELA MOSQUERA CHAVERRA, ING. QCA.**

**Trabajo de tesis para optar al título de Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio  
Ambiente**

**DIRECTOR DE PROYECTO**

**JUAN CARLOS GRANOBLES TORRES, I.A. MSc.**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES**

**MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE**

**MANIZALES, CALDAS**

**2016**

Nota de aceptación

---

---

---

---

Director de Tesis

---

Jurado

---

Jurado

Manizales, agosto de 2016

## **AGRADECIMIENTOS**

Infinitas gracias a Dios por ser mí guía, a mis padres por su apoyo incondicional, a la Universidad de Manizales por su valioso aporte en el proceso de formación de la maestría. A Juan Carlos Granobles Torres MSc. tutor del trabajo de tesis por cada una de las orientaciones dadas.

Infinitas gracias a cada una de las personas que de una u otra forma aportaron en este proceso de formación.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	10
1. INTRODUCCIÓN .....	12
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	14
2.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	16
2.3 JUSTIFICACIÓN.....	16
3. MARCO TEÓRICO .....	19
3.1 REFERENTE TEÓRICO .....	19
3.1.1 Recurso agua.....	19
3.1.1.1 Tipos de agua.....	19
3.1.2 Aspectos generales para la toma de muestras de agua .....	20
3.1.2.1 Vertimiento .....	20
3.1.2.2 Agua Superficial.....	21
3.1.2.3 Tipos de Muestreo. ....	22
3.1.3 Calidad de agua .....	23
3.1.3.1 Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua .....	27
3.1.3.1.1 Características físicas .....	28
3.1.3.1.2 Características químicas .....	30
3.1.3.1.3 Características biológicas – bacteriológicas .....	34
3.1.3.2 Índices de Calidad del agua ICA y de contaminación ICO .....	35
3.1.3.2.1 Índice de calidad del agua ICA .....	35
3.1.3.2.2 Índice de Contaminación.....	37
3.1.3.2.2.1 Parámetros fisicoquímicos utilizados en el cálculo de los ICO .....	38
3.1.4.1 Etapas y actividades de la minería aurífera .....	44
3.1.4.1.1 Prospección y exploración .....	44
3.1.4.1.2 Explotación .....	45
3.1.4.2 Sistemas de Explotación.....	46
3.1.4.3 Mercurio en los procesos mineros .....	47
3.1.4.4 Problemática minero ambiental.....	47

<b>3.2</b>	<b>MARCO LEGAL</b> .....	50
<b>3.3</b>	<b>ANTECEDENTES</b> .....	52
<b>3.3.1</b>	<b>Estudios relacionados con minería en el Chocó</b> .....	52
<b>3.3.2</b>	<b>Estudios relacionados con calidad del agua en el Chocó</b> .....	55
<b>4.</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	57
<b>4.1</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	57
<b>4.2</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	57
<b>5.</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	58
<b>5.1</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	58
<b>5.1.1</b>	<b>Municipio de Tadó</b> .....	58
<b>5.1.2</b>	<b>Diagnóstico general del municipio</b> .....	59
<b>5.1.3</b>	<b>Hidrografía</b> .....	60
<b>5.1.3.1</b>	<b><i>Cuenca del río Atrato</i></b> .....	60
<b>5.1.3.2</b>	<b><i>Cuenca del río San Juan</i></b> .....	60
<b>5.1.4</b>	<b>Metales preciosos</b> .....	61
<b>5.1.4.1</b>	<b><i>Deposito aluvial</i></b> .....	61
<b>5.1.4.2</b>	<b><i>Explotaciones de mediana minería</i></b> .....	61
<b>5.1.4.3</b>	<b><i>Explotaciones de minería de subsistencia o Artesanal</i></b> .....	62
<b>5.2</b>	<b>DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	64
<b>5.2.1</b>	<b>Población y Muestra</b> .....	64
<b>5.2.2</b>	<b>Tipo de Investigación</b> .....	65
<b>5.2.3</b>	<b>Etapas de la Investigación</b> .....	66
<b>5.2.3.1</b>	<b><i>Etapa 1. Recolección de Información Secundaria</i></b> .....	66
<b>5.2.3.2</b>	<b><i>Etapa 2. Recolección de Información Primaria</i></b> .....	66
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	73
<b>6.1</b>	<b>DIAGNÓSTICO SOBRE EL ESTADO ACTUAL DE UN SEGMENTO DEL RÍO SAN JUAN Y SUS AFLUENTES RÍO CHATO Y RÍO MUNGARRÁ.</b> .....	73
<b>6.2</b>	<b>PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA EN EL ÁREA OBJETO DE ESTUDIO</b>	
	79	
<b>6.3</b>	<b>CÁLCULOS ÍNDICES DE CALIDAD Y DE CONTAMINACIÓN</b> .....	85
<b>6.3.1</b>	<b>Cálculo del Índice de Contaminación por Mineralización – ICOMI.</b> .....	86



6.3.2	Cálculo del Índice de Contaminación por Materia Orgánica – ICOMO.....	87
6.3.3	Cálculo del Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos – ICOSUS .....	88
6.3.4	Cálculo del Índice de Contaminación por Minería – ICOMINERA .....	90
7.	CONCLUSIONES.....	93
8.	RECOMENDACIONES.....	95
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	96
	ANEXOS .....	104

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1. Significancia de los Índices de Contaminación ICOs</b> .....	41
<b>Tabla 2. Valores del índice de contaminación por minería aurífera</b> .....	42
<b>Tabla 3. Recomendaciones para la aplicación del ICOMINERA</b> .....	43
<b>Tabla 4. Impactos ambientales de la minería artesanal</b> .....	49
<b>Tabla 5. Legislación Minera en Colombia</b> .....	50
<b>Tabla 6. Legislación Ambiental Aplicable</b> .....	51
<b>Tabla 7. Relación de Títulos Mineros para metales Preciosos de Aluvión</b> .....	63
<b>Tabla 8. Minería desarrollada por afrodescendientes en Tadó</b> .....	63
<b>Tabla 9. Estaciones de Muestreo sobre la fuente hídrica</b> .....	64
<b>Tabla 10. Parámetros físicoquímicos a analizar, método analítico y valor permisible</b> .....	71
<b>Tabla 11. Caudal y carga contaminante en las estaciones de muestreo</b> .....	73
<b>Tabla 12. Minas ubicadas en el área objeto de estudio</b> .....	75
<b>Tabla 13. Resultados de parámetros físicoquímicos en las estaciones de muestreo</b> .....	80
<b>Tabla 14. Resultados Índice de Contaminación por Mineralización</b> .....	86
<b>Tabla 15. Resultados Índice de Contaminación por Materia Orgánica</b> .....	87
<b>Tabla 16. Resultados Índice de Contaminación por Sólidos Suspendedos</b> .....	89
<b>Tabla 17. Resultados Índice de Contaminación por minería aurífera</b> .....	90

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1. Ubicación Geográfica del Municipio de Tadó .....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 2. Estaciones de muestreo Municipio de Tadó .....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 3. Dragas utilizadas para la extracción de oro. Río Chato, Tadó.....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 4. Metodología .....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 5. Medición de Parámetros In Situ y toma de muestras .....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 6. Pozos generados por la actividad minera. Estación 1 .....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 7. Minas ubicadas en el área objeto de estudio .....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 8. Sistema de Extracción del metal con Dragas.....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 9. Sistema de Extracción con Retroexcavadora .....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 10. Quebrada Santa Catalina y su Bocatoma.....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 11. Medición de Parámetros, toma de muestras y análisis de laboratorio .....</b>	<b>79</b>

## RESUMEN

Se realizó un análisis sobre la afectación que causan los vertimientos mineros en el río San Juan y sus afluentes Río Chato y Río Mungarrá en el municipio de Tadó, Chocó. En los últimos años la calidad del agua de la zona ha disminuido principalmente por las actividades antrópicas y las explotaciones mineras aluviales de oro. En el proceso se midieron in situ parámetros como pH, temperatura, oxígeno disuelto, turbiedad, conductividad, de igual forma se conservaron y preservaron muestras para determinar parámetros como alcalinidad, DBO<sub>5</sub>, DQO, dureza total, grasas y aceites, coliformes totales y mercurio. A partir de los parámetros analizados se evaluaron los índices de contaminación por mineralización, materia orgánica, sólidos suspendidos y minería aurífera, ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOMINERA respetivamente. Se presentó índice de contaminación por mineralización alto en las estaciones de muestreo correspondientes al Río San Juan y la Bocatoma Río Mungarrá, índice de contaminación por materia orgánica media en tres estaciones de muestreo, índice de contaminación por sólidos suspendidos alto en las estaciones correspondientes al río San Juan, Bocatoma Río Mungarrá y Río Chato y índice de contaminación por minería aurífera fue muy alto en la zona correspondiente al Río Chato, siendo preocupante las concentraciones de mercurio encontradas. Cabe decir que los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos se compararon con la normatividad vigente, lo que permitió analizar las condiciones de los vertimientos y los impactos que genera la minería al recurso hídrico.

**Palabras claves:** Calidad de agua, Índices de calidad y contaminación, Parámetros fisicoquímicos, Recurso hídrico, Vertimientos mineros.

## ABSTRACT

An analysis of the affected miners causing discharges in the San Juan River and its affluent River Chato and Mungarrá in the town of Tadó, Chocó was performed. In recent years water quality in the area has decreased mainly by human activities and the alluvial gold mining. In the process were measured in parameters situ as pH, temperature, dissolved oxygen, turbidity, conductivity, similarly were retained and preserved samples to determine parameters like alkalinity, DBO<sub>5</sub>, DQO, total hardness, fats and oils, total coliforms and mercury. From the parameters analyzed the pollution by mineralization, organic matter and suspended solids gold mining, ICOMI, ICOMO, ICOSUS and ICOMINERA respectively were evaluated. pollution index was presented by high mineralization in the sampling stations for the Rio San Juan and the Bocatoma - River Mungarrá, pollution index for average organic matter in three sampling stations pollution index by suspended solids high in the stations for the river San Juan, Bocatoma - River Mungarrá and River Chato and pollution index was very high gold mining in the area corresponding to River Chato, still worrying mercury concentrations found. It must be said that the results of physicochemical parameters were compared with the current regulations, which allowed analyzing the conditions of the discharges and impacts generated by mining to water resources.

**Keywords:** Quality of water, Quality and pollution indices, Physicochemical parameters, Water resources, Mining waste.

## 1. INTRODUCCIÓN

El agua ha estado presente en todas las actividades del ser humano, siendo protagonista de su desarrollo y del recorrido hacia la civilización. El aumento de los bienes y consumos y sus procesos de producción requieren de grandes volúmenes de agua para la transformación de las materias primas.

Colombia es un país con una gran riqueza y diversidad natural y cultural, en cuanto a recurso hídrico se refiere cuenta con una oferta superficial de más de 2000 km<sup>3</sup> y el 36% del territorio con agua subterránea, se encuentra que el 40% de las principales cuencas del país son vulnerables al deterioro. En relación con este último punto, los más altos niveles de contaminación se presentan en las cuencas donde se concentra el mayor desarrollo económico y donde se puede producir el mayor impacto sobre la población<sup>1</sup>. Se estima que la demanda total por el recurso es de 12,5 km<sup>3</sup>/año, representada en un 54% por el sector agrícola, seguido por la actividad doméstica 29%, industrial 13%, pecuaria 3% y de servicios 1% (IDEAM, 2010b:13).

En el departamento del Chocó los cuerpos de agua representan el 9.28% de su área (364.228 hectáreas), estrella hídrica donde nacen alrededor de más de 250 ríos que van a las cuencas del Caribe y el Pacífico<sup>2</sup>. Sin embargo, sus aguas se encuentran en proceso de deterioro, debido a las muchas de las actividades que allí se realizan, minería, extracción de madera, transporte de sedimentos, actividades domésticas, principalmente los vertimientos de residuos sólidos y líquidos.

---

<sup>1</sup> VI. Sostenibilidad ambiental y prevención del riesgo

<sup>2</sup> ECOFONDO

En el departamento del Chocó la minería siempre ha existido, pero en los últimos años se ha incrementado exponencialmente. La minería a cielo abierto se define como una actividad encaminada a la extracción de minerales por medio de excavaciones superficiales, que comprende etapas como remoción de capa vegetal y estéril, extracción del mineral y restauración de las áreas afectadas por la explotación (Decreto 2222 de 1993). Esta actividad genera impactos en los recursos naturales, sobre todo en las fuentes hídricas, ya que no solo se extrae agua para los diversos procesos de obtención del metal, sino que también se vierten a estas fuentes los residuos resultantes, añadiendo la difícil recuperación de los recursos naturales, los cuales son importantes para el desarrollo de la región. Se hace necesario el establecimiento de medidas de control y monitoreos frecuentes que permitan establecer valoraciones e identificaciones de impactos, que ayuden al mejoramiento de la calidad de la fuente hídrica.

El presente estudio incluye un análisis de la calidad del agua del río San Juan y dos de sus afluentes, río Chato y río Mungarrá, pertenecientes al municipio de Tadó, Chocó, así como pozos derivados de la explotación minera antes del municipio de Tadó, mediante la realización de actividades de muestreo y caracterizaciones fisicoquímicas a la fuente hídrica, midiendo parámetros como sólidos suspendidos y totales, contenido de grasas y aceites, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, potencial de hidrogeno, temperatura, turbiedad, etc., comparando los resultados con los límites permisibles por la normatividad ambiental vigente y calculando los índices de calidad y contaminación asociados con materia orgánica, sólidos suspendidos, mineralización y minería aurífera. Lo anterior permitirá la identificación de impactos ambientales asociados a la actividad minera en el municipio y servirá como base para las instituciones en pro de buscar estrategias y/o alternativas de mitigación.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El agua ha estado siempre presente en todas las actividades del hombre, como protagonista principal de su desarrollo y del recorrido hacia la civilización, condicionando su propia supervivencia; esto ha llevado a idear y desarrollar las más diferentes formas de aprovechamiento. La escasez del recurso, la dificultad de acceder al mismo y la mala calidad van de la mano de la pobreza y de las enfermedades<sup>3</sup>. Dentro de los generadores de la contaminación hídrica se tiene la inadecuada disposición final de los residuos líquidos y sólidos, problemas de deforestación asociados a la explotación forestal, agropecuaria y minera, la deficiente educación ambiental y cultura ciudadana, reflejo de actitudes, conductas y actuaciones poco amigables con el medio ambiente (Plan de Desarrollo Departamental, Chocó 2012-2015).

El Plan de Desarrollo del departamento del Chocó, 2012-2015, establece dentro de sus programas “El fomento de la actividad minera sostenible”, teniendo como objetivo incrementar los ingresos de los pequeños productores mineros y reducir la degradación de los ecosistemas naturales del departamento por la actividad minera; de igual forma también se presenta un Programa de Gestión Integral de la Biodiversidad, de tal forma que se permita fomentar con procesos integrados, el conocimiento, uso y conservación de la biodiversidad regional, de manera que a partir de los bienes y servicios provistos, se puedan mejorar las condiciones de vida de las comunidades rurales del departamento del Chocó, considerando como eje articulador el recurso agua, en la definición e implementación de técnicas de protección y conservación de las áreas estratégicas, como aporte a

---

<sup>3</sup>Diagnóstico sobre la calidad del agua para el consumo humano en Colombia, en el marco del derecho humano al agua. defensoría del pueblo. informe defensorial N° 39-b

la sostenibilidad ambiental de los sectores productivos y al desarrollo integral y equilibrado de las comunidades, siendo una de las acciones la promoción de la descontaminación de corrientes o depósitos de agua afectados por vertimientos.

El río San Juan es uno de los principales ríos del departamento del Chocó, este río presenta diferentes afluentes que transportan y acumulan contaminantes. Uno de los problemas por las que atraviesa este río y sus principales afluentes es la actividad minera aurífera, el tipo de minería que se práctica es artesanal y minería a escala mediana (con maquinarias como retroexcavadoras, dragas, monitores, etc.), siendo la mayoría informal e ilegal. Existen aproximadamente 250 entables mineros identificados en el departamento, de los cuales solo uno (Aluviones de Colombia) cuenta con título minero y licencia ambiental, requisitos legales para el desarrollo de la actividad minera en Colombia (CODECHOCÓ, 2013).

Dentro de los afluentes del río San Juan se encuentra el río Mungarrá, este río presenta importancia para el municipio de Tadó, por ser la principal fuente abastecedora del acueducto del municipio, abasteciendo a una población de 20000 habitantes aproximadamente y un caudal de captación de 198000 l/h. La presencia de entables mineros aguas arriba o en inmediaciones de la bocatoma, provocan un aumento en el costo del sistema de tratamiento de potabilización del agua de captación de la fuente hídrica; adicional la actividad minera demanda y genera grandes volúmenes de agua, producción de sedimentos, alta carga orgánica y contaminación por metales pesados como el mercurio. Es necesario buscar estrategias por parte de las diversas instituciones que propendan la recuperabilidad del medio ambiente y se fomenten alternativas de mitigación sobre esta afectación ambiental.

## **2.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuál es el impacto que causan los vertimientos mineros en la calidad del agua del río San Juan, en el municipio de Tadó, Chocó?

El principal impacto que causan los vertimientos mineros consiste en la presencia de metales pesados como el mercurio en inmediaciones a la fuente hídrica. De igual forma se ven alteradas las características organolépticas del agua (olor, color, sabor); asimismo un incremento en la turbiedad del agua, debido al material que se genera de la actividad minera (presencia de grasas y aceites), y materia orgánica.

## **2.3 JUSTIFICACIÓN**

Colombia es un país que posee una riqueza natural, riqueza que ha sido la base para construir el desarrollo del país. Los recursos naturales, el agua, suelo, minales, hidrocarburos, etc., ha sido utilizados y explotados para generar el crecimiento económico; sin embargo, tal crecimiento ha marcado un gran deterioro ambiental.

En el departamento del Chocó la principal actividad productiva lo constituye la agricultura y la minería de oro y platino; la búsqueda de oro y platino se ha incrementado en los últimos años, zonas agrícolas, hídricas o de biodiversidad se han visto afectadas cada vez que se descubre una mina. Inicialmente la extracción de metales ocurría de manera artesanal y en pequeñas cantidades, hoy en día se utilizan retroexcavadoras, dragas, minidragas, etc., que afectan al territorio.

El río San Juan es uno de los principales ríos del departamento del Chocó, sus aguas son usadas para fines domésticos, recreativos, mineros, de pesca artesanal; sin embargo, la calidad de sus aguas ha disminuido debido a las actividades antrópicas que allí se realizan, especialmente por la

actividad minera. Cerca de 20000 personas aproximadamente dependen sanitaria, orgánica y culturalmente de la calidad del agua de río San Juan y sus afluentes Chato y Mungarrá.

Colombia carece hoy de una regulación capaz de incentivar el uso eficiente y la protección de los recursos hídricos; así como de un modelo eficaz para el ejercicio de la autoridad ambiental tendiente a su administración, control y seguimiento; e instrumentos y mecanismos de articulación que viabilicen su ordenación y planeación, que permitan reducir los conflictos por acceso y uso del recurso, que se acentuarán debido a los impactos del cambio climático. Así mismo, mejorar la gobernanza del agua, desde la visión de cuenca hidrográfica, la gestión del riesgo y el ordenamiento ambiental territorial, dado el fraccionamiento de la gestión entre las autoridades ambientales, entidades territoriales, sectores productivos y la sociedad en general<sup>4</sup>.

Se presenta un débil proceso de planificación minera en la mayor parte de las explotaciones que se realizan; el desconocimiento de la importancia de la preservación del medio ambiente, la ilegalidad de la actividad que imposibilita la implementación de planes de manejo que consideren medidas de prevención, mitigación y corrección de la degradación ambiental. La falta de apoyo a las autoridades municipales para hacer cumplir las medidas de prevención impuesta por CODECHOCO y la suspensión de la minería ilegal; la Falta de estudios que permitan identificar áreas de alta fragilidad, que no resistan intervenciones en su medio natural y especies en peligro de extinción; la carencia total de estudios de exploración que permitan una adecuada evaluación del depósito y planeamiento de la explotación<sup>5</sup>.

Los impactos ocasionados por la actividad minera y vertimientos domésticos causan afectación en la calidad del agua, producción de sedimentos, alta carga orgánica, aceites y grasas, contaminación

---

<sup>4</sup> Sostenibilidad Ambiental y Prevención del Riesgo

<sup>5</sup> Plan de Desarrollo Departamental, Chocó 2012-2015. Un Nuevo Chocó Para Vivir.

por metales, depósitos de residuos sólidos, afectación de la biota acuática, etc. La realización de monitoreos frecuentes sobre la fuente hídrica, permite medir la afectación por la actividad minera en la zona dada la importancia de la fuente hídrica en la región, de esta forma se pueden prevenir los posibles efectos de la contaminación o plantear estrategias que ayuden a mitigar los efectos.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 REFERENTE TEÓRICO

El rastreo bibliográfico en el cual se apoya esta investigación se relaciona con el recurso agua, calidad de agua y sus índices de contaminación, minería aurífera, los impactos ambientales que genera esta actividad y sus sistemas de explotación.

##### 3.1.1 Recurso agua.

El agua es la sustancia más abundante en la Tierra, es el principal constituyente de todos los seres vivos y es una fuerza importante que constantemente está cambiando la superficie terrestre. También es un factor clave en la climatización de nuestro planeta para la existencia humana y en la influencia en el progreso de la civilización.

El agua, se constituye en el líquido más abundante en nuestro planeta, cubriendo aproximadamente el 75% de la superficie terrestre, dada su importancia para la vida de todos los seres vivos y debido al aumento de las necesidades de este recurso para contribuir al desarrollo de la humanidad, además de la necesidad fundamental de contar con el preciado líquido para los procesos tanto ambientales como sociales y para el surgimiento y desarrollo de la vida, se deja al descubierto la necesidad y obligación de protegerlo, además de evitar la afectación negativa sobre las fuentes donde se genera<sup>6</sup>.

##### 3.1.1.1 Tipos de agua.

---

<sup>6</sup> Contraloría general Departamento del Chocó.

- Agua potable: aquella que cumple con los requisitos microbiológicos, organolépticos, físicos, químicos y radioactivos que establecen las normas sanitarias de calidad del agua potable y que se considera apta para el consumo humano.
- Aguas crudas: aguas residuales que no han sido tratadas.
- Aguas residuales municipales: agua residual de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos humanos.
- Aguas residuales: agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria.
- Aguas servidas: aguas de desecho provenientes de lavamanos, tinas de baño, duchas, lavaplatos, y otros artefactos que no descargan materias fecales<sup>7</sup>.

### **3.1.2 Aspectos generales para la toma de muestras de agua <sup>8</sup>**

#### ***3.1.2.1 Vertimiento***

Descarga de aguas residuales que se realiza directa o indirectamente a los cuerpos de agua, desagües o drenajes de agua, descarga directa sobre el suelo o inyección en el subsuelo, descarga a redes cloacales, descarga al medio marino costero y descargas submarinas<sup>9</sup>.

---

<sup>7</sup> Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000. Ministerio de Desarrollo Económico. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico.

<sup>8</sup> Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas.

<sup>9</sup> Norma Venezolana. Aguas naturales, industriales y residuales definiciones.

### *Vertimientos Puntuales.*

Corresponde a los vertimientos de origen industrial, doméstico y/o de alcantarillado, realizados en un punto fijo, directamente o a través de un canal, al recurso (IDEAM, 2007).

Para los vertimientos puntuales a los cuerpos de agua, la ubicación del sitio o lugar de muestreo corresponde al punto de descarga, y se encuentra ubicado antes de su incorporación al cuerpo de agua. Por lo tanto, el muestreo deberá ser desarrollado en este punto, teniendo en cuenta este como factor y criterio (IDEAM, 2007).

### *Vertimientos Industriales*

Al igual que para los vertimientos puntuales a los cuerpos de agua, la ubicación del sitio o lugar de muestreo, corresponde al punto de descarga, el cual podrá ser directamente a un cuerpo de agua o a un alcantarillado (IDEAM, 2007).

#### ***3.1.2.2 Agua Superficial***

Los factores y criterios para la ubicación de sitios de muestreo en cuerpos de agua superficial se pueden agrupar en:

- Factores Fundamentales o Estructurantes: son los que determinan el por qué y el para qué de la localización del sitio, e involucran aspectos tales como: condiciones de referencia, principales vertimientos, confluencia con ríos principales, políticas relacionadas con el recurso hídrico, zonas de desarrollo industrial y urbano existentes y potenciales, bocatomas de acueductos y distritos de riego, entre otros. (IDEAM, 2007).
- Factores Condicionantes: son los que se refieren a las limitaciones propias de cada localización, que tienen que ver con: dificultad de acceso, seguridad de los equipos y del

personal, infraestructura existente, características hidráulicas de la sección y tramo, cercanía a estaciones hidrológicas existentes, facilidad para realizar actividades hidrométricas y facilidad para la recolección de muestras, entre otros (IDEAM, 2007)..

- Factores Limitantes: son los que se refieren al presupuesto y al equipo de medición (capacidad, precisión, requerimientos de instalación, operación y mantenimiento), entre otros (IDEAM, 2007).

### ***3.1.2.3 Tipos de Muestreo.***

Existen muestreos manuales y automáticos.

#### *Muestreo Manual.*

El muestreo manual se realiza cuando se tienen sitios de fácil acceso o aquellos que por medio de ciertas adaptaciones puedan facilitar la toma de muestras. La ventaja de éste tipo de muestreo es permitir al encargado de tomar la muestra, observar los cambios en las características del agua en cuanto a sustancias flotantes, color, olor, aumento o disminución de caudales, etc. (IDEAM, 2007).

#### *Muestreo Automático.*

El muestreo automático es aconsejable cuando los sitios son de difícil acceso o cuando se justifica y se tiene la facilidad de contar con un muestreador automático. Tiene como ventaja más precisión en la toma de muestras y como desventaja la complejidad de su montaje y calibración, además de que requieren revisiones continuas para evitar atascamientos u otras fallas. Sin embargo la aplicación de un muestreo automático requiere instalar una serie de equipos (antenas, paneles solares, etc.) y herramientas (licencias de transmisión, software) que elevan el costo, convirtiéndose en un factor limitante para la implementación de este tipo de muestreo. (IDEAM, 2007).

#### ***3.1.2.4 Tipos de Muestra***

Existen tres tipos de muestra: puntual, compuesta e integrada.

##### *Muestra Puntual.*

Es la muestra tomada en un lugar representativo, en un determinado momento (IDEAM, 2007).

##### *Muestra compuesta.*

Es la mezcla de varias muestras puntuales de una misma fuente, tomadas a intervalos programados y por periodos determinados, las cuales pueden tener volúmenes iguales o ser proporcionales al caudal durante el periodo de muestras (IDEAM, 2007).

##### *Muestra Integrada.*

La muestra integrada es aquella que se forma por la mezcla de muestras puntuales tomadas de diferentes puntos simultáneamente, o lo más cerca posible. Un ejemplo de este tipo de muestra ocurre en un río o corriente que varía en composición de acuerdo con el ancho y la profundidad (IDEAM, 2007).

#### **3.1.3 Calidad de agua**

La calidad del agua hace referencia al estado del recurso hídrico, este concepto es usado en un escenario comparativo donde se define un patrón o nivel de referencia y depende del punto de vista que se tengan en cuenta para realizar la calificación o evaluación, así como de los indicadores que se utilicen. (Martínez, 2010).

La calidad del agua se refiere a las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano. El concepto de calidad del agua ha sido asociado al uso del agua para consumo humano, entendiéndose que el agua es de calidad cuando puede ser usada sin causar daño. Sin embargo, dependiendo de otros usos que se requieran para el agua, así se puede determinar la calidad del agua para dichos usos (Lenntech, 2006)

Se considera que el agua es de buena calidad cuando está exenta de sustancias y microorganismos que sean peligrosos para los consumidores y está exenta de sustancias que transmitan sensaciones sensoriales desagradables para el consumo, como el color, el olor, el sabor o turbiedad. La importancia de la calidad del agua radica en que el agua es uno de los principales medios para la transmisión de muchas enfermedades que afectan a los humanos (Lenntech, 2006).

El agua que es recomendable para consumo humano se llama agua potable, la cual puede provenir de fuentes superficiales o subterráneas y generalmente debe estar tratada para eliminar cualquier contaminación (Lenntech, 2006)

Existen muchas razones por las cuales un agua pierde su calidad y los seres humanos generalmente tienen una gran influencia en la presencia de los factores que favorecen esto. Algunas de las razones son las descargas por su uso en actividades domésticas y comerciales, por su uso en actividades industriales, y por su uso en actividades agrícolas (Lenntech, 2006).

La contaminación del agua es el proceso mediante el cual se agregan organismos o sustancias tóxicas que resultan inadecuadas para diferentes usos. La mala calidad del agua afecta muchas

actividades vitales, los efectos más evidentes del uso de agua de mala calidad se refleja en enfermedades que afectan al ser humano, entre las principales enfermedades que se vinculan directamente con el agua están las de origen digestivo, diarrea, parasitismo intestinal, cólera, fiebre tifoidea y Shigelosis. Una mala calidad del agua también afecta la salud de los ecosistemas, pues la biodiversidad asociada al agua se ve afectada por la contaminación (Ocasio, 2008).

El decreto (3930/10) establece los siguientes usos para el recurso hídrico:

1. Consumo humano
2. Preservación de flora y fauna
3. Agrícola
4. Pecuario
5. Recreativo
6. Industrial
7. Estético
8. Pesca, Maricultura y Acuicultura
9. Navegación y Transporte acuático.

1. Uso para consumo humano y doméstico: se entiende por uso del agua para consumo humano y doméstico su empleo en actividades tales como:

- a) Bebida directa y preparación de alimentos para consumo inmediato.
- b) Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios.

- c) Preparación de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución, que no requieran elaboración.
2. Uso para la preservación de flora y fauna: se entiende por uso del agua para preservación de flora y fauna, su empleo en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones sensibles en ellos.
  3. Uso agrícola: se entiende por uso agrícola del agua, su utilización para irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias.
  4. Uso pecuario: Se entiende por uso pecuario del agua, su utilización para el consumo del ganado en sus diferentes especies y demás animales, así como para otras actividades conexas y complementarias.
  5. Uso recreativo: Se entiende por uso del agua para fines recreativos, su utilización, cuando se produce:
    - Contacto primario, como en la natación, buceo y baños medicinales.
    - Contacto secundario, como en los deportes náuticos y la pesca.
  6. Uso industrial. Se entiende por uso industrial del agua, su utilización en actividades tales como:
    - Procesos manufactureros de transformación o explotación, así como aquellos conexas y complementarios.
    - Generación de energía.
    - Minería.
    - Hidrocarburos.

- Fabricación o procesamiento de drogas, medicamentos, cosméticos, aditivos y productos similares.
  - Elaboración de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución.
7. Uso estético: se entenderá por uso estético el uso del agua para la armonización y embellecimiento del paisaje.
  8. Uso para pesca, maricultura y acuicultura: se entiende por uso para pesca, maricultura y acuicultura su utilización en actividades de reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies hidrobiológicas en cualquiera de sus formas, sin causar alteraciones en los ecosistemas en los que se desarrollan estas actividades.
  9. Navegación y transporte acuático: se entiende por uso del agua para transporte su utilización para la navegación de cualquier tipo de embarcación o para la movilización de materiales por contacto directo.

### ***3.1.3.1 Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua***

La contaminación de los recursos hídricos superficiales es un problema cada vez más grave, debido a que se estos se usan como destino final de residuos domésticos e industriales, sobre todo en las áreas urbanas. Estas descargas son las principales responsables de la alteración de la calidad de las aguas naturales, que en algunos casos llegan a estar tan contaminadas que su potabilización resulta muy difícil y costosa (Barrenechea, 2010).

La presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua que pueden ser de origen natural o antropogénico define su composición física y química<sup>10</sup>.

#### *3.1.3.1.1 Características físicas*

La calidad del agua modificada por sustancias puede no ser tóxica, pero cambia el aspecto del agua, las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, etcétera), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua (Barrenechea, 2010).

Se consideran importantes las siguientes:

- **Turbiedad:** se define como la propiedad óptica de una suspensión, la cual hace que la luz se disperse o absorba en lugar de transmitirse en línea recta, a través de la muestra. La turbiedad en el agua se debe a la presencia de partículas de material suspendido como arcilla, lodo, materia orgánica o inorgánica finamente dividida, plancton y otros microorganismos. La medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro. Las unidades utilizadas son, por lo general, unidades nefelométricas de turbiedad (UNT) (Barrenechea, 2010).

Los estándares internos de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) establecen que las aguas de consumo humano deben tener preferentemente una UNT y en ningún caso más de 5 UNT. Las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomiendan como valor guía 5 UNT. La OMS

---

<sup>10</sup> Barrenechea, A. (2010). Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua.

indica, sin embargo, que, para una desinfección eficiente, el agua filtrada debería tener una turbiedad promedio menor o igual a una UNT (Barrenechea, 2010).

- **Sólidos suspendidos:** la materia suspendida o disuelta en el agua, partículas como arcillas, limo y otros se consideran sólidos suspendidos. Se transportan en el agua de dos maneras: por el arrastre del agua o se encuentran en suspensión estable. Los ríos con mucha concentración de sólidos suspendidos pueden ocasionar reacciones desfavorables para el consumidor ya que afectan la cantidad tanto como la calidad del agua. Los sólidos en suspensión son los que tienen partículas superiores a un micrómetro y que son retenidos mediante una filtración en el análisis de laboratorio (Barrenechea, 2010).
- **Color:** puede estar ligado a la turbiedad o presentarse independientemente de ella. Esta característica del agua se atribuye comúnmente a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, ácidos fúlvicos, etc. Se considera que el color natural del agua, excluyendo el que resulta de descargas industriales, puede originarse por la extracción acuosa de sustancias de origen vegetal, la descomposición de la materia, la materia orgánica del suelo, la presencia de hierro, manganeso y otros compuestos metálicos, y una combinación de los procesos descritos (Barrenechea, 2010).
- **Olor y sabor:** el olor y el sabor prácticamente no son indicadores de contaminación; no obstante, se pueden tomar en cuenta al momento de analizar un río sin algún tipo de instrumentación cuantitativa. Un olor fuerte a pudrición en el agua puede indicar exceso de nutrientes y/o

materia orgánica en descomposición. Mucha cantidad de minerales en el agua, sea natural o provocada, le da un sabor salobre al agua (Barrenechea, 2010).

- **Temperatura:** está relacionado con el oxígeno disuelto (OD) y los cambios de metabolismo en los organismos que habitan en el ecosistema acuático. El aumento en temperatura disminuye la solubilidad de gases como el oxígeno y aumenta en general las sales. A temperaturas altas aumenta la putrefacción y en lugares de descargas de aguas calientes se afecta el área y los organismos. Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente (Ocasio, 2008).
- **pH:** mide el grado de acidez o basicidad de una solución. Se mide entre 0 a 14 en solución acuosa, siendo ácidas las soluciones con pH menores de 7 y básicas las mayores de 7. El pH igual a 7 indica la neutralidad de una sustancia. Las aguas contaminadas de las descargas industriales pueden tener un pH muy ácido (Echarri, 2007).

#### *3.1.3.1.2 Características químicas*

Las actividades industriales generan contaminación al agua cuando hay presencia de metales pesados tóxicos para los humanos tales como arsénico, plomo, mercurio y cromo. La actividad agrícola contamina cuando emplea fertilizantes que son arrastrados hacia las aguas, especialmente nitratos y nitritos. Además, el uso inadecuado de plaguicidas contribuye a contaminar el agua con sustancias tóxicas para los humanos. (Lenntech, 2006). Entre las características químicas se tienen:

- Oxígeno disuelto (OD): este parámetro se refiere a la cantidad disuelta de oxígeno que se encuentra en el agua. El oxígeno es esencial para que ocurra la vida. El nivel de oxígeno disuelto (OD) puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua. Si el nivel de oxígeno es bajo se pudiera inferir que hay contaminación por materia orgánica o mala calidad del agua. Por lo general, una contaminación por aguas residuales o materia fecal disminuye el oxígeno disuelto y afecta la reproducción y la vida de los organismos que allí habitan. Los niveles de OD típicamente pueden variar de 0-18 mg/l, aunque la mayoría de los ríos y riachuelos requieren un mínimo de 56 mg/l para sostener la diversidad de vida acuática (Martínez, 2006).
- Demanda química de oxígeno (DQO): se refiere a la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar o descomponer materiales contenidos en el agua. Esta prueba se utiliza para estimar la cantidad de materia orgánica en las aguas usadas. Estos resultados pueden tener un acierto mayor cuando el agua examinada solo contiene material bacteriano orgánico y no tóxico (Martínez, 2006).
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>): es una medida de oxígeno que usan los microorganismos para descomponer la materia orgánica presente en el agua. Si hay una gran cantidad de desechos orgánicos en el suministro de agua, también habrá muchas bacterias presentes para descomponer este desecho. En este caso, la demanda de oxígeno será alta (debido a las bacterias) así que el nivel de la DBO<sub>5</sub> será también alto. Conforme el desecho es consumido o dispersado en el agua, los niveles de DBO<sub>5</sub> empezarán a bajar (Stevens Institute of Technology, 2008).

- **Grasas y aceites:** incluye un sinnúmero de compuestos orgánicos que son muy amplios en cuanto a la descripción física, química y toxicológica. El aceite y la grasa que entran al ecosistema acuático intervienen con la fotosíntesis y el intercambio de gases. Pueden provenir de derrames, la disposición inadecuada de los mismos y por las aguas de escorrentías que lavan las carreteras y estacionamientos (USEPA, 1986).
- **Metales pesados (mercurio):** es un metal de color plateado, líquido a temperatura ambiente que corresponde al elemento sin combinar, en estado de oxidación 0. El mercurio es vertido al ambiente en su forma metálica o inorgánica, puede ser transformado por diversos tipos de bacterias en metilmercurio, que se considera la forma química más tóxica del mercurio. El metilmercurio es una potente neurotoxina, que causa daños en el sistema nervioso y que afecta al desarrollo fetal e infantil. Además, también produce efectos nocivos en el sistema inmunológico, renal y cardiovascular. La asimilación de metilmercurio por parte de los seres vivos da lugar a procesos de bioacumulación y biomagnificación a través de la cadena trófica. Como resultado, tienen lugar importantes acumulaciones de metilmercurio en los peces de gran tamaño que son consumidas en la dieta diaria, siendo ésta la principal vía de exposición a mercurio en la mayoría de grupos de población (Barrenechea, 2010).
- **Conductividad:** el agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución. Su conductividad es mayor y proporcional a las cantidades y características de esos electrólitos. Se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. La temperatura modifica la conductividad en el agua, por lo que los análisis se realizan a una temperatura de 20°C (Liu et al., 2001).

- 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. Por lo general, está presente en las aguas naturales como un equilibrio de carbonatos y bicarbonatos con el ácido carbónico, con tendencia a que prevalezcan los iones de bicarbonato. De ahí que un agua pueda tener baja alcalinidad y un pH relativamente alto o viceversa. Este parámetro tiene incidencia sobre el carácter corrosivo o incrustante que pueda tener el agua y, cuando alcanza niveles altos, puede tener efectos sobre el sabor (Barrenechea, 2010).
- 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. Aún no se ha definido si la dureza tiene efectos adversos sobre la salud. Pero se la asocia con el consumo de más jabón y detergente durante el lavado. La dureza está relacionada con el pH y la alcalinidad; depende de ambos. En términos generales, puede considerarse que un agua es blanda cuando tiene dureza menor de 100 mg/l; medianamente dura, cuando tiene de 100 a 200 mg/l; y dura, cuando tiene de 200 a 300 mg/l (en todos los casos, como  $\text{CaCO}_3$ ) (Mejía, 2010).
- Fósforo total: es indispensable para la vida. Se encuentra en las aguas naturales y usadas. Sin embargo, un exceso es perjudicial para el ambiente. El fósforo total incluye diversos

compuestos como Ortofosfatos, Polifosfatos y Fósforo orgánico. Sus niveles no deberán exceder de 1mg/L en los cuerpos de aguas superficiales (Barrenechea, 2010).

- Nitrógeno total: se refiere a la suma de concentraciones de nitrógeno, nitrito y nitrato. Estos compuestos a pesar de que son necesarios para la vida acuática, en exceso producen la eutrofización y agravan el estado natural del río. Las actividades humanas en ocasiones aceleran que dichos compuestos ganen acceso a los cuerpos de agua a través de las aguas de escorrentía. Entonces se convierte en un nutriente limitante para el crecimiento. El parámetro establecido no debe exceder 1 mg/l aguas arriba del río. Las plantas absorben los derivados del amoníaco con facilidad y lo eliminan del medio utilizándolos en la fotosíntesis (Barrenechea, 2010).

#### *3.1.3.1.3 Características biológicas – bacteriológicas*

Existen diversos organismos que contaminan el agua. Las bacterias son uno de los principales contaminantes del agua. Entre los factores biológicos se tiene:

- Los coliformes totales: representan un indicador biológico de las descargas de materia orgánica. Las coliformes totales no son indicadoras estrictas de contaminación de origen fecal, puesto que existen en el ambiente como organismos libres. Sin embargo, son buenos indicadores microbianos de la calidad de agua. La *Escherichia coli* es la única bacteria que sí se encuentra estrictamente ligada a las heces fecales de origen humano y hongos (Lenntech, 2006).

El grupo coliformes incluye las bacterias en forma bacilar, aeróbicas o anaeróbicas facultativas, gram negativas, no esporógenas, fermentadoras de lactosa y productoras de gas a 35 +/- 2° C por 24 horas (Barrenechea, 2010).

En aguas contaminadas las bacterias coliformes se hallan en densidades proporcionales al grado de contaminación fecal, lo cual nos indica que pueden encontrarse otros patógenos y que dicha agua es insegura para el consumo humano; generalmente esta contaminación puede ser accidental, pero más frecuentemente se debe a la evacuación sin control de aguas residuales y otros desechos líquidos procedentes del uso doméstico del agua o de desechos industriales (Barrenechea, 2010).

### ***3.1.3.2 Índices de Calidad del agua ICA y de contaminación ICO***

#### ***3.1.3.2.1 Índice de calidad del agua ICA***

Consiste básicamente en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros, los cuales sirven como una medida de calidad del agua. El índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color. Su ventaja radica, en que la información puede ser más fácilmente interpretada que una lista de valores numéricos. Consecuentemente, un índice de calidad de agua es una herramienta comunicativa para transmitir información<sup>11</sup>.

Los índices pueden ser usados para mejorar o aumentar la información de la calidad del agua y su difusión comunicativa, sin embargo, no pretenden reemplazar los medios de transmisión de la información existente. De acuerdo con Ott (1978), los posibles usos de los índices son seis:

---

<sup>11</sup> Indicadores de la calidad del agua. Capítulo II. Universidad de Pamplona.

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

En Colombia el estudio y la formulación de los índices de Calidad de Agua han sido abordados desde 1997 principalmente por Ramírez; el procedimiento metodológico para las formulaciones de estos índices correspondió a la descrita en Ramírez et al. (1997) y Ramírez et al. (1999), descrita a continuación<sup>12</sup>:

- 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.

---

<sup>12</sup> Indicadores de la calidad del agua. Capítulo III. Universidad de Pamplona.

- Ajuste de la ecuación estimada.

#### 3.1.3.2.2 *Índice de Contaminación*

Los ICO's son criterios de evaluación del nivel de contaminación del agua desarrollados en Colombia por Ramírez y Viña (1998), a partir de un “Análisis de los Componentes Principales” (ACP) aplicado a una destacada cantidad de información fisicoquímica resultante de diferentes estudios limnológicos relacionados con la industria del petróleo; estos índices evalúan el nivel de contaminación del agua mediante 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 – ICOSUS<sup>13</sup>.

Estos índices definen el grado de contaminación de un cuerpo de agua mediante un número, que se encuentra entre 0 (muy bajo nivel de contaminación) y 1 (muy alto nivel de contaminación).

Para la formulación de los ICO's, Ramírez et al., (1997) eligieron algunas variables que consideraron relevantes por su papel ecológico o porque en sí mismas conjugar simultáneamente el papel de las distintas variables; sobre ellas se observaron las correlaciones que exhibieron en los diferentes estudios previamente referidos. Dichas variables fueron: Conductividad, Sólidos Suspendidos, porcentaje de saturación de Oxígeno, DBO5, Fósforo Total, Coliformes Totales y pH (Universidad del Valle – CVC, 2004).

Según Fernández et al., (2003) los ICO's presentan una ventaja respecto a los ICA ya que desagregan los tipos de contaminación y evitan que unas variables o problemas ambientales de

---

<sup>13</sup> Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica.

contaminación queden enmascarados en torno a otras variables, lo que permite una mejor visualización de estos problemas en un sistema hídrico.

A manera de ejemplo se puede mencionar el caso de un río o vertimiento con alta temperatura, altas concentraciones de sólidos inorgánicos y turbiedad, el cual representa una condición ambiental diferente a otro río con alta concentración orgánica que se expresa en una gran DBO5 y un elevado nivel de coliformes; no obstante, uno y otro pueden conducir a un mismo ICA (Gómez y Rojas, 2014).

#### *3.1.3.2.2.1 Parámetros fisicoquímicos utilizados en el cálculo de los ICO*

De acuerdo con Ramírez y Viña, (1998) y Ramírez et al., (1999), las correlaciones halladas entre múltiples variables fisicoquímicas dieron origen a cuatro índices de contaminación complementarios e independientes de aplicación verificada. En este trabajo se tuvieron en cuenta: Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI), Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO) e Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS).

- ICOMI: agrupa la conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) que expresa el contenido de sólidos disueltos en la corriente del cuerpo de agua, la dureza ( $\text{mg}/\text{l}$ ) que se basa en la concentración de cationes de calcio y magnesio y alcalinidad ( $\text{mg}/\text{l}$ ) que se expresa a través del contenido de los aniones de carbono y bicarbonato (Martínez, 1976, Ecopetrol, 1993, Roldan, 1992; citado en Cañas, 2010). Este índice se define en un rango de 0 a 1 en el cual los valores cercanos a cero indican baja contaminación por mineralización, por el contrario, los valores cercanos a uno indican una alta contaminación por mineralización (Ramírez et al., 1997).

Para calcular el valor del ICOMI es necesario determinar el valor de los subíndices de cada parámetro (I) que conforman el índice, se utilizaron las funciones reportadas para los parámetros y se tiene:

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

Donde:

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

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

Si conductividad > 270  $\mu\text{S/cm}$ , entonces  $I_{\text{Conductividad}} = 1$

$$I_{\text{Dureza}} = \log_{10} I_{\text{Dureza}} = -9.09 + 4.40 \log_{10} \text{Dureza (mg/l)}$$

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

Si dureza > 110 mg/l, entonces  $I_{\text{Dureza}} = 1$

Si dureza < 30 mg/l, entonces  $I_{\text{Dureza}} = 0$

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

Si la alcalinidad > 250 mg/l, entonces  $I_{\text{Alcalinidad}} = 1$

Si la alcalinidad < 50 mg/l, entonces  $I_{\text{Alcalinidad}} = 0$

- **ICOMO:** se expresa en diferentes variables fisicoquímicas: demanda bioquímica de oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ), coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno, las cuales, en conjunto recogen efectos distintos de la contaminación orgánica. Se define entre un rango de 0 a 1 donde el aumento desde el valor más bajo se relaciona con el aumento de contaminación en el cuerpo del agua (Ramírez et al., 1997).

Para el cálculo de este índice de contaminación, se emplea la siguiente expresión:

$$ICOMO = \frac{1}{3} (I_{DBO5} + I_{\text{Coliformes totales}} + I_{\% \text{ de saturación de Oxígeno}})$$

Donde:

$$I_{DBO5} = -0.05 + 0.70 \log_{10} DBO5 \left( \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right)$$

Si  $DBO5 > 30 \text{ mg/l}$ , entonces  $I_{DBO5} = 1$

Si  $DBO5 < 2 \text{ mg/l}$ , entonces  $I_{DBO5} = 0$

$$I_{\text{Coliformes Totales}} = -1.44 + 0.56 \log_{10} \text{Coliforme Totales} \left( \frac{\text{NMP}}{100\text{ml}} \right)$$

Si  $\text{Coliformes Totales} > 20000 \text{ NMP/100 ml}$ , entonces  $I_{\text{Coliformes Totales}} = 1$

Si  $\text{Coliformes Totales} < 500 \text{ NMP/100 ml}$ , entonces  $I_{\text{Coliformes Totales}} = 0$

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

Si  $\text{Oxígeno } (\%) \text{ mayor al } 100\%$ ,  $I_{\text{Oxígeno}} = 0$

En sistemas lóxicos, los porcentajes de saturación de oxígeno mayores a 100 son ventajosos e indican una buena capacidad de oxigenación. En sistemas lénticos pueden reflejar problemas de eutrofización. Para estos últimos puede usarse:

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

- ICOSUS: se determina tan solo mediante la concentración de sólidos suspendidos (mg/l), que se definen como partículas sólidas orgánicas o inorgánicas que se mantienen en suspensión en una solución (Cañas, 2010, Ramírez et al., 1997).

Solamente aplicando el valor disponible de sólidos suspendidos a la fórmula presentada se puede obtener este índice de contaminación. Se emplea la siguiente expresión:

$$\text{ICOSUS} = -0.02 + 0.003 \text{SólidosSuspendidos} \left( \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right)$$

Si sólidos suspendidos son mayores a 340 mg/l, entonces ICOSUS = 1

Si sólidos suspendidos son menores a 10 mg/l, entonces ICOSUS = 0

Clasificación de la calidad del agua según el valor de los ICO

Ramírez y Viña (1999) propusieron unos rangos para realizar la clasificación de la contaminación del agua, mediante los valores de los Índices de Contaminación ICO. Ver tabla 1.

*Tabla 1. Significancia de los Índices de Contaminación ICOs*

ICO	Grado de Contaminación	Escala de Color
0 – 0.2	Ninguna	
>0.2-0.4	Baja	
>0.4-0.6	Media	
>0.6-0.8	Alta	
>0.8-1	Muy Alta	

Fuente: Ramírez et al. (1999). (Citado por Fernández et al., 2005)

- Índice de contaminación por minería – ICOMINERA

Restrepo, 2015, formuló un índice que permite medir la contaminación de la minería aurífera aluvial sobre el río Cabí, departamento del Chocó. Las variables seleccionadas son turbiedad, sólidos suspendidos totales y el mercurio; el mercurio es un indicador directo del impacto de la minería aurífera aluvial en zonas donde no se encuentra este elemento de forma natural, su concentración máxima permisible es de 10 µg/l. Tabla 2.

$$I_{\text{COMINERA}} = \frac{1}{3} (I_{\text{Turbiedad}} + I_{\text{Sólidos suspendidos totales}} + I_{\text{Mercurio}})$$

Donde:

$$I_{\text{Turbiedad}} = 0.174 * e^{0.0163*x}$$

X: valor asociado a la turbiedad en NTU.

Si la turbiedad es > 100 NTU, entonces I Turbiedad es 1

Si la turbiedad es < 0 NTU, entonces I Turbiedad es 0.17

$$I_{\text{Sólidos suspendidos totales}} = -0.02 + 0.003 * X \left( \text{sólidos suspendidos totales} \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right)$$

Si sólidos suspendidos son mayores a 340 mg/l, entonces el subíndice es 1

Si sólidos suspendidos son menores a 10 mg/l, entonces el subíndice es 0

$$I_{\text{Mercurio}} = 0.003648x^2 + 0.0589 * x + 0.0443$$

X: concentración del mercurio en µg/l

***Tabla 2. Valores del índice de contaminación por minería aurífera***

Valor del índice	Valoración cualitativa
------------------	------------------------

<b>0 – 0.2</b>	<b>No hay contaminación</b>
<b>0.21 – 0.4</b>	<b>Contaminación Leve</b>
<b>0.41 – 0.6</b>	<b>Contaminación Media</b>
<b>0.61 – 0.8</b>	<b>Contaminación Alta</b>
<b>0.81 – 1</b>	<b>Contaminación Muy Alta</b>

Fuente: Restrepo, 2015.

Criterios en lectura e interpretación del Índice de Contaminación por Minería – ICOMINERA.

Tabla 3.

**Tabla 3. Recomendaciones para la aplicación del ICOMINERA**

<b>Resultado cualitativo del Índice de contaminación minera – ICOMINERA</b>	<b>Observación según Sector de aplicación</b>		<b>Indicador de Color</b>
	<b>Sector Ambiental</b>	<b>Sector Salud</b>	
<b>No hay Contaminación</b>	Sin restricciones de uso, ajustar al programa de control y monitoreo del recurso hídrico	Sin restricciones de uso para consumo humano con tratamiento previo; se permita el contacto primario sin restricciones.	
<b>Contaminación Leve</b>	Cuerpo hídrico que debe incluirse para vigilancia especial, visitas a la zona para identificación de usuarios y actividades, solo restricciones de uso para potabilización.	Se permite el contacto con la piel en contacto primario; vigilar si la fuente es utilizada para consumo humano y verificar que se realice el tratamiento.	
<b>Contaminación Media</b>		No se permite el contacto primario; revisar el comportamiento de las enfermedades asociadas al recurso hídrico en la zona; generar la primera alerta con restricciones.	
<b>Contaminación Alta</b>	Restricción para todos los usos, generar alertas ambientales, iniciar procesos sancionatorios y operativos de control de las actividades que generan esta contaminación, aumentar los monitoreos de vigilancia e iniciar proceso de minimización	Generar alarma sanitaria; fuente hídrica no apta para consumo humano con tratamiento; iniciar programa de vigilancia del recurso hidrobiológico asociado al sitio de contaminación.	
<b>Contaminación Muy Alta</b>			

Fuente: Restrepo, 2015.

### **3.1.4 Minería.**

Se puede definir como la obtención selectiva de minerales y otros materiales (salvo materiales orgánicos de formación reciente) a partir de la corteza terrestre.

La minería a cielo abierto es aquella que se desarrolla en forma progresiva por capaz o terrazas en terrenos previamente delimitados y se emplea en lugares donde los minerales están a poca profundidad (Ministerio de Minas y Energía, 2009).

La minería a cielo abierto se define como una actividad encaminada a la extracción de minerales por medio de excavaciones superficiales, que comprende etapas como la remoción de capa vegetal y estéril, extracción del mineral y restauración de las áreas afectadas por la explotación (Decreto 2222/93).

#### ***3.1.4.1 Etapas y actividades de la minería aurífera***

##### ***3.1.4.1.1 Prospección y exploración***

Las actividades de exploración permiten planear adecuadamente la explotación con el fin de obtener una mayor eficiencia productiva y evitar el alto desperdicio del mineral por falta de conocimiento de las características del yacimiento, etapa esta que infortunadamente no se ha realizado en gran parte de las explotaciones de nuestro país.

La prospección geológica tiene como objetivo la localización de anomalías debidas a depósitos minerales. La investigación tiene como finalidad definir tales indicios, evaluar los recursos y

reservas que albergan los yacimientos. En esta etapa se usan métodos geológicos, geoquímicos, aéreos (teledetección).

En la etapa de exploración se realizan muestreos superficiales (apiques, trincheras), en la minería de aluvión mediante cateos se localizan los sitios para remover el material. El resultado de esta etapa, es la ubicación de áreas favorables en las que se centra una investigación más detallada o, en muchos de los casos, comenzar a extraer el material con la ayuda de herramientas o equipos pesados. En la minería aurífera es común que sean los mineros informales, quienes primero ubican depósitos explotables<sup>14</sup>.

#### *3.1.4.1.2 Explotación*

En lo concerniente a la explotación, la diversidad de los ambientes geológicos donde se encuentran las reservas auríferas del país, hace que existan distintos sistemas de aprovechamiento del mineral y que los tipos de minería varían de acuerdo a factores tales como la profundidad, forma e inclinación de los depósitos, la distribución de leyes del mineral, las características geomecánicas de las rocas encajantes y del propio mineral, las condiciones físicas y culturales de la zona, la magnitud de la operación, y la maquinaria utilizada. En el caso de la minería aurífera se utilizan como sistemas de explotación el subterráneo en la minería de filón y a cielo abierto en las explotaciones aluviales. La fase de explotación incluye las etapas de planeamiento y montaje, desarrollo, beneficio y transformación y cierre (Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General Ambiental Sectorial, 2002).

---

<sup>14</sup> Diagnóstico y proyecciones de la gestión minero ambiental para las regiones auríferas de Colombia.

### ***3.1.4.2 Sistemas de Explotación***

En el Chocó, la extracción a cielo abierto de oro y platino se desarrolla mediante la aplicación de tres sistemas de explotación: artesanal, semitecnificado y tecnificado.

Los sistemas mineros artesanales en el Chocó Biogeográfico, en su desarrollo aplicativo, considerando integralmente las fases mineras de preparación, desarrollo, explotación y beneficio, se asemejan sustancialmente, sin importar mucho las características geomorfológicas y geológicas de los sectores mineros. Es pertinente precisar que los mineros afrocolombianos se concentran exclusivamente en el aprovechamiento de las terrazas aluviales enriquecidas por metales preciosos (oro, plata y platino), de los cuales se benefician los dos primeros; en algunas excepciones hay aprovechamiento de vetas filonianas auríferas.

Las prácticas mineras artesanales se integran en tres categorías genéricas de explotación: minería a cielo abierto, minería subterránea y minería subacuática. Dentro de los sistemas artesanales se tiene el mazamorreo, zambuyidero, mina de agua corrida, hoyadero, guaches y socavones (IIAP, 2005)<sup>15</sup>.

En la extracción semitecnificada, se incluyen equipos como elevadores de tierra, draguetas y bombas de baja y alta presión, que mejoran el rendimiento y la productividad de la extracción del mineral. En la tecnificada se utiliza maquinaria pesada (retroexcavadoras), con la cual se retira la

---

<sup>15</sup> Diagnóstico Situacional de la Minería Artesanal y en Pequeña Escala Desarrollada por Afrocolombianos en Territorios Colectivos de Comunidades Negras en el Chocó Biogeográfico. Convenio de Donación IDRC - Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico- IIAP. 2005.

cobertura vegetal y se remueven grandes volúmenes de tierra, que tras la extracción del metal, es vertida a las fuentes hídricas más cercanas (Vargas, 2012).

#### ***3.1.4.3 Mercurio en los procesos mineros***

La Amalgamación es uno de los procesos más importantes en la recuperación de oro en la minería de los metales preciosos, dada la afinidad electrónica del oro con el mercurio forma una aleación física denominada amalgama. Esta propiedad es la utilizada para capturar pequeñas partículas de oro, las cuales por su tamaño no presentan buena respuesta para la concentración gravimétrica, sin el mercurio las partículas extremadamente finas o con formas laminares serían arrastradas por las corrientes de agua creadas en el lavado, produciendo desperdicios de metal y disminuyendo considerablemente el rendimiento de las minas. Para la amalgamación es importante que el grano de oro se encuentre libre y limpio de incrustaciones de óxidos y minerales y que su tamaño oscile entre 2 y 0,02 milímetros (Machado et al., 2010).

#### ***3.1.4.4 Problemática minero ambiental***

El proceso de extracción de oro genera problemas sobre la fuente hídrica, impactos generados por la minería aurífera se tienen<sup>16</sup>:

Impactos en el recurso hídrico y ecosistemas acuáticos

La actividad minera demanda y genera grandes volúmenes de agua para los procesos y operaciones de obtención del mineral, los cuales contribuyen especialmente a la polución y contaminación de

---

<sup>16</sup> Ministerio de Medio Ambiente, 2002. Diagnóstico y proyecciones de la gestión minero ambiental para las regiones auríferas de Colombia.

los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, además de las descargas provenientes de los asentamientos mineros.

### *Calidad del agua*

Especial significado tiene la explotación aurífera por el aporte de sedimentos, cargas orgánicas y químicas expresadas como drenajes ácidos, metales, grasas, aceites y combustibles que inciden el deterioro de las condiciones fisicoquímicas y biológicas de las corrientes con la consecuente restricción del uso, modificación del hábitat y productividad del ecosistema.

### *Sedimentos*

Las fuentes de producción de sedimentos se originan, en la minería, en las operaciones de arranque del mineral, disposición de residuos, estériles y por procesos erosivos provocados por la actividad; materiales sólidos que en su conjunto quedan disponibles para su transporte y acumulación en los cuerpos de agua.

En la minería de aluvión, los sedimentos se decantan produciendo agradación en lechos y márgenes de las corrientes de agua, generando, represamientos y cambios en su dinámica e incrementando los riesgos por inundaciones y avalanchas. Similares procesos de sedimentación se realizan en lagunas y ciénagas, en las cuales las comunidades biológicas desaparecen.

### *Aceites y grasas*

La operación de maquinaria como dragas, dragalinas, motobombas y equipos así como su mantenimiento, son fuentes de contaminación con estos elementos, en especial las aguas provenientes de talleres, zonas de lavado, derrames en zonas de almacenamiento y accidentes.

### *Metales*

La contaminación por metales impacta en forma directa la salud humana, los recursos agua y suelo especialmente y al entorno en general. Esta contaminación en la minería aurífera tiene como causas, la generación de drenajes ácidos y la derivada del empleo del mercurio (Hg) para recuperar el oro mediante el proceso de amalgamación.

El comportamiento del mercurio metálico consiste en la incorporación a las fuentes de agua y los suelos, efectuando su bioacumulación en los organismos vivos. El vapor de mercurio pasa a la atmósfera donde es transportado e incorporado dentro del ciclo hidrológico. Las dos formas de acumulación constituyen severos y graves impactos tanto al hombre como a los ecosistemas, dada su toxicidad.

Los impactos ambientales generados por el desarrollo de la minería artesanal y en pequeña escala (sistemas artesanales, con adaptaciones tecnológicas) no representan mayores riesgos de afectación ambiental. La carga de impactos ambientales de este tipo de minería es fácilmente asimilado (resiliencia positiva) por el medio. Quizás la afectación más notoria está representada por el aporte de sedimentos en los sistemas hídricos, los cuales por sus niveles de caudal, el alto potencial pluviométrico de la región, no permite que se alteren degenerativamente las quebradas y ríos de los entornos mineros. En la tabla 4 se muestran los impactos ambientales de la minería artesanal (IIAP, 2005).

***Tabla 4. Impactos ambientales de la minería artesanal***

<b>Acción generadora de impactos</b>	<b>Componente biótico afectado</b>	<b>Sistema de aprovechamiento</b>	<b>Nivel de impacto</b>
--------------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------

<b>Disposición de sedimentos</b>	Fauna acuática	Todos	Leve
<b>Disposición de materiales estériles</b>	Flora terrestre	Todos	Leve
<b>Desmonte y limpieza</b>	Flora y fauna terrestre, alteración del suelo	Agua corrida	Leve
<b>Arranque y apertura de frentes</b>	Geomorfología, suelos (erosión), flora (deforestación)	Agua corrida y mazamorreo	Leve
<b>Vertimiento de grasas y combustibles</b>	Corrientes hídricas y suelo.	Semimecanizados (draguetas, motobombas, elevadores).	Significativo.
<b>Operación de maquinaria adaptada</b>	Atmósfera (ruido), fauna.	Semimecanizados (draguetas, motobombas, elevadores).	Significativo.

Fuente: IIAP, 2005.

### 3.2 MARCO LEGAL

A continuación se presenta un recuento de la normatividad minera y ambiental vigente: (Tablas 5 y 6).

*Tabla 5. Legislación Minera en Colombia*

CLASE DE NORMA	NÚMERO	FECHA DE EXPEDICIÓN	MATERIA DE APLICACIÓN
<b>Ley</b>	685	15 de agosto de 2001	Actual Código de Minas
<b>Decreto</b>	1382	09 de febrero de 2010	Reforma algunos artículos de la ley 685 de 2001, declarada inexecutable a partir de 2 años por la sentencia C-366 de 11 de mayo de 2011, por no haber sido consultadas las comunidades indígenas y afro descendientes, vigentes hasta el 10/05/2013, aplica solo para los contratos de concesión nacidos bajo su vigencia.
<b>Decreto</b>	2715	28 de julio de 2010	Minería tradicional, legalización minera con mini dragas, autorizaciones temporales, prorroga de los contratos de concesión minera.

<b>Ley</b>	1450	16 de junio de 2011	Plan Nacional de Desarrollo, introduce algunas modificaciones sobre multas, reservas mineras, prohibiciones a la minería por razones ambientales, Plan Nacional de Ordenamiento Minero, adiciona causales de caducidad y suspensión por razones de seguridad minera, control a la explotación ilícita.
<b>Decreto</b>	1970	21 de septiembre de 2012	Trámite y requisitos para las solicitudes, visitas de viabilización, informes técnicos, programas de trabajos y obras y planes de manejo ambiental.
<b>Decreto</b>	2235	30 de octubre de 2012	Dstrucción de maquinaria pesada y sus partes en actividades de exploración y explotación de minerales sin las autorizaciones y exigencias previstas en la ley.
<b>Resolución</b>	205	26 de marzo de 2013	Se establece el procedimiento para a declaración y delimitación de áreas de reservas especial de que trata el artículo 31 de la ley 685 de 2001.
<b>Decreto</b>	933	9 de mayo de 2013	Define la minería tradicional, tramite para la formalización de mineros tradicionales, causales de rechazo.
<b>Ley</b>	1658	15 de julio de 2013	Disposiciones para la comercialización y los usos de mercurio, incentivos para la reducción, eliminación, incentivos para la formalización, subcontrato de formalización minera, devolución de áreas para la formalización minera, beneficio para la formalización, establecimiento de sello minero ambiental colombiano.

Fuente: Normatividad Colombiana

**Tabla 6. Legislación Ambiental Aplicable**

<b>GENERAL</b>	<b>LICENCIAS AMBIENTALES</b>
<b>Decreto Ley 2811 del 28 de diciembre de 1974</b>	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiental.
<b>Ley 99 del 22 de diciembre de 1993</b>	Por la cual se crea el Ministerio de Medio Ambiente, se reordena el Sector Publico encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales

---

<b>Ley 1333 del 21 de julio de 2009</b>	renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
<b>Decreto 2820 del 5 de agosto de 2010</b>	Régimen Sancionatorio Ambiental Por el cual se reglamenta el título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales
<b>Decreto 2372 del 30 de julio de 2010</b>	Por el cual se reglamenta el Decreto Ley 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993, la Ley 165 de 1994 y Decreto Ley 216 de 2003, en relación con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las categorías de manejo que lo conforman y se dictan otras disposiciones.
<b>Resolución 918 del 20 de mayo de 2011</b>	Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para la sustracción de áreas en las reservas forestales nacionales y regionales, para el desarrollo de actividades considerando de utilidad pública o interés social y se adoptan otras determinaciones.
<b>Decreto 3573 del 27 de septiembre de 2011</b>	Por el cual se crea la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales-ANLA- y se dictan otras disposiciones.
<b>Decreto 1640 de 2012</b>	Por el cual se reglamenta la ordenación de cuencas hidrográficas. Reglamenta el artículo 111 de la ley 99 de 1993, modificado por el artículo 210 de la Ley 1450 de 2011 con el fin de promover la conservación y recuperación de las áreas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos que surten de agua a los acueductos municipales, distritales y regionales, mediante la adquisición y mantenimiento de dichas arenas y la financiación de los esquemas de pago por servicios ambientales.
<b>Decreto 953 del 17 de mayo de 2013</b>	Se establecen unas Reservas de Recursos Naturales de manera temporal.
<b>Resolución 705 del 28 de junio de 2013</b>	Se adopta una cartografía oficial integrada de las reservas naturales establecidas en la Resolución 705 de 2013 denominada “Reservas de Recursos Naturales Temporales.”
<b>Resolución 761 del 12 de julio de 2013</b>	Por el cual se reglamenta el título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales incluidas las licencias que debe otorgar la autoridad ambiental regional en el tema minero.
<b>Decreto 2041 septiembre de 2014</b>	Por el cual se reglamenta el Decreto 3930 de 2010 en relación a las características de los vertimientos y se establecen los parámetros y valores límite máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua.
<b>Resolución 631 de 2015</b>	

---

Fuente: Normatividad colombiana

### 3.3 ANTECEDENTES

#### 3.3.1 Estudios relacionados con minería en el Chocó

Maturana, G., Ayala, H. 1998. Análisis de la aplicabilidad de la minería de transferencia en un aluvión en el municipio de Condoto. En este trabajo se analiza desde el punto de vista geológico, minero, económico y ambiental la aplicabilidad de la minería de transferencia en un aluvión en el Municipio de Condoto. Se presentan los resultados de las observaciones de campo en esquemas, se define la viabilidad de aplicación de un método de explotación que permita la restauración de la capa vegetal del suelo y se elabora un diseño del método de explotación sugerido, mostrando que la metodología de explotación más adecuada para realizar la extracción y aprovechamiento de los metales preciosos y posterior recuperación de la capa vegetal, es la aplicación de la minería de transferencia. El diagnóstico minero ambiental determinó, que los mayores impactos negativos se generan sobre las corrientes hídricas aledañas a la explotación, para lo cual se requiere la implementación de balsas de sedimentación que disminuya la descarga de sólidos a las quebradas y la degradación de la capa vegetal.

Mena, A. 2005. Identificación y análisis de indicadores sociales en la minería artesanal en los territorios colectivos de las comunidades negras de Condoto y Tadó en el área de influencia del programa oro verde. En este trabajo se muestra una caracterización social realizada en las comunidades mineras afrodescendientes de Condoto y Tadó, evidenciando las condiciones en las que viven los trabajadores mineros, beneficiarios directos e indirectos. Se analizan indicadores de salud, educación, trabajo, recursos naturales, relaciones sociales, calidad de vida, identificando así los problemas que se presentan en la zona.

Perea, D., Córdoba, J. 1999. Efectos de la minería sobre el medio ambiente y formas de restauración de los terrenos degradados en la zona de Guayabal – Municipio de Quibdó. Plantea como la

actividad minera que se desarrolla en el corregimiento de Guayabal, se hace en forma irracional y antitécnica, por lo que no existe un claro equilibrio con la conservación de la naturaleza, viéndose afectados las cuencas hidrográficas que bañan la zona, el arrojado de volúmenes considerables de tierra, por parte de las minidragas de succión, retroexcavadoras, elevadores y motobombas. Se hace indispensable realizar un diagnóstico sobre la situación reinante en la zona, brindando y planteando soluciones sencillas y prácticas que permitan frenar el deterioro y mitigar los impactos negativos que resulten.

Quesada, J. 2015. Revisión del Impacto Socioambiental por la Minería en el Departamento del Chocó “Caso Región del San Juan”. El documento contiene una revisión de los impactos ocasionados por la minería de oro y platino a cielo abierto; se muestra la minería como la causante de numerosos impactos de largo alcance en espacio y tiempo para todos los componentes ambientales.

Rivas, L. 2015. Análisis de las Afectaciones Socioambientales Producto de la Explotación Minera Aurífera en la Parte Central de la Cuenca del Río San Pablo, Municipio del Cantón del San Pablo; Departamento del Chocó. En este trabajo se identifica el estado actual de la parte central de la cuenca frente a algunos componentes biológicos (agua, suelo, morfología, etc.) y social y su relación con el desarrollo de la actividad minera, paralelo al análisis e influencia que tienen los diferentes actores sociales frente a los impactos ambientales generados por la minería en la región.

Vargas, L., Quesada, Z., Ramírez, G. 2010. Diagnóstico ambiental de las áreas degradadas por la actividad minera en el municipio de Atrato, Chocó. En este estudio se realizó un diagnóstico ambiental en las áreas degradadas producto de la actividad minera, teniendo en cuenta criterios como ubicación, extensión, cobertura vegetal y disponibilidad de agua. Se realizaron análisis

fisicoquímicos a muestras de agua y suelo, vegetación y fauna. Se concluye que la minería genera grandes áreas deforestadas que traen consigo la emigración de especies de fauna y extinción de especies florísticas, sedimentación y desviación de los cuerpos de agua utilizados en esta actividad.

Vargas, L. 2012. Análisis de los impactos generados por la minería de oro y platino a cielo abierto sobre los recursos hídricos a partir de la cuantificación del consumo de agua y la carga contaminante de los vertimientos. En este estudio se cuantificó el consumo de agua y se caracterizaron los vertimientos en seis entables mineros con diferentes técnicas de extracción de oro a cielo abierto en tres localidades del departamento del Chocó.

### **3.3.2 Estudios relacionados con calidad del agua en el Chocó**

Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico – IIAP, 2010. Diagnóstico de la Calidad Ambiental del Recurso Hídrico en los Municipios de Tadó, Istmina, Condoto (Chocó), Iscuandé y el Charco (Nariño). Se evaluó la calidad ambiental del recurso hídrico en los *Municipios* de Tadó, Istmina, Condoto, cuenca del río San Juan (Chocó), El Charco y Santa Bárbara de Iscuandé en las cuencas de los ríos Tapaje e Iscuandé respectivamente (Nariño), mediante muestreos de macroinvertebrados acuáticos, especies de ribera, peces y análisis de parámetros fisicoquímicos y organolépticos. Los resultados arrojaron que en las quebradas Manungará, San Pablo, Apotó y río Tajuato las principales fuentes de contaminación son: la minería en mayor proporción, la agricultura y las actividades domésticas, debido principalmente a los vertimientos de residuos sólidos y líquidos. En la cuenca del río Tapaje y sus ríos Sequihonda, Pulbuza, Taija y cuenca del río Iscuandé, las fuentes principales de contaminación corresponden a desechos orgánicos resultantes de la agricultura y extracción de madera, derrames de petróleo por el desarrollo de la

actividad fluvial y el desarrollo de actividades domésticas, lo cual podría estar alterando de manera significativa los coliformes totales, puesto que solo en la Boca de Iscuandé se encuentran dentro de los límites permisibles por la normativa colombiana.

Restrepo, I. 2015. Evaluación de la calidad del recurso hídrico del río Cabí a través de la formulación de un índice de contaminación asociado a la actividad minera aurífera. En este trabajo se realiza un análisis de la contaminación realizada por la actividad minera aluvial de oro y platino en el río Cabí, perteneciente al departamento del Chocó, mediante la formulación de un índice de contaminación que permitió evidenciar la afectación de esta actividad sobre la calidad del recurso hídrico.

Sánchez, D., Cañón, J. 2010. Análisis documental del efecto de vertimientos domésticos y mineros en la calidad del agua del río Condoto (Chocó, Colombia). En este trabajo se hace un análisis de los vertimientos de minería y de los alcantarillados de las poblaciones urbanas y rurales que descargan sus aguas directamente al río Condoto. Se presenta la localización de las fuentes contaminantes y se hace un estimativo de su aporte de caudal y carga contaminante (SST y mercurio) al río, estimándose entre 21 – 26 ton/día de SST y 200 – 1000 kg/año para el mercurio, representando un riesgo de salud pública para los habitantes, así como especies de peces. Se determina que la minería probablemente es la causante del mayor impacto en la calidad del río, debido al aporte de sólidos, aceites y mercurio.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la calidad del agua del río San Juan, en el municipio de Tadó, Chocó, por el impacto que causan los vertimientos mineros.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar un diagnóstico sobre el estado actual de la fuente hídrica en un segmento del río San Juan y sus afluentes río Chato y río Mungarrá.
- Analizar los parámetros de calidad del agua en el área objeto de estudio y comparar con la normatividad ambiental vigente.
- Calcular los índices de calidad y contaminación de acuerdo a las variables fisicoquímicas designadas, evaluando el nivel de contaminación del agua.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 5.1.1 Municipio de Tadó

El Municipio de Tadó está ubicado en la parte oriental del departamento del Chocó, dentro de la zona del Alto San Juan, con un área aproximada de 878 km<sup>2</sup>, su cabecera municipal está ubicada a los 76°73'10" de longitud occidental, al margen izquierdo del río San Juan y a la derecha del río Mungarrá, tiene extensión total 878 km<sup>2</sup> y una altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar) 75 m. Tiene una población de 20.593 habitantes, distribuidos en un total de 12.547 habitantes por cabecera y 8046 en zona rural<sup>17</sup>. Figura 1.

Límites del municipio:

Norte: Municipios de Certegui y Bagadó

Sur: Municipio de Río Iró

Occidente: Municipio de Unión Panamericana

Oriente: Departamento de Risaralda

---

<sup>17</sup> Sitio oficial de San José de Tadó en Chocó, Colombia



Geología: geológicamente el municipio de Tadó se encuentra en la cuenca de los ríos Atrato y San Juan y en la vertiente occidental de la cordillera occidental (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2000-2009).

### **5.1.3 Hidrografía**

La red hidrográfica del municipio está constituida por dos grandes cuencas del río San Juan y la del Atrato.

#### ***5.1.3.1 Cuenca del río Atrato***

Es uno de los principales ríos de Colombia, nace cerca de los farallones del Citará y después de pasar por El Carmen de Atrato y Lloró llega a Quibdó; desde este punto hasta su desembocadura en el golfo de Urabá, tiene una longitud aproximada de 500 km. Pequeña pendiente poca velocidad. En su recorrido recoge las aguas de 150 ríos y de 3000 quebradas y/o arroyos entre los que sobresalen: Hábita, Riogrande, El Toro, Girardot, y la Playa en el municipio del Carmen; Capa, y Andágueda con sus afluentes Deudó, Jajarandó, Cuchadó, Colorado, Chuigo y Churima en el municipio de Lloró; Yuto, Cabí, Quito, Munguidó, Beté, Buey, Bebará, Bebaramá, Neguá, Tagachí, Pune, Paina, Baudó Grande en el municipio de Quibdó; Napipí, Opogodó, Buchadó, Bojayá en el municipio de Bojayá; Domigodó, Río Sucio, Truandó, Salaquí, Cacarica, en el municipio de Río Sucio; El Tigre, Cuque, Tanela, en el municipio de Acandí. Además recibe en el golfo de Urabá, los ríos Acandí, Tolo, Cuchandí, Triganá, (Alcaldía de Tadó, 2012-2015).

#### ***5.1.3.2 Cuenca del río San Juan***

La cuenca del río San Juan, se extiende 180 km, con dirección SW-NE al occidente de la cordillera occidental con un ancho de 80 km, las máximas elevaciones se alcanzan sobre la cordillera en el

cerro de Caramanta con 3900 m, Alto de Serna con 3650 m, cerro Tamaná con 4200m, y el cerro de Tatamá con 3950 m. (Alcaldía de Tadó, 2012-2015).

El promedio del caudal del río San Juan en Malaguita fue calculado en 2550 m<sup>3</sup>/s sobre segundos y para todo el río en 2721m<sup>3</sup>/s. El río San Juan es el más caudaloso de los tributarios de la vertiente del Océano Pacífico debido a los numerosos afluentes que recibe y a la abundante precipitación pluvial de la región que atraviesa; es navegable por barcos y por otras embarcaciones pequeñas desde su desembocadura hasta la localidad de Tadó. Atraviesa el municipio de oriente a sur occidente y riega una buena extensión de su área sus principales afluentes son: Tadocito, Mungarrá, Guarato, Chato y Profundó (Alcaldía de Tadó, 2012-2015).

#### **5.1.4 Metales preciosos**

##### ***5.1.4.1 Deposito aluvial***

Todos los minerales que se extraen en el municipio de Tadó provienen de sus aluviones auroplatiníferos, que se encuentran en las cuencas del río San Juan y sus afluentes. Las fuentes primarias para el oro en el departamento del Chocó están relacionadas con dioritas, cuarzodioritas del Batolito de Mandé y otros cuerpos intrusivos y para el platino se cree que provienen de intrusiones ultramáficas, tales como el Complejo Ultramáfico del Alto Condoto y otros que se encuentran en la cordillera Occidental. (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2000-2009).

##### ***5.1.4.2 Explotaciones de mediana minería***

Las explotaciones de mediana minería se han venido desarrollando desde 1986 en su gran mayoría de forma ilegal, la explotación de los metales preciosos se realiza por medio de retroexcavadoras a cielo abierto mediante los sistemas de Open Pit (en terrazas bajas o vegas) y de placiados (en terrazas altas); para lo cual

las retroexcavadoras realizan labores de remoción de estériles, arranque, carga de mina y descole. (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2000-2009).

Ninguna de estas explotaciones cuentan con estudios geológicos que permitan inferir sobre la conformación estratífica de los planicies aluviales de las minerales del San Juan; en la mayoría de estas minas no se desarrolla ninguna actividad de explotación sistemática de las áreas mineras a explotar, por tal motivo se tiene un conocimiento apenas superficial de las reservas y el muestreo de los minerales se hace directamente en el frente de la explotación mediante cateos poco confiables y que no representan una información segura sobre la calidad y cantidad de la reserva.

La explotación entonces se lleva a cabo simultáneamente con la exploración lo que no permite la posibilidad de llevar a cabo el debido planeamiento de la explotación y restauración de los terrenos (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2000-2009).

#### ***5.1.4.3 Explotaciones de minería de subsistencia o Artesanal***

En todas las quebradas, riachuelos y ríos de la geografía del municipio de Tadó se desarrolla una minería de subsistencia artesanal, consistente en extraer los metales preciosos por medio del mazamorreo o barequeo, minidragas de succión de 8 y 8 pulgadas, motobombas de alta y baja de 9 y 16 HP, monitoreos y elevadores. Los títulos mineros a 17 de noviembre de 1998, existen en el catastro minero de la División Regional de Minas existen 31 títulos de los cuales, 10 se encuentran otorgados y 21 en trámite. Este tipo de minería genera un alto número de empleo y usos de mano de obra; estos mineros no se encuentran registrados en las Alcaldías respectivas, debido a que estas no están cumpliendo con sus funciones de tipo administrativo y policiva que les dio el código de minas a los diferentes alcaldes municipales (Tabla 7). (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2000-2009).

**Tabla 7. Relación de Títulos Mineros para metales Preciosos de Aluvión**

MUNICIPIO	TÍTULOS MINEROS				TOTAL
	APORTES		LIC. EXPLOTACIÓN		
	Otorgados	Tramite	Otorgados	Tramite	
<b>Tadó</b>	1	-	9	21	31
<b>Total</b>	1	-	9	21	31

Fuente: MINERCOL. Citado por Esquema de Ordenamiento Territorial de Tadó.

Las primeras comunidades mineras en el Chocó, afectadas por la minería mecanizada, fueron las del Alto San Juan, en Tadó (Tabla 8). Hoy las terrazas aluviales en las vegas del San Juan y su sistema de quebradas no existen, por tanto, a los mineros afrotadoseños les corresponde desarrollar su actividad de manera nómada (detrás de las retroexcavadoras) o desplazarse a otras comunidades mineras, donde se implementan campamentos mineros, en los cuales se instalan en pequeños cambuches<sup>18</sup> durante los días de laboreo minero (lunes a sábado). El sábado en la tarde, y el domingo, los mineros pernoctan en sus comunidades de origen (IIAP, 2004).

**Tabla 8. Minería desarrollada por afrodescendientes en Tadó**

Minerales aprovechados	Tipo de minería	Sectores mineros
<b>Metales preciosos (oro y platino)</b>	Minería artesanal (mazamorreo, agua corrida, hoyadero, zambuyidero, arrimadero).	El Carmelo, Playa de Oro, Alto Chato, Manungará
<b>Metales preciosos (oro y platino)</b>	Minería artesanal (barequeo, agua corrida, hoyadero), y semimecanizada (draguetas, motobombas y elevadores).	Corcovado, El Tapón, Tadó, Mungarrá

Fuente: IIAP, 2004.

<sup>18</sup> Pequeñas ramadas, adecuadas para dormir y descansar, construidas con madera, con techos de plástico, paja y en algunas ocasiones en hierro.

## 5.2 DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

### 5.2.1 Población y Muestra

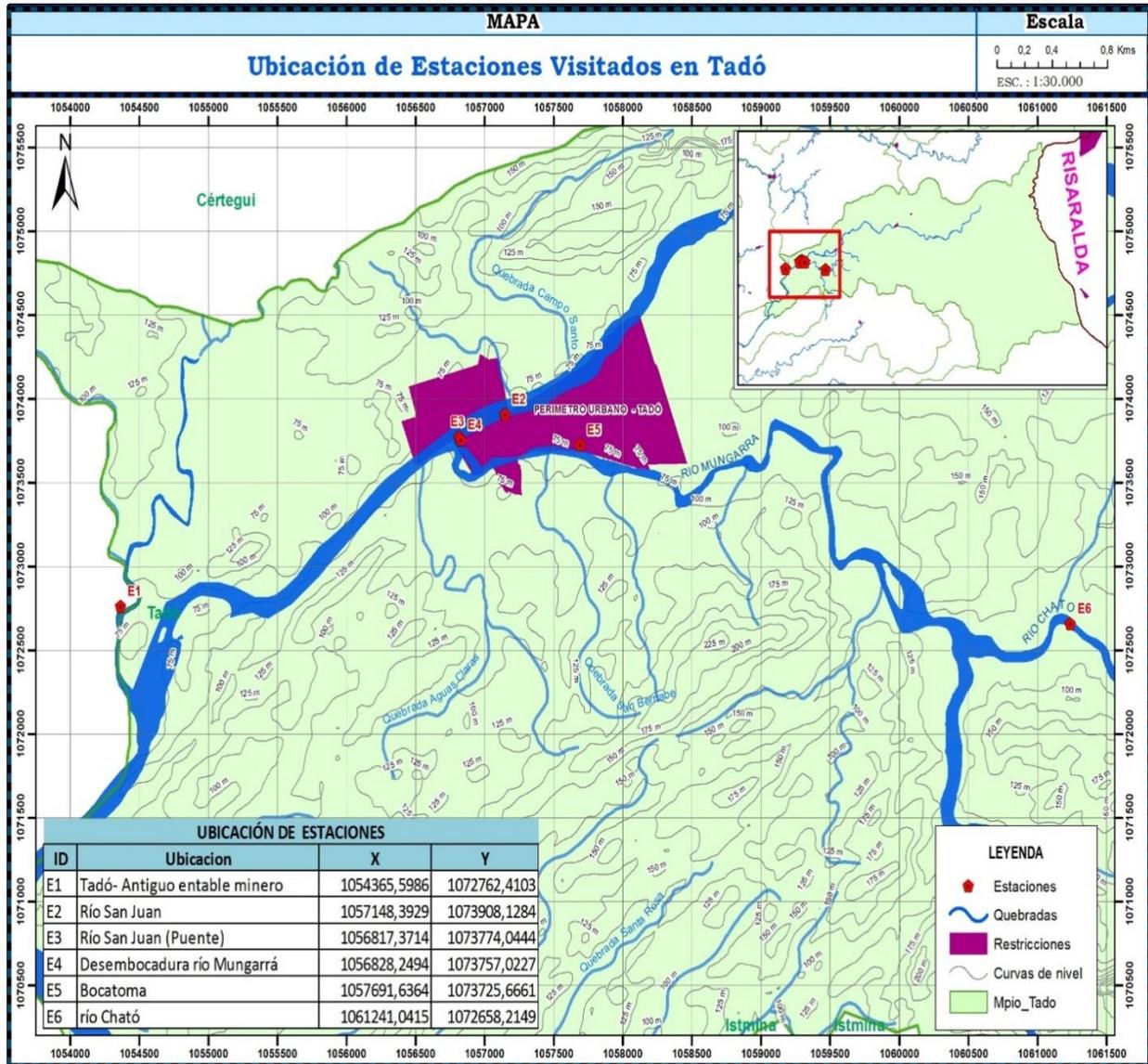
La investigación tiene como área de influencia directa segmentos de los ríos San Juan y dos de sus principales afluentes, río Mungarrá y río Chato, ubicados en el municipio de Tadó, departamento del Chocó; también se tomó como punto de muestreo pozos derivados de la explotación a cielo abierto, ubicados antes de llegar al municipio de Tadó (Tabla 9 y Figura). Los afluentes fueron seleccionados como áreas de influencia ya que ancestralmente las comunidades han desarrollado actividad minera sobre ellos (presencia de dragas y retroexcavadoras), adicionalmente es un foco de actividad doméstica (vertimientos sólidos y líquidos); el río Mungarrá se constituye como la principal fuente abastecedora del acueducto municipal de la zona.

*Tabla 9. Estaciones de Muestreo sobre la fuente hídrica*

ESTACIÓN	CÓDIGO	LOCALIZACIÓN	COORDENADAS	
			NORTE	ESTE
<b>Estación N°1</b>	E1	Tadó- Antiguo entable minero	1072762, 4103	1072762,4103
<b>Estación N°2</b>	E2	Río San Juan	1073908,1284	1057148,3929
<b>Estación N°3</b>	E3	Río San Juan (Puente)	1073774,0444	1056817,3714
<b>Estación N°4</b>	E4	Desembocadura río Mungarrá	1073757,0227	1056828,2494
<b>Estación N°5</b>	E5	Bocatoma – Río Mungarrá	1073725,6661	1057691,6364
<b>Estación N°6</b>	E6	Río Chato	1072658,2149	1061241,0415

Fuente: Autor

En la figura 2 se presentan las estaciones de muestreo en el municipio de Tadó.



**Figura 2. Estaciones de muestreo Municipio de Tadó**

Fuente: Autor.

### 5.2.2 Tipo de Investigación

La investigación se desarrolló bajo un análisis cuantitativo, que implicó un proceso de medición de parámetros para un posterior análisis. La investigación es de tipo exploratorio y descriptivo, en donde primero se revisaron estudios referentes a la calidad del recurso hídrico e influencia de la minería en la zona objeto de estudio y posteriormente, mediante datos de información secundaria evaluar la relación de las actividades antrópicas con la calidad del agua, a través de datos obtenidos en un momento determinado.

### **5.2.3 Etapas de la Investigación**

#### ***5.2.3.1 Etapa 1. Recolección de Información Secundaria***

Se realizó revisión de literatura relacionada con la calidad y cantidad del recurso hídrico, documentos relacionados con la minería aurífera, historia de la minería en la región, historia de actividades desarrolladas sobre la fuente objeto de estudio, estudios relacionados con actividad minera en el departamento del Chocó, estudios referentes a la evaluación de la calidad del recurso hídrico; información que fue útil para el diseño del marco teórico, además de establecer si en la zona objeto de estudio se contaban con estudios que dieran información sobre el estado actual de la calidad del recurso hídrico, por los efectos que causan las actividades domésticas y la minería.

#### ***5.2.3.2 Etapa 2. Recolección de Información Primaria***

La información delimito como área de estudio segmentos de los ríos San Juan, sus afluentes río Mungarrá y río Chato, y pozos derivados de la explotación minera antes de del municipio de Tadó, para la recolección de la información primaria.

La información primaria permitió obtener un diagnóstico del estado de las fuentes hídricas, ya que sobre estas fuentes se realiza actividad minera, y es común ver descargas provenientes de la actividad doméstica. La distribución del muestreo obedeció a la complejidad en cada proceso, es decir, había lugares en donde se presentaba una mayor concentración de tecnologías utilizadas para el sistema de explotación (presencia de dragas y retroexcavadoras). (Figura 3).

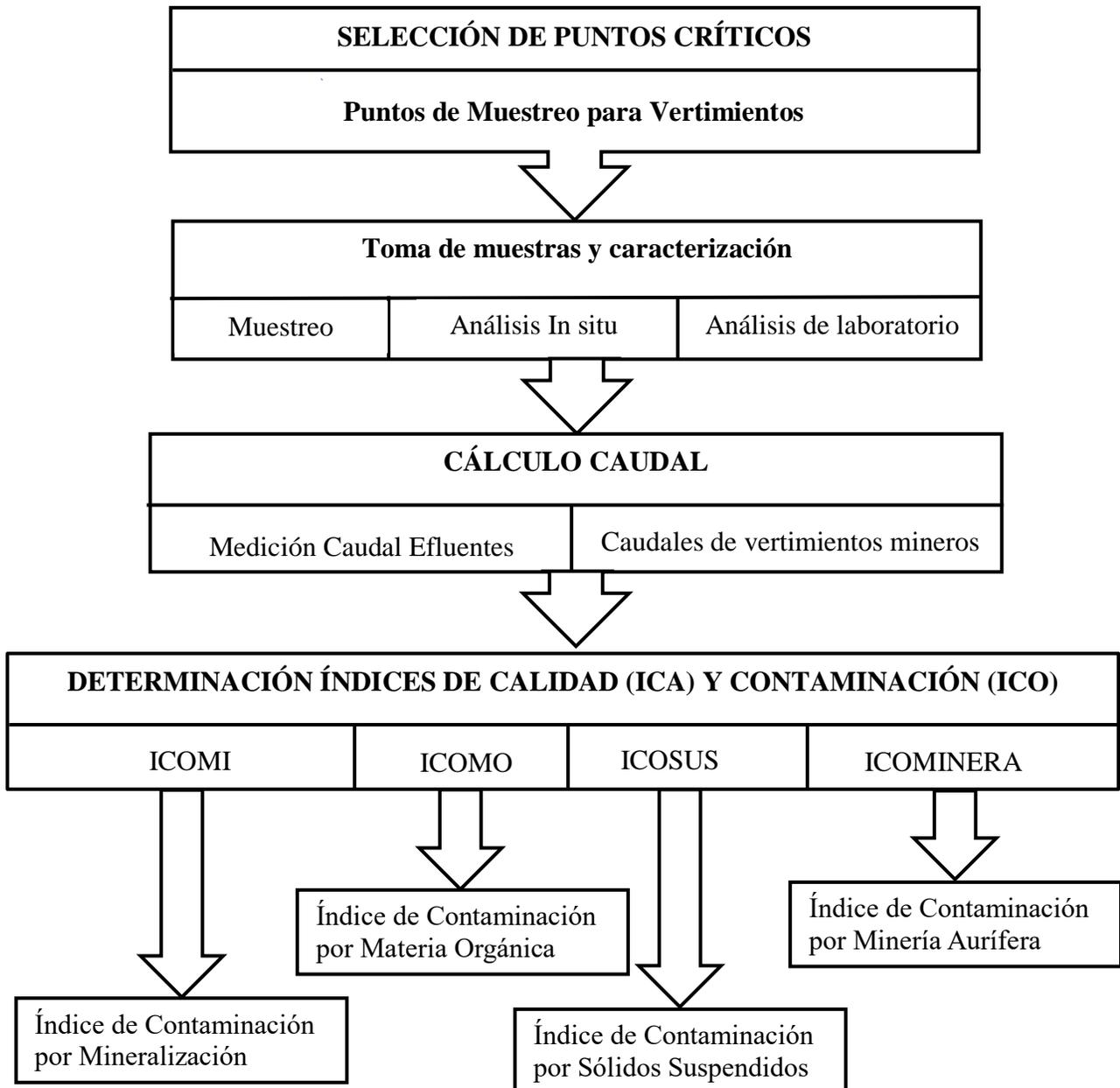


***Figura 3. Dragas utilizadas para la extracción de oro. Río Chato, Tadó.***

Fuente: Autor

Se realizaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos en cada estación de muestreo, comparando los resultados con la normatividad colombiana actual vigente (Decreto 3930 de 2010, Resolución 631 de 2015), realizando evaluación de la información mediante los Índices de Calidad (ICA), Índices de Contaminación (ICO), como son los índices de contaminación por materia orgánica, mineralización, sólidos suspendidos y el índice de contaminación por minería aurífera (Ramírez et al., 1997, Restrepo, 2015).

En la figura 4 se sigue la metodología utilizada.



**Figura 4. Metodología**

Fuente: Autor

Para la toma de muestras se utilizó el protocolo establecido por el IDEAM, Instructivo Para La Toma de Muestras de Aguas Residuales, versión 03, 2007. La cantidad de muestras tomadas se estableció de acuerdo a la disponibilidad y accesibilidad a los sitios de muestreo.

Para la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales, en los vertimientos del proceso se midieron in situ los parámetros de temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica y turbiedad. Asimismo se tomaron y se preservaron muestras para un posterior análisis fisicoquímico, los parámetros a analizar fueron: alcalinidad, DBO5, DQO, dureza total, grasas y aceites, sólidos suspendidos, sólidos totales, mercurio y coliformes totales. (Figura 5).



***Figura 5. Medición de Parámetros In Situ y toma de muestras***

Fuente: autor

Para la medición del caudal del efluente se seleccionaron puntos que presentaran tramos rectos y flujos más o menos uniformes; se utilizó una vara graduada, para obtener las diferentes profundidades a lo largo de la sección seleccionada en cada punto, obteniendo por promedio el valor de P, y con la ayuda de una cuerda se obtuvo el ancho de cada sección, obteniendo el área transversal de un segmento del río; la velocidad de la corriente se estimó con el método del flotador (Welch, 1948).

Para calcular el caudal se utilizó la siguiente fórmula:

$$Q = A * V$$

Dónde: Q: caudal (m<sup>3</sup>/s)

A= área de la sección (m<sup>2</sup>)

V: velocidad (m/s)

Con los datos obtenidos durante la medición de parámetros (Contenido de grasas y aceites, DQO y ST), se procedió a calcular el aporte de la carga contaminante en cada una de las estaciones de muestreo; para la realización de este cálculo se utiliza la expresión establecida en el Decreto 1594 de 1984 (artículo 75):

$$\text{Carga contaminante} = (Q) (.CV)(0.0864)$$

Donde:

Q= Caudal del vertimiento (l/s)

CV: Concentración en el vertimiento (mg/l)

0.0864: Factor de conversión.

La determinación del consumo de agua utilizada en cada operación, se obtuvo a través de la información relacionada con el número de bombas empleadas, la potencia y la marca de estas, así como las horas de trabajo diarias.

Los parámetros evaluados se definieron para analizar la calidad del recurso hídrico en la zona, de acuerdo al Decreto 1594 de 1984 y reiterados en el Decreto 3930 de 2010.

El volumen de agua de cada muestra depende de lo requerido en el laboratorio, parámetros como alcalinidad, dureza total, grasas y aceites, sólidos suspendidos y sólidos totales fueron determinados en el laboratorio de aguas de CODECHOCÓ, el parámetro de mercurio fue determinado en el laboratorio de análisis de aguas de CORNARE, por su parte los análisis de

turbiedad y coliformes totales se determinaron en el laboratorio de Salud Pública de la Secretaria de Departamental de Salud del Chocó.

En la tabla 10 se describen las variables fisicoquímicas a analizar, teniendo en cuenta el método de analítico utilizado, y el valor permisible de acuerdo a la normatividad colombiana (decreto 1594 de 1984).

**Tabla 10. Parámetros fisicoquímicos a analizar, método analítico y valor permisible**

<b>Parámetro</b>	<b>Método</b>	<b>Límite de detención</b>	<b>Valor Máximo Permisible</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	Potenciómetro	$\pm 0.01^\circ$	< 40°C
<b>Oxígeno disuelto (mg/l)</b>	Electrodo de membrana	0.1	No menos al 80% del % de saturación de oxígeno y no menor a 6mg/l
<b>pH</b>	Potenciómetro	0.01	5- 9 unidades
<b>Conductividad (µs/cm)</b>	Potenciómetro	1.01	-
<b>Turbidez (NTU)</b>	Nefelómetro	0.233	100
<b>Alcalinidad (mg/l CaCO<sub>3</sub>)</b>	Titulométrico	6	500
<b>Dureza total (mg/l CaCO<sub>3</sub>)</b>	Titulométrico	4	250
<b>Coliformes Totales (NPM)</b>	Filtración por membrana/Número más Probable.	N.A	20000
<b>Sólidos Totales(mg/l)</b>	Gravimétrico	60	10
<b>Sólidos Suspendidos (mg/l)</b>	Gravimétrico	10.38	10-20
<b>DBO<sub>5</sub>(mg/l)</b>	Electrodo de membrana	2	>30
<b>DQO (mg/l)</b>	Reflujo cerrado	N.A	>30
<b>Grasas y aceites (mg/l)</b>	Gravimétrico	1.8	20
<b>Mercurio (mg/l)</b>	Voltametría	0.490	0.002

N.A: no aplica.

Fuente: CODECHOCÓ, CORNARE, Laboratorio de Salud Pública.

Los requerimientos para la conservación y almacenamiento de las muestras de agua se encuentran en el Anexo 1.

Se utilizó el muestreo manual en cada uno de los puntos de monitoreo, las muestras tomadas fueron de tipo puntual.

Se realizó la valoración de los índices de contaminación en cada estación de muestreo, dependiendo del número de variables en cada caso, los parámetros medidos fueron comparados con la normatividad colombiana vigente, para aguas residuales.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 DIAGNÓSTICO SOBRE EL ESTADO ACTUAL DE UN SEGMENTO DEL RÍO SAN JUAN Y SUS AFLUENTES RÍO CHATO Y RÍO MUNGARRÁ.

El agua es uno de los recursos más afectados durante el proceso de extracción minera, ya que este recibe los vertimientos generados en esta actividad sin ningún tratamiento previo. Se realizaron mediciones de caudal en cada uno de las estaciones de muestreo y se determinó su carga contaminante. Tabla 11.

*Tabla 11. Caudal y carga contaminante en las estaciones de muestreo*

Estaciones de muestreo	Q (caudal estación)(l/s)	Carga contaminante diaria (kg/día)			
		Grasas y aceites	DQO	ST	Mercurio
Estación 2 (E2)	19350	38619.5	50991.1	100310.4	3.8
Estación 3 (E3)	12350	20914.0	130072.2	1237766.4	0.9
Estación 4 (E4)	6590	1935.9	4338.6	34162.6	0.4
Estación 5 (E5)	3980	4470.3	13101.5	371381.8	0.2
Estación 6 (E6)	4480	7664.0	29417.5	379330.6	13.4

Fuente: Autor

La carga contaminante fue estimada teniendo en cuenta los caudales de vertimientos medidos en las estaciones de muestreo y las concentraciones obtenidas de los parámetros analizados por cada estación. Los resultados muestran cifras grandes, teniendo en cuenta que los caudales son grandes en las estaciones de muestreo 2 y 3 correspondiendo al río San Juan entre los límites con la desembocadura del río Mungarrá y debajo del puente del río San Juan. Cabe anotar que en determinados puntos de muestreo se establecen varios entables mineros con diferentes tipos de explotación (dragas y retroexcavadoras), lo que hace que las cargas contaminantes aumenten y generen lodos y sedimentación en la fuente hídrica. La carga contaminante referida al mercurio es

mayor en la Estación 6, esto se debe a que en inmediaciones de esta estación se concentran la mayor cantidad de sistemas de extracción del metal sobre la fuente hídrica.

Nota: no se determinó carga contaminante en la estación de muestreo E1, debido a que esta estación obedece a los pozos generados por la actividad minera cuando se hace remoción del material, utilizando sistemas de extracción mecanizados como son las retroexcavadoras. Figura 6.



***Figura 6. Pozos generados por la actividad minera. Estación 1***

Fuente: Autor

La contaminación de las aguas al finalizar la explotación a cielo abierto, las depresiones creadas por la extracción del mineral y del material estéril durante el desbroce<sup>19</sup> y explotación se alcanzan hasta el nivel freático de la región, pasando a convertirse en lagunas o pozos, los cuales son recargados o transportados por las propias aguas subterráneas (Estudios mineros del Perú SAC).

---

<sup>19</sup> Normalmente para la remoción de un banco de mineral es necesario extraer el material estéril que lo cubre, lo que se llama desbroce y expresa una relación de tonelaje de desmonte a mineral, esta proporción es totalmente variable entre las minas ya que dependen netamente de la posición y tipo de yacimiento, que es totalmente variable. (Estudios Mineros del Peru S.A.C.)

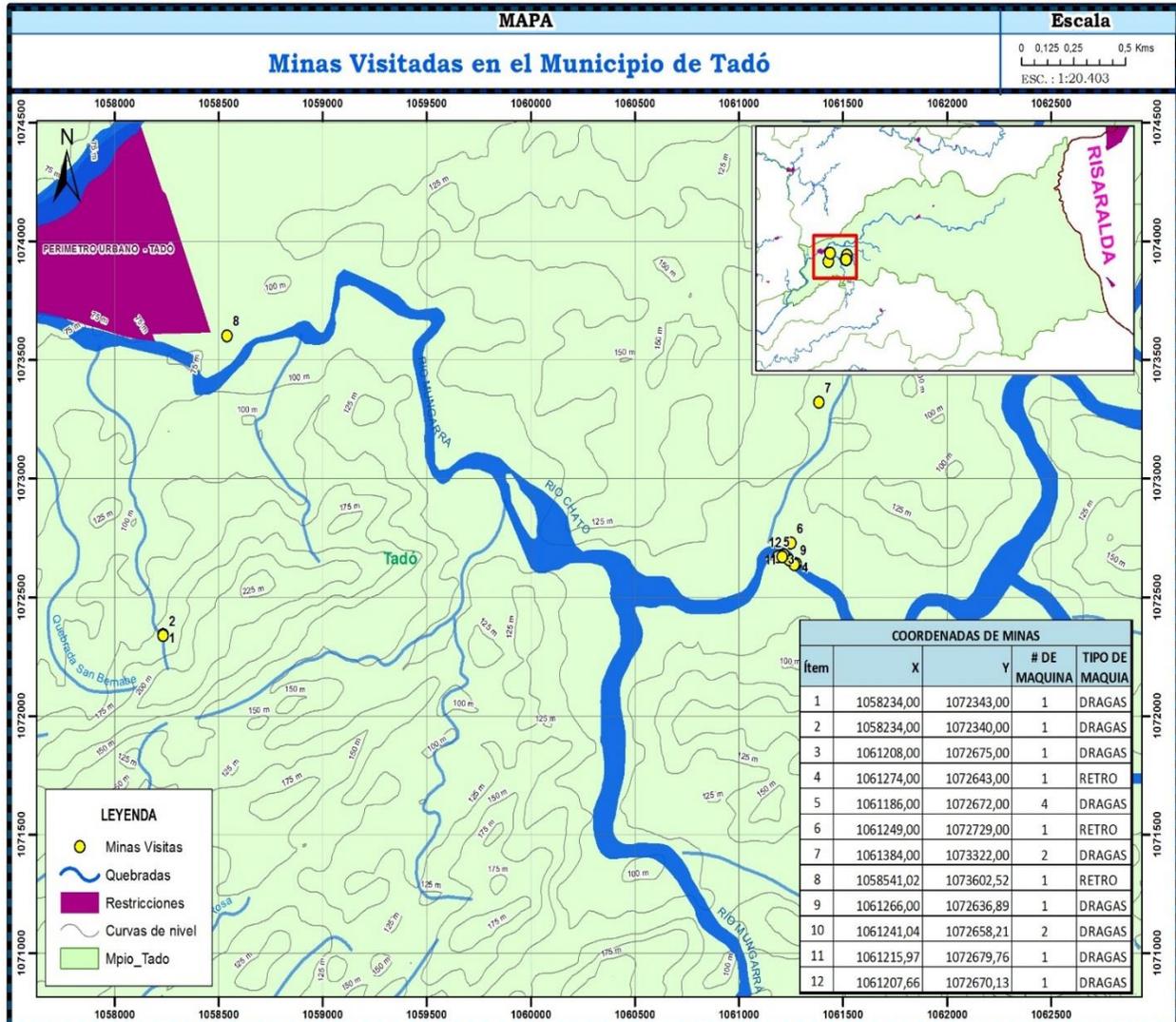
En la zona de estudio se identificaron aproximadamente 17 entables mineros, distribuidos en tres retroexcavadoras y 14 dragas. La actividad minera se concentra aguas arriba de la bocatoma del acueducto del municipio de Tadó. Tabla 12, figura 7.

*Tabla 12. Minas ubicadas en el área objeto de estudio*

<b>SISTEMA DE EXTRACCIÓN DEL METAL UTILIZADO</b>	<b>NÚMERO DE SISTEMAS DE EXTRACCIÓN</b>	<b>COORDENADA X</b>	<b>COORDENADA Y</b>
<b>Draga</b>	1	1058234.00	1072343.00
<b>Draga</b>	1	1058234.00	1022340.00
<b>Draga</b>	1	1061208.00	1072675.00
<b>Retroexcavadora</b>	1	1061274.00	1072643.00
<b>Dragas</b>	4	1061186.00	1072672.00
<b>Retroexcavadora</b>	1	1061249.00	1072729.00
<b>Dragas</b>	2	1061384.00	1073322.00
<b>Retroexcavadora</b>	1	1058541.02	1073602.52
<b>Draga</b>	1	1061266.00	1072636.89
<b>Dragas</b>	2	1061241.04	1072658.21
<b>Draga</b>	1	1061215.97	1072679.76
<b>Draga</b>	1	1061207.66	1072670.13

Fuente: Autor

En la figura 7 se identifican las minas sobre el cuerpo de agua.



**Figura 7. Minas ubicadas en el área objeto de estudio**

Fuente: autor

En conversaciones realizadas con los mineros, ellos explican que por cada estable minero se utilizan dos bombas de succión de alta presión a gasolina y aceite, operando 8 horas diarias aproximadamente en el caso de sistemas semitecnificados (dragas); las capacidades y potencias de los equipos de bombeo son de 16 HP, con caudales máximos de succión de 327 GPM, lo que permitió estimar el consumo de agua<sup>20</sup>, con una operación diaria de 8 horas por día de trabajo

<sup>20</sup> Consumo máximo alcanzado con la válvula totalmente abierta.

(3.768.000 GPD). Vargas, 2012, explica que los caudales de vertimientos generados son directamente proporcionales a la cantidad de agua consumida durante el proceso y presentan un incremento del 30% más en su volumen, representado en lodos y material sólido, producido durante el lavado del sustrato. Lo anterior se ve reflejado en los procesos de captación de agua, en donde es notable ver la presencia de cantidades apreciables de lodos y sedimentos durante el lavado en las dragas (Figura 8). Sistemas tecnificados como las retroexcavadoras son utilizadas para desmontar el material vegetal y el barro, para llegar así a cantidades de tierra y así poder visibilizar el metal que se encuentra en ella; las retroexcavadoras son alquiladas por horas, con un valor de 200.000 alquiler/h. en la figura 9, se aprecia la remoción del material con tres horas de utilización de este sistema de extracción.



***Figura 8. Sistema de Extracción del metal con Dragas***

Fuente: Autor



***Figura 9. Sistema de Extracción con Retroexcavadora***

Fuente: Autor

En cuanto al sistema de acueducto se refiere, técnicos del sistema de acueducto explican que la población se abastece a través de dos fuentes hídricas: río Mungarrá y la quebrada Santa Catalina, con operaciones de diarias de 12 horas de 2.376.000 l/día y 1.545.000 l/día respectivamente, cabe decir que en épocas de sequía la Quebrada Santa Catalina opera a 216.000 l/día. Cuando la carga contaminante es muy alta la empresa de acueducto solo utiliza el agua de la Quebrada Santa Catalina como fuente de abastecimiento. En la figura 10 se muestra la Quebrada Santa Catalina y su Bocatoma.



***Figura 10. Quebrada Santa Catalina y su Bocatoma***

Fuente: Autor

## 6.2 PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA EN EL ÁREA OBJETO DE ESTUDIO

Se realizó caracterización fisicoquímica en cada estación de muestreo, algunos parámetros fisicoquímicos fueron medidos directamente sobre la fuente hídrica, del mismo modo se tomaron muestras para su posterior análisis fisicoquímico (figura 11). La presencia de minas en la fuente hídrica aporta contaminantes a estas, cambiando la concentración de los parámetros, ubicándolos fuera de los límites establecidos por la normatividad ambiental. Adicionalmente en los procesos de extracción de oro se utilizan químicos como el azogue (mercurio), cuyas trazas van a parar a los cuerpos de agua. En la tabla 13 se presentan los resultados de los análisis de parámetros fisicoquímicos en las estaciones de muestreo.



*Figura 11. Medición de Parámetros, toma de muestras y análisis de laboratorio*

Fuente: Autor.

*Tabla 13. Resultados de parámetros fisicoquímicos en las estaciones de muestreo*

PARÁMETROS	ESTACIONES DE MUESTREO					
	Estación 1(E1) Tadó - Antiguo entable minero	Estación 2 (E2) Río San Juan	Estación 3 (E3) Río San Juan (Puente)	Estación 4 (E4) Desembocadura río Mungarrá	Estación 5(E5) Bocatoma-Río Mungarrá	Estación 6 (E6) Río Chato
<b>pH</b>	5.69	6.19	6.69	5.52	6.42	7.50
<b>Temperatura (°C)</b>	25.76	22.61	23.20	25.04	25.78	29.69
<b>Conductividad (µs/cm)</b>	65.4	54	55	26	24	20
<b>Turbiedad (NTU)</b>	393	538	932	39.0	12.9	975
<b>Oxígeno disuelto (mg/l)</b>	4.96	5.29	5.29	4.61	4.93	4.33
<b>Saturación de oxígeno (%)</b>	62.6	63.3	63.5	57.5	62.2	58.7
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/l)</b>	<2	<2	<2	<2	<2	3.31
<b>DQO (mg/l)</b>	53.3	30.5	121.9	7.62	38.1	76.2
<b>Dureza total (mg/l CaCO<sub>3</sub>)</b>	-	12	30	16	38	14
<b>Alcalinidad total (mg/l CaCO<sub>3</sub>)</b>	-	<6	<6	<6	<6	<6
<b>Sólidos Suspendidos totales (mg/l)</b>	32	32	416	24	764	1368
<b>Sólidos totales (mg/l)</b>	-	60	1160	60	1080	980
<b>Coliformes totales(NMP)</b>	-	29000	100000	7400	100	11500

Fuente: Autor

*Tabla 14. Resultados de parámetros fisicoquímicos en las estaciones de muestreo*

PARÁMETROS	ESTACIONES DE MUESTREO					
	Estación 1(E1) Tadó - Antigua entablado minero	Estación 2 (E2) Río San Juan	Estación 3 (E3) Río San Juan (Puente)	Estación 4 (E4) Desembocadura río Mungarrá	Estación 5(E5) Bocatoma-Río Mungarrá	Estación 6 (E6) Río Chato
<b>Coliformes fecales (NMP)</b>	-	29000	3800	1300	2600	700
<b>Grasas y aceites (mg/l)</b>	47.76	23.1	19.6	32.4	13	19.8
<b>Mercurio (µg/l)</b>	<1	2.29	0.853	0.716	0.49	34.7

Fuente: Autor

Los resultados del análisis de parámetros fisicoquímicos (tabla 13), muestra que en todas las estaciones de muestreo los parámetros pH, temperatura, conductividad, dureza y alcalinidad se encuentran dentro de los rangos establecidos por la normatividad ambiental para la preservación de la fauna y flora acuática (Decreto 1594 de 1984).

Los niveles de turbiedad en las estaciones E4 y E5, correspondientes a la desembocadura del río Mungarrá y a la Bocatoma – Río Mungarrá fueron bajas comparándolas con las demás estaciones de muestreo, sin embargo, estos valores se están por fuera de los límites permisibles por la normatividad (5 NTU). La turbiedad es producida por materiales en suspensión, presencia de materia orgánica e inorgánica (Roldan, 2003); en cada de una de las estaciones de muestreo se destaca la presencia de sólidos suspendidos, sólidos totales, así como el contenido de grasas y aceites, lo que implica el nivel opaco en el agua por la materia particulada en suspensión. Los materiales que provocan la turbiedad son los responsables del color, determinando la transparencia del agua, ya que se limita el paso de la luz a través de ella, provocando una alteración en los procesos fotosintéticos importantes en el desarrollo de la vida acuática.

El oxígeno disuelto en todas las estaciones de muestreo no se encuentra tan alejado del valor permisible (5 – 8mg/l), en el muestreo realizado se obtuvieron valores entre 4.0 y 5.30 mg/l aproximadamente. La principal fuente de oxígeno es el aire, el cual es difundido rápidamente en el agua por la turbulencia en los ríos (Roldan, 2003). Los niveles de porcentaje de saturación de oxígeno se encuentran entre 57.5 - 63.5% en las estaciones de muestreo, no obstante, se establece que debe ser del 70% (Decreto 1594 de 1984); valores de porcentaje de saturación de 80 a 120 % se consideran excelentes y valores menores al 60% o superiores a 125% se consideran malos. Se conoce además que la concentración del oxígeno disuelto es

dependiente de factores como: reoxigenación atmosférica, respiración animal y vegetal, demanda béntica, demanda bioquímica (Perdomo y Gómez, 2000).

Se presentan valores bajos de  $DBO_5$  en todos los puntos de muestreo, la  $DBO_5$  mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, y se utiliza para determinar su grado de contaminación (Roldan, 2003), lo que indica que no se presentan medios biológicos (bacterias) para descomponer los desechos orgánicos, ya que estos medios pudieron ser eliminados durante el proceso de remoción de material vegetal con los sistemas de extracción utilizados para encontrar el mineral. En contraste con la  $DBO_5$ , la DQO presentó valores considerables, oscilando entre 7.6 – 122 mg/l, como la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo; permite determinar las condiciones de biodegradabilidad y el contenido de sustancias tóxicas, así como la eficiencia de las unidades de tratamiento (Roldan, 2003), lo que especifica una mayor presencia de material bacteriano orgánico necesario para descomponer los materiales contenidos en el agua.

Niveles de sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos totales (ST) presentaron valores altos, siendo estos de 32 – 1368 mg/l y 60 – 1160 mg/l para SST y ST respectivamente; los sólidos totales incluyen sólidos disueltos y suspendidos, los ríos con mucha concentración de sólidos suspendidos pueden ocasionar reacciones desfavorables para el consumidor, así como un aumento de la turbiedad del agua impidiendo el desarrollo de la flora y fauna acuática. La presencia de SST y ST se debe a la gran cantidad de materiales estériles producto del lavado del mineral. Las estaciones de muestreo E2 y E3 presentan valores de coliformes totales y coliformes fecales fuera del valor permisible por el decreto 1594 de 1984 (2000 NMP para

coliformes fecales y 20000 NMP para coliformes totales), esto se debe a que en estas estaciones de muestreo se presenta alta actividad doméstica, hay evacuación sin control de aguas residuales y desechos líquidos procedentes del uso doméstico del agua.

Los valores de grasas y aceites están entre 13 – 48 mg/l aproximadamente, la normatividad establece que para la preservación de fauna y flora estas deben ser ausentes “No se aceptará película visible de grasas y aceites flotantes, materiales flotantes provenientes de actividad humana, radioisótopos y otros no removibles por desinfección, que puedan afectar la salud humana” (Decreto 1594 de 1984). La presencia de grasas y aceites se relaciona con el uso de lubricantes y combustibles para la operación de los equipos utilizados en la extracción del mineral, hay derrames constantes de estos químicos a la fuente hídrica ya que la actividad se desarrolla directamente sobre ella. Es común ver sobre el Río Chato (E5), películas visibles de grasas y aceites flotantes, provenientes de los combustibles (gasolina y ACPM) usados en las dragas ubicadas sobre el río. El aceite y la grasa que entran al ecosistema acuático intervienen con la fotosíntesis y el intercambio de gases.

Se reportan concentraciones para el mercurio que superan el valor permisible por la normatividad (0.002 mg/l), oscilando entre 0.5 – 34 µg/l aproximadamente. La estación de muestreo E5, presenta el valor más alto para este parámetro ya que en inmediaciones a esta estación la concentración de actividad minera es mayor (presencia de dragas y retroexcavadoras). A pesar de que se reporta alto contenido de mercurio, algunos mineros comentan que en los procesos de extracción del mineral utilizan la savia de especies vegetales como el Yarumo o Balso (*Cecropia peltata*), otros dicen utilizar detergente en polvo, lo que evita que la grasa se pegue al metal (oro), por su parte algunos mineros manifiestan utilizar 1 libra de mercurio mensual. La estación 1 (E1) corresponde a los pozos o depresión que

quedan en la zona cuando se ha realizado actividad minera, lo que muestra que a pesar de que el sitio lleva largo tiempo sin presentar actividad quedan trazas de mercurio en el agua. El mercurio contenido en el agua es bioacumulado por los peces a través del proceso de biotransformación realizado por los microorganismos acuáticos (Barba, 2002).

Sánchez & Cañón, 2010, expresan que el 50% de la cantidad de mercurio utilizado, aproximadamente el 25% se emite a la atmósfera. Existen reportes que para beneficiar 17.7 toneladas de oro se utilizan cerca de 108 toneladas de mercurio, es decir una relación de 1:6 entre Au y Hg (Gómez, 200, citado por Vargas, 2012). Urrego y Díaz, 2008, indican que, por cada gramo de oro producido, se utilizan cinco gramos de mercurio. Los datos anteriores muestran las grandes cantidades de mercurio utilizados en la extracción del mineral, adicional es grande el volumen de agua utilizado durante la actividad, las concentraciones de mercurio no son detectados únicamente en los vertimientos líquidos generados. Se informa que el mercurio en el agua se encuentra sobre todo en forma inorgánica, pero puede pasar a compuestos orgánicos por acción de los microorganismos presentes en los sedimentos, se los cuales se traslada al plancton, algas y a organismos de niveles tróficos superiores como los peces, aves rapaces y al hombre, siendo sus efectos neurotóxicos y genotóxicos (Barrenechea, 2010, citado por Vargas, 2012).

### **6.3 CÁLCULOS ÍNDICES DE CALIDAD Y DE CONTAMINACIÓN**

Según Fernández, Ramírez y Solano (2003) los ICO's presentan una ventaja respecto a los ICA ya que desagregan los tipos de contaminación y evitan que unas variables o problemas ambientales de contaminación queden enmascarados en torno a otras variables, lo que permite una mejor visualización de estos problemas en un sistema hídrico.

Para el cálculo del criterio de evaluación del nivel de contaminación se aplicó la metodología empleada por Ramírez & Viña (1997), estos índices definen el grado de contaminación del agua, mediante valores que se encuentran entre 0 y 1.0, siendo 0 el nivel más bajo de contaminación y 1.0 el nivel más alto de contaminación. Los índices de contaminación a calcular son el índice de contaminación por mineralización- ICOMI, índice de contaminación por materia orgánica – ICOMO y el índice de contaminación por sólidos suspendidos – ICOSUS. Asimismo, se calcula el índice por minería aurífera en la que se incluye el parámetro fisicoquímico mercurio, propuesto por Restrepo, 2015.

### 6.3.1 Cálculo del Índice de Contaminación por Mineralización – ICOMI.

Para el cálculo de este índice de contaminación se utilizan los resultados obtenidos de parámetros fisicoquímicos como la conductividad, alcalinidad y dureza. Tabla 14.

**Tabla 15. Resultados Índice de Contaminación por Mineralización**

Estaciones de muestreo	Valores de los Subíndices			Valor ICOMI	Grado de contaminación
	I <sub>conductividad</sub>	I <sub>dureza</sub>	I <sub>alcalinidad</sub>		
Tadó - Antigu entable minero- E1	1.82	-	-	-	-
Río San Juan – E2	1.73	0	0	0.58	Media
Río San Juan (Puente) – E3	1.74	1.48	0	1.07	Muy alta
Desembocadura río Mungarrá –E4	1.41	0	0	0.47	Media
Bocatoma-Río Mungarrá. –E5	1.38	1.58	0	0.99	Muy alta
Río Chato. E6	1.30	0	0	0.43	Media

Fuente: Autor

De la tabla se infiere que se presenta contaminación entre media y muy alta en las estaciones de muestreo. Se presenta una contradicción entre los valores obtenidos el ICOMI y los

resultados de los parámetros fisicoquímicos en cuanto a dureza, conductividad y alcalinidad se refiere, ya que estos valores fueron bajos, por lo tanto se espera un índice de contaminación bajo; por su parte se debe tener en cuenta que el fenómeno de mineralización está ligado a la capacidad del cuerpo de agua que se estudia de disolver tanto cationes como aniones y esto se puede ver reflejado en la cantidad de sólidos disueltos que se pueden presentar y que incrementa o disminuye con la variación misma del resultado final del índice de contaminación (Cañas, 2010).

### 6.3.2 Cálculo del Índice de Contaminación por Materia Orgánica – ICOMO.

Para el cálculo de este Índice de Contaminación se utilizan variables fisicoquímicas como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno, quienes en conjunto presentan efectos distintos de contaminación. Tabla 15.

*Tabla 16. Resultados Índice de Contaminación por Materia Orgánica*

Estaciones de muestreo	Valores de los Subíndices			Valor ICOMO	Grado de contaminación
	IDBO5	IColiformes totales	I% de sat. oxig		
Tadó - Antiguo entable minero-E1	-	-	-	-	-
Río San Juan – E2	0.00	1.00	0.37	0.46	Media
Río San Juan (Puente) – E3	0.00	1.00	0.37	0.46	Media
Desembocadura río Mungarrá –E4	0.00	0.73	0.43	0.38	Baja
Bocatoma-Río Mungarrá. –E5	0.00	0.00	0.38	0.13	Ninguna
Río Chato. E6	0.00	0.83	0.41	0.42	Media

Fuente: Autor

No se determina Índice de Contaminación por Materia Orgánica y el Índice de Contaminación por Mineralización en la estación de muestreo 1 – E1, ya que esta estación corresponde a pozos o depresiones productos de la actividad minera que quedan de un determinado entable minero, cuando se da la remoción del material en busca del mineral.

No se presenta contaminación por materia orgánica en la estación 5, correspondiente a la ubicación de la Bocatoma de abastecimiento de acueducto del municipio de Tadó, lo que quiere decir que la influencia de las actividades domésticas en esa zona es baja, por otra parte se presenta nivel de contaminación medio en las estaciones E2 (Río San Juan), E3 (Río San Juan, Puente) y E6 (Río Chato); en las estaciones E2 y E3 está muy marcada la influencia de actividades domésticas, desechos humanos, procesamiento de alimentos, productos químicos como jabones y detergentes, vertimientos sólidos y líquidos van a parar a partes cercanas a esta zona; en la estación E6 se presenta gran parte de la actividad minera, de acuerdo a los sitios de muestreo, cabe decir, que muchos de los mineros que trabajan en los alrededores de la zona realizan sus actividades directamente sobre la fuente hídrica, deposiciones humanas, vertimientos sólidos y líquidos, presencia de grasas y aceites asociados a los sistemas de extracción utilizado, ocasionan contaminación por materia orgánica. Contaminación por materia orgánica muestra bajos niveles de DBO5 y porcentajes de saturación de oxígeno, lo que ocasiona menor solubilidad del oxígeno, afectando directamente la vida acuática aerobia.

### **6.3.3 Cálculo del Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos – ICOSUS**

Para el cálculo de este índice de contaminación solo se tiene en cuenta la concentración de sólidos suspendidos, asociado con las partículas orgánicas e inorgánicas que se mantienen en suspensión en una solución. Tabla 16.

*Tabla 17. Resultados Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos*

<b>Estaciones de muestreo</b>	<b>Valor Subíndice Isólidos suspendidos</b>	<b>Valor ICOSUS</b>	<b>Grado de Contaminación</b>
<b>Tadó - Antiguo entable minero- E1</b>	0.08	0.08	Ninguno
<b>Río San Juan – E2</b>	0.08	0.08	Ninguno
<b>Río San Juan (Puente) – E3</b>	1.00	1.00	Muy Alta
<b>Desembocadura río Mungarrá –E4</b>	0.05	0.05	Ninguno
<b>Bocatoma-Río Mungarrá. – E5</b>	1.00	1.00	Muy Alta
<b>Río Chato. E6</b>	1.00	1.00	Muy Alta

Fuente: Autor

La presencia de sólidos suspendidos en las estaciones de muestreo E3 (Río San Juan-Puente), E5 (Bocatoma – Río Mungarrá) y E6 (Río Chato) se encontró en los niveles más altos; niveles altos de contaminación de este índice se asocia con el material de arrastre proveniente del material estéril utilizado para extraer los minerales, en casos donde está muy marcada la actividad minera (E6), es de anotar que siendo E6 la última estación de muestreo, el material que proviene de esta zona termina en la estación E3, de igual forma la presencia de este parámetro también está asociado a las escorrentías pluviales de la carretera aledaña al cuerpo de agua. Sólidos suspendidos comprende toda la materia disuelta en al agua, como arcillas, limo, etc., las fuentes hídricas que presentan mucha concentración de sólidos suspendidos pueden ocasionar reacciones desfavorables para el consumidor, pues se afecta tanto la calidad como la cantidad de agua (Ocasio, 2008).

### 6.3.4 Cálculo del Índice de Contaminación por Minería – ICOMINERA

Índice formulado por Restrepo, 2015, las variables que intervienen en este índice son turbiedad, sólidos suspendidos totales y metales pesados como el mercurio, siendo el mercurio el indicador directo del impacto de la minería aurífera aluvial. Tabla 17.

*Tabla 18. Resultados Índice de Contaminación por minería aurífera*

Estaciones de muestreo	Valores de los Subíndices			Valor ICOMINERA	Grado de contaminación
	I <sub>Turbiedad</sub>	I <sub>Sólidos suspendidos totales</sub>	I <sub>Mercurio</sub>		
<b>Tadó - Antiguo entable minero-E1</b>	1.00	0.076	0.09	0.39	Contaminación leve
<b>Río San Juan – E2</b>	1.00	0.076	0.20	0.42	Contaminación media
<b>Río San Juan (Puente) – E3</b>	1.00	1	0.10	0.70	Contaminación alta
<b>Desembocadura río Mungarrá –E4</b>	0.33	0.052	0.09	0.16	No hay contaminación
<b>Bocatoma-Río Mungarrá. –E5</b>	0.21	1	0.07	0.43	Contaminación media
<b>Río Chato. E6</b>	1.00	1	6.47	2.82	Contaminación muy alta

Fuente: Autor

Los resultados muestran que la única estación de muestreo que no presenta contaminación por actividad minera es la estación 4, correspondiente a la desembocadura del Río Mungarrá, por su parte se presenta contaminación que oscila entre leve y muy alta en las demás estaciones de muestro. La estación 1, correspondiente a los pozos o depresiones productos de la actividad minera (zona de extracción abandonada) presento un grado de contaminación leve, indicando que la concentración de mercurio allí presente corresponde a la cantidad que quedó retenida en los sedimentos y no ha sido arrastrada por las fuertes lluvias que se dan en

la zona. Es preocupante los resultados presentados en la estación 5 –E5 (Bocatoma – Río Mungarrá), contaminación media, siendo este el cuerpo de agua que abastece al municipio del servicio de acueducto; en inmediaciones a esta zona se pueden ver sistemas de extracción minera como son las dragas, sin embargo hay que tener en cuenta que este índice también incluye valores de turbiedad y sólidos suspendidos totales, donde el índice por sólidos suspendidos totales fue el mayor de los tres índices determinados en esa estación, lo que muestra que el grado de contaminación encontrado se da más por la presencia de sólidos suspendidos que por la presencia del mercurio; caso contrario sucede con la estación 2- E2 (Río San Juan), se presenta contaminación media, pero el índice que más influye en la determinación del grado de valoración, fue la turbiedad, aunque se debe prestar atención a la concentración de mercurio utilizado ( $2.29 \mu\text{g/l}$ ), algo semejante ocurre en la estación 3 –E3 (Río San Juan – Puente), el índice de mercurio es bajo, pero se obtuvo valores altos en cuanto al índice de turbiedad y sólidos suspendidos totales se refiere. Era de esperarse que la estación 6 – E6 (Río chato) presentara alta contaminación por minería aurífera, con un valor de índice de  $2.82$  ( $34.7 \mu\text{g/l}$ ), estando por encima de la valoración cualitativa otorgada al índice; en esta zona está muy marcada la actividad minera, presencia de sistemas de extracción son muy comunes ver en la zona (figura 3) y aunque algunos mineros afirman no utilizar mercurio en el proceso, sino que utilizan especies vegetales o detergente polvo en reemplazo del mercurio los resultados muestran un alto índice de mercurio ( $6.47$ ); la carga estimada diaria de mercurio utilizado es de  $13.4 \text{ kg/día}$  (tabla 11).

En lo que se refiere a la turbiedad, REITEC, 2011 reporta que las altas concentraciones de turbiedad en el agua bloquean el paso de la luz solar y evitan que las plantas acuáticas logren fotosíntesis, disminución del oxígeno disuelto, muerte en la vegetación acuática y aumento

en la absorción de calor adicional proveniente de la luz solar ocasionando menor solubilidad del oxígeno.

Se hace necesario establecer e implementar medidas de manejo ambiental en cuanto a la actividad minera se refiere; la actividad minera trae consigo remoción del material vegetal, afectación de la biota acuática, etc.; los parámetros fisicoquímicos como la DBO5, grasas y aceites, metales como el mercurio, turbiedad, sólidos suspendidos toles y sólidos totales, coliformes totales y fecales, se encuentran por encima de lo establecido por la normatividad vigente colombiana (Decreto 1594 de 1984) por lo que se requiere la búsqueda de iniciativas para contribuir a mejorar el problema.

## 7. CONCLUSIONES

La actividad minera que se presenta en la zona, contiene sistemas de extracción que van desde sistemas artesanales hasta sistemas semitecnificados y tecnificados, los cuales incluyen el uso de dragas, bombas de alta presión y retroexcavadoras respectivamente, ubicados en inmediaciones a la fuente hídrica. Fueron identificados 17 entables mineros aproximadamente distribuidos entre retroexcavadoras y dragas, siendo las dragas las de mayor representación.

Parámetros fisicoquímicos como los coliformes totales y fecales se asocian a las actividades domésticas, por su parte la  $DBO_5$ , mercurio, turbiedad, sólidos suspendidos totales y sólidos totales, porcentaje de saturación de oxígeno, grasas y aceites, se relacionan con la actividad minera; el incremento de los niveles de turbiedad causa una disminución del oxígeno disuelto y disminución de la  $DBO_5$ , necesario para descomponer la materia orgánica presente en el cuerpo de agua.

Se presenta muy alta contaminación por mineralización en las estaciones E3 (Río San Juan – Puente) y E4 (desembocadura Río Mungarrá), lo que indica que la cantidad de sólidos disueltos en la zona está afectando los niveles de conductividad, así como la cantidad de cationes y aniones presentes.

No se presenta contaminación alta por materia orgánica en la zona, sin embargo los valores medios obtenidos en las diferentes zonas, se debe a que ellas están muy marcadas por las actividades domésticas, de ahí los altos valores de coliformes totales.

La contaminación por sólidos suspendidos fue alta en las tres zonas de muestreo, estos sólidos se asocian con el material de arrastre proveniente de la actividad minera, sobre todo en E6 (Río Chato).

El Índice de Contaminación por Minería Aurífera- ICOMONIERA, oscilo en grados de contaminación entre leve y muy alto, siendo muy alta en la estación E6 (Río Chato), donde es común ver sistemas de extracción del mineral sobre o en inmediaciones al cuerpo de agua, lo que incrementa los niveles de turbiedad y sólidos suspendidos; también se evidencia la utilización de mercurio en los sistemas de extracción, estimando que la carga diaria utilizada es de 13.4 kg/día.

La actividad minera en la zona presenta alto índice de movilidad e ilegalidad, lo que dificulta que las autoridades ambientales puedan ejercer control en la zona.

## 8. RECOMENDACIONES

Se deben implementar actividades de prevención, control, minimización y todas las actividades que influyen extracción del mineral, lo que permitirá la mitigación de impactos ambientales.

Realizar investigaciones adicionales sobre el río San Juan y sus afluentes en diferentes condiciones del año, la realización de monitoreos frecuentes permitirá dar información sobre los efectos de la actividad minera en los cuerpos de agua.

Se hace necesario que las autoridades competentes, fortalezcan los procesos en cuanto al manejo del recurso hídrico se refiere, que incluya aspectos legales, sociales y ambientales, de tal forma que se aporte al desarrollo del municipio.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

Barba, L. 2002. Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición.

Pág. 55. Universidad del Valle, Cali.

Barrenechea, A. (2010). *Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. Manual I: teoría.*

Lima: Organización Panamericana de la Salud (OPS), Organización Mundial de la salud (OMS).

Cañas, J. (2013). Determinación y Evaluación de Índices de Contaminación (ICOS) en cuerpos de agua. Artículo final de especialización. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.

CVC y Universidad del Valle. (2004). Estudio de la calidad del agua del río Cauca y sus principales tributarios mediante la aplicación de índices de calidad y contaminación.

Convenio de Donación IDRC - Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico. (2005). Diagnóstico Situacional de la Minería Artesanal y en Pequeña Escala Desarrollada por Afrocolombianos en Territorios Colectivos de Comunidades Negras en el Chocó Biogeográfico.

Echarri, L. (2007). Población, ecología y ambiente. Universidad de Navarra, Barcelona, España.

Estudios Mineros del Perú SAC, Manual de Minería. Lima, Perú.

Alcaldía de Tadó. 2000-2009. Esquema de Ordenamiento Territorial de Tadó. Departamento del Chocó, Alcaldía Municipal.

Alcaldía Municipal de Tadó. 2012-2015. Plan de Desarrollo Territorial “Un Gobierno Para Todos”. Departamento del Chocó, Alcaldía Municipal.

Fernández, N., Ramírez, A., Solano, F. (2003). Índices Físicoquímicos de Calidad de Agua un Estudio Comparativo. Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: para la vida y el Desarrollo Sostenible, Cali, Valle del Cauca.

Fernández, N., Solano, F. (2005). Índices de Calidad (ICAs) y de Contaminación (ICOs) del Agua de Importancia Mundial. Capítulo II y III. Universidad de Pamplona, Colombia.

Gobernación del Chocó. (2012-2015). Bases del Plan de Desarrollo “Un Nuevo Chocó Para Vivir”. Quibdó, Chocó.

Gómez, J. Riesgo potencial de alteración de la calidad ambiental derivado de actividades de extracción y beneficio de oro en la cuenca Magdalena, Cauca. Tesis inédita de pregrado, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Gómez, S., Rojas, S. (2014). Afectación Ambiental de la Calidad del Agua de la Quebrada Cascabel Generada por la Explotación Minera Artesanal del Municipio de Marmato

departamento de caldas. (Tesis inédita de maestría). Universidad de Manizales, Caldas, Manizales.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2007). Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Colombia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2007). Instructivo Para la Toma de Muestras de Agua Residuales. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Colombia.

Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico- IIAP. (2010). Diagnóstico de la Calidad Ambiental del Recurso Hídrico en los Municipios de Tadó, Istmina, Condoto (Chocó), Iscuandé y el Charco (Nariño). Calidad Ambiental San Juan y Tapaje. Chocó, Colombia.

Lenntech. (2006). *Agua residual & purificación del aire. Holding B.V. Rotterdamseweg 402 M 2629 HH Delft, Holanda) Potablewater.* Recuperado de [http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/subtemas/3/3\\_Calidad\\_del\\_agua.pdf](http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/subtemas/3/3_Calidad_del_agua.pdf).

Liu, z., Weller, D., Correll, D., Jordán, T. (2001). An Assessment of sediment quality at the streams flowing into Izmir Bay, Aegean Sea, Turkey. *Journal of Biológica Sciences*. 10(10): 1738-1742.

Machado, L., Ospina, J., Henao, N., Marín, F. (2010). Problemática ambiental ocasionada por el mercurio proveniente de la minería aurífera tradicional, en el corregimiento de providencia, Antioquia. (Tesis inédita de posgrado). Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Martínez, (2006). Análisis de BOD<sub>5</sub> por el método SM 5210B. Edición 20. AAA/SOP-QA-012. Pág. 20.

Martínez, R. (2010). *Propuesta metodológica para la evaluación de impacto ambiental en Colombia*. (Tesis inédita de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Maturana, G., Ayala, H. (1998). Análisis de la aplicabilidad de la minería de transferencia en un aluvión en el municipio de Condoto. (Tesis inédita de pregrado). Universidad Tecnológica del Chocó, Diego Luis Córdoba.

Mejía, J. (2010). Estudio sobre la calidad del agua potable del Cantón Gualaquiza. (Tesis inédita de para la obtención del título de Magister). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

Mena Moya, A. (2005). Identificación y análisis de indicadores sociales en la minería artesanal en los territorios colectivos de las comunidades negras de Condoto y Tadó en el

área de influencia del programa de oro verde. (Tesis inédita de pregrado). Universidad Tecnológica del Chocó, Diego Luis Córdoba.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Bogotá, Colombia: el Ministerio.

Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000*. Págs. E5-E6. Bogotá D.C. Recuperado de [http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7.\\_Tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales.pdf](http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7._Tratamiento_de_aguas_residuales.pdf).

Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, Ministerio de Salud. (1993). Reglamento de Higiene y Seguridad en las labores Mineras a Cielo Abierto (Decreto 2222 de 1993). Bogotá, Colombia: el Ministerio.

Norma Venezolana. (2002). Aguas naturales, industriales y residuales. Definiciones. Covenin 2634:2002. Recuperado de <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/2634-02.pdf>.

Ocasio, F. (2008). *Evaluación de la calidad del agua y posibles fuentes de contaminación en un segmento del río Piedras*. (Tesis inédita de maestría). Universidad Metropolitana, San Juan, Puerto Rico.

Ott, W. (1978). *Environmental Indices, Theory And Practice*, Aa Science, Ann Arbor, Michigan.

Perdomo, G., Gómez, M. (2000). *Estatuto de aguas para el área de jurisdicción de la corporación autónoma regional del Tolima*. 3° ed. CORTOLIMA, Ibagué.

Perea, D., Córdoba, J. (1999). *Efectos de la minería sobre el medio ambiente y formas de restauración de los terrenos degradados en la zona de Guayabal – municipio de Quibdó*. (Tesis inédita de pregrado). Universidad Tecnológica del Chocó, Diego Luis Córdoba.

Quesada, J. (2015). *Revisión del Impacto Socioambiental por la Minería en el Departamento del Chocó “Caso Región del San Juan”*. Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.

Ramírez A. Restrepo R, Viña G, (1997). *Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales, formulación y aplicación*. Ecotest Ltda., revista Ciencia Tecnología y Futuro (1):3, 135-153.

Ramírez, A., Viña, G. (1998). Limnología colombiana. Aportes a su conocimiento y Estadísticas de análisis. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia.

Ramírez, A., Restrepo, R., Cardeñosa, M. (1999). Índices de Contaminación para Caracterización de Aguas Continentales y Vertimientos. Formulaciones. . Ciencia y Tecnología y Futuro 1(3), 135-15.

REITEC Servicios de Ingeniería. (2011). Aspectos teóricos de la turbidez. Recuperado de <http://www.reitec.es/web/descargas/agua05.pdf>.

Restrepo, I. (2015). Evaluación de la calidad del recurso hídrico del río Cabí a través de la formulación de un índice de contaminación asociado a la actividad minera aurífera. (Tesis inédita de maestría). Universidad de Manizales, Manizales, Colombia.

Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Propuesta para el uso del método BMWP/Col, pág. 170. Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia.

Sánchez, D., Cañón, J. (2010). Análisis documental del efecto de vertimientos domésticos y mineros en la calidad del agua del río Condoto (Chocó, Colombia). Gestión y Ambiente, 13(3), 115-130.

Stevens Institute of Technology. (2008). The Center for Innovation Ingenieering and Science Education. Libreta de campo para las pruebas de las muestras de agua.

Torres, P., Cruz, C., Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. Revista Ingenierías, Universidad de Medellín. pp. 79-94.

Urrego, A., Díaz, J. (2008). Evolución y evaluación de la contaminación antrópica por el uso del mercurio en minería: caso nordeste antioqueño. Monografía para optar al título de Especialista en Gestión Ambiental. Universidad de Antioquía, Medellín, Antioquia.

US EnvironmentalProtection Agency. (1986). Quality Criteria for Water. Office of wáter: Regulation and Standards. USEPA- 440/5-86-001.

Vargas, L., Quesada, Z., Ramírez, G., Valoyes, Z. (2010). Diagnóstico ambiental de las áreas degradadas por la actividad minera en el municipio de Atrato, Chocó. Bioetnia, 7(1), 23-37.

Vargas, L. (2012). Análisis de los impactos generados por la minería de oro y platino a cielo abierto sobre los recursos hídricos a partir de la cuantificación del consumo de agua y la carga contaminante de los vertimientos. Bioetnia, 9(2), 203-214

## ANEXOS

### *Anexo 1. Requerimientos para conservación y almacenamiento de muestras de agua*

<b>Parámetro a analizar</b>	<b>Conservación</b>	<b>Máximo almacenamiento Recomendado/Regulatorio</b>
Alcalinidad total	Refrigeración	24h/14d
Cloruros	No requiere	28d
Color	Refrigeración	48h/48h
Cianuro total	Adicional NaOH a pH>12, refrigerar en oscuridad	24h/14 d; 24 h si hay sulfuro presente
Dureza	Adicionar HNO <sub>3</sub> a pH <2	6 meses/6 meses
Aceites y grasas	Adicionar HCl a pH <2.0, refrigerar	28d/28d
DBO <sub>5</sub>	Refrigeración	6h/48h
DQO	Analizar tan pronto sea posible, o adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH < 2.0, refrigerar	7d/28d
Conductividad eléctrica	Refrigeración	28 d/28 d
Metales en general	Para metales disueltos filtrar inmediatamente, adicionar HNO <sub>3</sub> a pH<2	6 meses/6 meses
Cromo VI	Refrigerar	24h/24h
Mercurio	Adicionar HNO <sub>3</sub> a pH	28 d/28 d
Amonio	Analizar tan pronto como sea posible o adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH	7 d/28 d
Nitrato	Analizar tan pronto como sea posible o refrigerar	48 h/48 h
Nitrato + Nitrito	Adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH < 2.0, refrigerar	1-2d/28d
Nitrito	Analizar tan pronto como sea posible o refrigerar	Ninguno/48 h
Nitrógeno orgánico, Kjeldahl	Adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH < 2.0, refrigerar	7 d/28 d
Fenoles	Refrigerar, adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH< 2.0	Preferiblemente refrigerar durante el almacenamiento y analizar tan pronto sea posible /28 d después de la extracción
Oxígeno disuelto, electrodo	Analizar inmediatamente	0.25 h/ 0.25 h

Oxígeno disuelto, winkler	Analizar inmediatamente, puede retrasarse la titulación después de la acidificación	8 h/8h
pH	Analizar inmediatamente	0.25 h/0.25 h
PO <sub>4</sub>	Para fósforo disuelto filtrar inmediatamente; refrigerar	48 h/
Fósforo total	Adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH < 2.0, refrigerar	28 d
Salinidad	Analizar inmediatamente	6 meses
Sólidos	Refrigeración	7 d/ 2-7 d
Sulfatos	Refrigeración	28 d /28 d
Sulfuros	Refrigerar, adicionar 4 gotas de acetato de zinc 2N/100 ml muestra; adicionar NaOH a pH > 9.0	28d/7d
Temperatura	Analizar inmediatamente	0.25 h/ 0.25 h
Turbidez	Analizar el mismo día, guardar en oscuridad hasta 24 horas; refrigerar	24 h/48 h

Fuente: Autor

*Anexo 2. Resultados de laboratorio*

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL CHOCO								
CODECHOCO								
SUBDIRECCION DE CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL								
LABORATORIO DE AGUAS DE CODECHOCO								
MANUAL DE FORMATOS								
RESULTADOS		M-FORM-01						
		F-068-16						
		Página 1 de 1						
Laboratorio de aguas autorizado por el Ministerio de Salud y Protección Social para el análisis físico, químico y microbiológico al agua para consumo humano bajo la resolución 1616 de 2016								
Informe Número :	1-08062016							
Fuente	Agua superficial							
Sitio de Muestreo :	Tado							
Solicitado por :	LINA MARCELA MOSQUERA CHAVERRA							
NIT:	1128387060							
Dirección	Cra 16 No 25 - 35							
Teléfono	3122891758							
Fecha de análisis :	11/05/2016							
Tipo de muestra :	Simple							
DESCRIPCION DE LAS MUESTRAS								
PUNTO DE MUESTREO	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE RECEPCION	HORA MUESTREO	HORA RECEPCION	ENTREGADO POR			
E1	11/05/2016	11/05/2016	10:05 AM	3:30 PM	FERCHO			
E2	11/05/2016	11/05/2016	10:30 AM	3:30 PM	FERCHO			
E3	11/05/2016	11/05/2016	10:50 AM	3:30 PM	FERCHO			
E4	11/05/2016	11/05/2016	11:20 AM	3:30 PM	FERCHO			
E5	11/05/2016	11/05/2016	11:45 AM	3:30 PM	FERCHO			
RESULTADOS								
PARÁMETRO	E1	E2	E3	E4	E5	METODO	REFERENCIA	LIMITE DE DETECCION
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	32	416	24	764	1368	Gravimétrico	SM 2540D	10.38
Sólidos Totales (mg/l)	60	1160	60	1080	980	Gravimétrico	SM 2540B	60
Dureza Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	12	30	16	38	14	Titulométrico	SM 2340C	4
Alcalinidad Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	Titulométrico	SM 2320B	6
Grasas y aceites (mg/l)	23.1	19.6	32.4	13	19.8	Gravimétrico	SM 5520B	1.8
DQO (mg/l)	30.5	121.9	7.62	38.1	76.2	Reflujo Cerrado	SM 5220C	N.A
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	3.31	Electrodo de Membrana	SM 5210B	2
Nota: Muestras puestas en el laboratorio por el usuario.								



IVAN RESTREPO VALENCIA  
Profesional Especializado Laboratorio de Aguas

Revisión 9, Abril 2016

Nota: No se autoriza la reproducción de este certificado de análisis sin previa aprobación escrita por parte del laboratorio de aguas de codechoco. Los resultados solo son validos para los muestras analizadas; Los metodos utilizados son referencia de los metodos estandar y han sido validados al interior del Laboratorio

Laboratorio de Aguas de Codechoco  
Cra 1 No 22- 96 Quibdo - Chocó Tel 8708008 Fax 8711343

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL CHOCO		
CODECHOCO		
SUBDIRECCION DE CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL		
LABORATORIO DE AGUAS DE CODECHOCO		
MANUAL DE FORMATOS		
RESULTADOS		M-FORM-01
		F-GE3-16
		Página 1 de 1
Laboratorio de aguas autorizado por el Ministerio de Salud y Protección social para el análisis físicos, químicos y microbiológicos al agua para consumo humano bajo la resolución 1816 de 2016		
Informe Número :	2-27052016	
Fuente	Agua superficial	
Sitio de Muestreo :	Tado	
Solicitado por :	NEILL RIVAS RAMIREZ	
NIT:	1077430859	
Dirección	Cra 8 No 25-08	
Teléfono	6713511	
Fecha de análisis :	04/05/2016	
Tipo de muestra :	Simple	

DESCRIPCION DE LAS MUESTRAS					
PUNTO DE MUESTREO	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE RECEPCION	HORA MUESTREO	HORA RECEPCION	ENTREGADO POR
Aluviones del San Juan	04/05/2016	04/05/2016	10:50 AM	2:40 PM	Neill Rivas

RESULTADOS				
PARÁMETRO	Aluviones del San Juan	METODO	REFERENCIA	LIMITE DE DETECCION
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	32	Gravimétrico	SM 2540D	10.38
pH	5.69	Potenolométrico	SM 4500H B	0.01
Conductividad Eléctrica (µs/cm)	65.4	Potenolométrico	SM 2510B	0.8
Grasas y aceites (mg/l)	47.76	Gravimétrico	SM 5520B	1.8
DQO (mg/l)	53.3	Reflujo Cerrado	SM 5220C	N.A
DBO5 (mg/l)	<2	Electrodo de Membrana	SM 5210B	2
Mercurio Total (µg/l)	< 1	Descomposición térmica, amalgamación y absorción atómica	EPA 7473	N.A

Nota: Muestras puestas en el laboratorio por el usuario.



IVAN RESTREPO VALENCIA  
Profesional Especializado Laboratorio de Aguas

Revisión 9, Abril 2016

Nota: No se autoriza la reproducción de este certificado de análisis sin previa aprobación escrita por parte del laboratorio de aguas de codechoco. Los resultados solo son válidos para las muestras analizadas; Los métodos utilizados son referencia de los métodos estándar y han sido validados al Interior del Laboratorio

Laboratorio de Aguas de Codechoco  
Cra 1 No 22- 98 Guibdo - Choco Tel 6708008 Fax 6711343

## Laboratorio de Análisis de Aguas

### Informe de resultados

#### Identificación de la muestra

Informe número:	2016-05-0984	Muestra número:	E5
Municipio:	Tadó	Vereda:	No reportada
Procedencia:	No reportada	Clase de muestra:	Residual doméstica
Sitio de recolección:	Municipio de Tadó	Nombre de la fuente:	Río Chato
Fecha del muestreo:	24/05/2016	Hora de muestreo:	06:17 pm
Fecha recepción:	25/05/2016	Hora recepción:	01:10 pm
Muestreado por: (cargo)	Lina Marcela Mosquera Chaverra (Ingeniera Química)	Solicitado por:	Lina Marcela Mosquera Chaverra
Dirección del cliente:	Carrera 16 # 26-35	Teléfono:	(574) 671 26 89

#### Condiciones del análisis

Equipo:	Polarógrafo VA Processor 693 con VA Stand 694. Metrohm						
Electrodo de trabajo:	HMDE (electrodo de mercurio de gota suspendida) RDE (electrodo rotatorio de oro)						
Potenciales de operación							
Compuesto analizado	Cadmio	Cromo	Plomo	Zinc	Níquel	Cianuro	Mercurio
Potencial inicial (mV):	-1200	-50	-1200	-1200	-850	0	500
Potencial final (mV):	-150	-450	-150	-150	-1250	-500	840

#### Análisis metales pesados por voltametría

#### Resultados

Parámetro	Concentración	Método de referencia	Fecha de Análisis
Mercurio (µg/L Hg)	2.29	DIN 38406 Parte 16, (E16) Marzo 1990	27/05/2016

#### Observaciones

Los resultados reportados corresponden únicamente a la muestra analizada.



Juan David Echeverri Ruiz  
Analista Responsable

Los Protocolos de los Análisis de los parámetros reportados, se realizan de acuerdo con lo recomendado por el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22<sup>da</sup>, validados en el LABORATORIO. Laboratorio acreditado por el IDEAM para los parámetros: Cianuro, Conductividad Eléctrica, Calcio Disuelto, Magnesio Disuelto, Sodio Disuelto, Potasio Disuelto, Dureza Total, Nitrato, Nitrógeno Amónico, Ortofosfato, Nitrógeno Total Kjeldahl, Plomo Disuelto, Zinc Disuelto, Cromo VI, Níquel disuelto, Plata disuelta, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Totales, Sólidos Sedimentables, Sólidos Volátiles Totales, Sólidos Suspendidos Volátiles, DB5, DBO, CO<sub>2</sub>, Coliformes fecales (filtración por membrana y Sustrato Enzimático), Coliformes Totales (filtración por membrana y Sustrato Enzimático), Escherichia Coli (filtración por membrana y Sustrato Enzimático), Mesófilos Aerobios (filtración por Membrana), pH, Color Verdadero, Detergentes, Aceites y Grasas, Cobalto Disuelto, Hierro Total, Color Aparente, Turbiedad y Fluoruros, según Resolución 2069 del 14 de Agosto de 2014

Ruta: [www.cornare.gov.co/cgi/Apoyo/Medicion\\_y\\_Analisis/Laboratorio/Anexos/Mp](http://www.cornare.gov.co/cgi/Apoyo/Medicion_y_Analisis/Laboratorio/Anexos/Mp)

Vigente desde: 09-09-2014

F-MA-07-6/V.04

Elaboró: E.Groldes



## Laboratorio de Análisis de Aguas

### Informe de resultados

Identificación de la muestra

Informe número:	2016-05-0983	Muestra número:	E4
Municipio:	Tadó	Vereda:	No reportada
Procedencia:	No reportada	Clase de muestra:	Residual doméstica
Sitio de recolección:	Municipio de Tadó	Nombre de la fuente:	Río San Juan
Fecha del muestreo:	24/05/2016	Hora de muestreo:	06:02 pm
Fecha recepción:	25/05/2016	Hora recepción:	01:10 pm
Muestreado por: (cargo)	Lina Marcela Mosquera Chaverra (Ingeniera Química)	Solicitado por:	Lina Marcela Mosquera Chaverra
Dirección del cliente:	Carrera 16 # 26-35	Teléfono:	(574) 671 26 89

#### Condiciones del análisis

Equipo:	Polarógrafo VA Processor 693 con VA Stand 694. Metrohm						
Electrodo de trabajo:	HMDE (electrodo de mercurio de gota suspendida) RDE (electrodo rotatorio de oro)						
Potenciales de operación							
Compuesto analizado	Cadmio	Cromo	Plomo	Zinc	Níquel	Cianuro	Mercurio
Potencial inicial (mV):	-1200	-50	-1200	-1200	-850	0	500
Potencial final (mV):	-150	-450	-150	-150	-1250	-500	840

#### Análisis metales pesados por voltimetría

##### Resultados

Parámetro	Concentración	Método de referencia	Fecha de Análisis
Mercurio ( $\mu\text{g/L Hg}$ )	0,853	DIN 38406 Parte 16, (E16) Marzo 1990	27/05/2016

#### Observaciones

Los resultados reportados corresponden únicamente a la muestra analizada.



Juan David Echeverri Ruiz  
Analista Responsable

Los Protocolos de los Análisis de los parámetros reportados, se realizan de acuerdo con lo recomendado por el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22<sup>nd</sup>, validados en el LABORATORIO. Laboratorio acreditado por el IDEAM para los parámetros: Cloruros, Conductividad Eléctrica, Calcio Disuelto, Magnesio Disuelto, Sodio Disuelto, Potasio Disuelto, Dureza Total, Nitritos, Nitrógeno Amoniacal, Ortofosfatos, Nitrógeno Total Kjeldahl, Plomo Disuelto, Zinc Disuelto, Cromo VI, Níquel disuelto, Plata disuelta, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Totales, Sólidos Sedimentables, Sólidos Volátiles Totales, Sólidos Suspendidos Volátiles, DBO<sub>5</sub>, DQO, Coliformes Fecales (Filtración por membrana y Sustrato Enzimático), Coliformes Totales (Filtración por membrana y Sustrato Enzimático), Escherichia Coli (Filtración por membrana y Sustrato Enzimático), Mezclillos Aerobios (Filtración por Membrana), pH, Color Verdadero, Detergentes, Aceites y Grasas, Cobalto Disuelto, Hierro Total, Color Aparente, Turbiedad y Fluoruros, según Resolución 2069 del 14 de Agosto de 2014



## Laboratorio de Análisis de Aguas

### Informe de resultados

#### Identificación de la muestra

Informe número:	2016-05-0983	Muestra número:	E4
Municipio:	Tadó	Vereda:	No reportada
Procedencia:	No reportada	Clase de muestra:	Residual doméstica
Sitio de recolección:	Municipio de Tadó	Nombre de la fuente:	Río San Juan
Fecha del muestreo:	24/05/2016	Hora de muestreo:	06:02 pm
Fecha recepción:	25/05/2016	Hora recepción:	01:10 pm
Muestreado por: (cargo)	Lina Marcela Mosquera Chaverra (Ingeniera Química)	Solicitado por :	Lina Marcela Mosquera Chaverra
Dirección del cliente:	Carrera 16 # 26-35	Teléfono:	(574) 671 26 89

#### Condiciones del análisis

Equipo:	Polarógrafo VA Processor 693 con VA Stand 694. Metrohm						
Electrodo de trabajo:	HMDE (electrodo de mercurio de gota suspendida) RDE (electrodo rotatorio de oro)						
Potenciales de operación							
Compuesto analizado	Cadmio	Cromo	Plomo	Zinc	Níquel	Cianuro	Mercurio
Potencial inicial (mV):	-1200	-50	-1200	-1200	-850	0	500
Potencial final (mV):	-150	-450	-150	-150	-1250	-500	840

#### Análisis metales pesados por voltametría

##### Resultados

Parámetro	Concentración	Método de referencia	Fecha de Análisis
Mercurio (µg/L Hg)	0,853	DIN 38406 Parte 16, (E16) Marzo 1990	27/05/2016

#### Observaciones

Los resultados reportados corresponden únicamente a la muestra analizada.



Juan David Echeverri Ruiz  
Analista Responsable

Los Protocolos de los Análisis de los parámetros reportados, se realizan de acuerdo con lo recomendado por el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22<sup>nd</sup>, validados en el LABORATORIO. Laboratorio acreditado por el IDEAM para los parámetros: Cloruros, Conductividad Eléctrica, Calcio Disuelto, Magnesio Disuelto, Sodio Disuelto, Potasio Disuelto, Dureza Total, Nitratos, Nitrógeno Amoniacal, Ortofosfatos, Nitrógeno Total Kjeldáhal, Plomo Disuelto, Zinc Disuelto, Cromo VI, Níquel disuelto, Plata disuelta, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Totales, Sólidos Sedimentables, Sólidos Volátiles Totales, Sólidos Suspendedos Volátiles, DBO5, DQO, Coliformes fecales (filtración por membrana y Sustrato Enzimático), Coliformes Totales (filtración por membrana y Sustrato Enzimático), Escherichia Coli (filtración por membrana y Sustrato Enzimático), Mezclas Aerobias (filtración por Membrana), pH, Color Verdadero, Detergentes, Aceites y Grasas, Cobalto Disuelto, Hierro Total, Color Aparente, Turbiedad y Fluoruros, según Resolución 2069 del 14 de Agosto de 2014.



**Laboratorio de Análisis de Aguas**  
**Informe de resultados**  
Identificación de la muestra

Informe número:	2016-05-0981	Muestra número:	E2
Municipio:	Tadó	Vereda:	No reportada
Procedencia:	No reportada	Clase de muestra:	Residual doméstica
Sitio de recolección:	Municipio de Tadó	Nombre de la fuente:	Río San Juan
Fecha del muestreo:	24/05/2016	Hora de muestreo:	05:27 pm
Fecha recepción:	25/05/2016	Hora recepción:	01:00 pm
Muestreado por: (cargo)	Lina Marcela Mosquera Chaverra (Ingeniera Química)	Solicitado por:	Lina Marcela Mosquera Chaverra
Dirección del cliente:	Carrera 16 # 26-35	Teléfono:	(574) 671 26 89

Condiciones del análisis

Equipo:	Polarógrafo VA Processor 693 con VA Stand 694. Metrohm						
Electrodo de trabajo:	HMDE (electrodo de mercurio de gota suspendida) RDE (electrodo rotatorio de oro)						
Potenciales de operación							
Compuesto analizado	Cadmio	Cromo	Plomo	Zinc	Níquel	Cianuro	Mercurio
Potencial inicial (mV):	-1200	-50	-1200	-1200	-850	0	500
Potencial final (mV):	-150	-450	-150	-150	-1250	-500	840

**Análisis metales pesados por voltimetría**  
**Resultados**

Parámetro	Concentración	Método de referencia	Fecha de Análisis
Mercurio (µg/L Hg)	0,716	DIN 38406 Parte 16, (E16) Marzo 1990	27/05/2016

**Observaciones**

Los resultados reportados corresponden únicamente a la muestra analizada.



Juan David Echeverri Ruiz  
Analista Responsable

Los Protocolos de los Análisis de los parámetros reportados, se realizan de acuerdo con lo recomendado por el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22<sup>nd</sup>, validados en el LABORATORIO. Laboratorio acreditado por el IDEAM para los parámetros: Cloruro, Conductividad Eléctrica, Calcio Disuelto, Magnesio Disuelto, Sodio Disuelto, Potasio Disuelto, Dureza Total, Nitrito, Nitrógeno Amoniacal, Ortofosfato, Nitrógeno Total Kjeldahl, Plomo Disuelto, Zinc Disuelto, Cromo VI, Níquel disuelto, Plata disuelta, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Totales, Sólidos Sedimentables, Sólidos Volátiles Totales, Sólidos Suspendidos Volátiles, DBO5, DQO, Coliformes Fecales (filtración por membrana y sustrato enzimático), Coliformes Totales (filtración por membrana y sustrato enzimático), Escherichia Coli (filtración por membrana y sustrato enzimático), Mesófilos Aerobios (filtración por Membrana), pH, Color Verdadero, Detergentes, Aceites y Grasas, Cobalto Disuelto, Hierro Total, Color aparente, Turbiedad y Fluoruro, según Resolución 2069 del 14 de Agosto de 2014