



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, Noviembre 15 de 2023

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Lina María Aldana Capera \_\_\_\_\_, con C.C. No. 1075272565,

Carlos Augusto González Muñoz \_\_\_\_\_, con C.C. No. 12139554,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado: “Mejoramiento del actual modelo para el cálculo del índice de calidad de agua del río Magdalena en el Huila, en el periodo comprendido entre 2010 – 2020, con enfoque de minería de datos”

presentado y aprobado en el año 2023 como requisito para optar al título de “magister en el programa de Estudios Interdisciplinarios de la Complejidad”

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

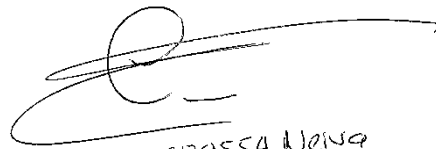
EL AUTOR/ESTUDIANTE:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Lina Maria Aldana Capera

Firma: \_\_\_\_\_

LINA MARIA ALDANA CAPERA

  
cc.1203554 Muñoz

Firma: \_\_\_\_\_

CARLOS AUGUSTO GONZALEZ MUÑOZ



**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:**

Mejoramiento Del Actual Modelo Para El Cálculo Del Índice De Calidad De Agua Del Rio Magdalena En El Huila, En El Periodo Comprendido Entre 2010 – 2020, Con Enfoque De Minería De Datos

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Aldana Capera	Lina María
González Muñoz	Carlos Augusto

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Montealegre Cárdenas	Mauricio

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Ovalle Cerquera	Manuel Fernando

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** Magister en Estudios Interdisciplinarios de la Complejidad

**FACULTAD:** Ciencias Exactas y Naturales

**PROGRAMA O POSGRADO:** Maestría en Estudios Interdisciplinarios de la Complejidad

**CIUDAD:** Neiva      **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2023      **NÚMERO DE PÁGINAS:** 122



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 5

**TIPO DE ILUSTRACIONES** (Marcar con una X):

Diagramas\_X\_ Fotografías\_X\_ Grabaciones en discos\_X Ilustraciones en general\_X\_ Grabados\_\_\_\_  
Láminas\_\_\_\_ Litografías\_\_\_\_ Mapas\_\_\_\_ Música impresa\_\_\_\_ Planos\_\_\_\_ Retratos\_X\_ Sin ilustraciones\_\_\_\_ Tablas  
o Cuadros\_X

**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento:

“Android Studio”

**MATERIAL ANEXO:**

Anexo A. Registro fotográfico difusión aplicación APP DICA

Anexo B. Registro fotográfico participación de la comunidad

Anexo C. Materia orgánica de aguas residuales domésticas descargadas al Río Magdalena en el departamento del Huila.

Anexo D. Agua con mucílago

Anexo E. Fertilizante usado por hectárea de café en el Huila

Anexo F. Comparación ICAs (Wi fijo Vs Wi Ajustado por expertos) paso del Colegio

Anexo G. Comparación ICAs (Wi fijo Vs Wi Ajustado por expertos) La Esperanza

Anexo H. Comparación ICAs (Wi fijo Vs Wi Ajustado por expertos) Puente Santander

Anexo I. Índices de Calidad del agua de 3 estaciones sobre el río Magdalena en el Dpto del Huila – periodo entre 2006 a 2020 (con Wi Prefijado)

Apéndice 1. Base de Datos del IDEAM de las variables fisicoquímicas en cada estación de monitoreo entre los periodos 2006-2020

Apéndice 2. Tablas de Excel y Graficas para el cálculo del ICA según la metodología del IDEAM (Wi preestablecido)

Apéndice 3. Encuesta de Expertos (Google Form) y gráficos

Apéndice 4. Tablas de Excel y Graficas para el cálculo del ICA según la metodología propuesta (Wi ajustado)

Apéndice 5. Código fuente para el desarrollo de la “App Dica” con los archivos asociados

Apéndice 6. Archivo ejecutable de la “App Dica” para móvil o celular tipo Android

Apéndice 7. Socialización “App Dica”, Encuesta aplicada a estudiantes del Colegio Riverita. (Google Forms)



PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. agua	water	6. _____	_____
2. ecosistemas	ecosystems	7. _____	_____
3. contaminación	pollution	8. _____	_____
4. índice de calidad	quality index		
5. sostenibilidad	sustainability		

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Hablar del río Magdalena es trasladar nuestra mente a tiempos importantes para todas las regiones, que a su paso ha marcado huella y continúa siendo un referente para la vida del hombre y las economías de departamentos como Atlántico, Bolívar, Boyacá, Caldas, Cauca, Cesar, Chocó, Córdoba, Cundinamarca, Huila, La Guajira, Magdalena, entre otros, y para la historia de Colombia, muestra como desde la conquista, el río Magdalena ha sido fuente de vida y ruta obligatoria para pobladores y territorios que se acentúan sobre su margen dando vida y progreso. El propósito del presente trabajo se enmarca en mejorar el actual modelo de cálculo establecido para el índice de calidad del agua en el departamento del Huila, haciendo uso del enfoque de la minería de datos, dado que el problema radica en el nivel de contaminación de sus aguas, sobre algunos de los tramos de esta importante fuente hídrica, afectando la calidad de vida de los ecosistemas y del entorno vivo. Para el cumplimiento de este propósito, se recurrió a revisión bibliográfica, fundamentando aspectos teóricos y complementar con experiencias en tres puntos establecidos para la toma de las muestras aspectos relevantes de este preciado líquido, que sirvieron como soporte para el diseño de una herramienta de tipo tecnológico para la medición y evaluación de la calidad del agua, que en propósitos de abastecimiento, se constituye en el elemento vital, que brinda seguridad alimentaria, recreación, transporte, energía y otros aspectos de la vida de los pobladores.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

4 de 5

Empty box for the description of the thesis or degree work.

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

Talking about the Magdalena River is to transport our minds to important times for all regions, which in its wake has left its mark and continues to be a reference for the life of man and the economies of departments such as Atlántico, Bolívar, Boyacá, Caldas, Cauca, Cesar, Chocó, Córdoba, Cundinamarca, Huila, La Guajira, Magdalena, Norte de Santander, etc., and for the history of Colombia, it shows how since the conquest, the Magdalena River has been source of life and obligatory route for residents and territories that are accentuated on their margin to give life and progress to the regions. The purpose of this work is to improve the current calculation model established for the water quality index in the period from 2010 to 2020, using the data mining approach, given that the problem lies in the level of contamination of its waters, on some of the sections of this important water source, which affects all ecosystems, especially from the first kilometers of its route, affecting the quality of life of the ecosystems and the living environment. To fulfill this purpose, a bibliographic review was used to substantiate theoretical aspects and complement with experiences at three points established for taking samples, relevant aspects of this precious liquid, which served as support for the design of a tool. Technological type for the measurement and evaluation



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>5 de 5</b>
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

of water quality, which for supply purposes, constitutes the vital element, which provides food security, recreation, transportation, energy, and other aspects of the lives of residents.

**APROBACION DE LA TESIS**

Nombre presidente Jurado: PhD Mauro Montealegre Cárdenas

Firma: *Mauro Montealegre*

Nombre Jurado: Mg Jasmídt Vera Cuenca

Firma: *Jasmídt Vera C*

Nombre Jurado:

Mg Carlos Javier Martínez Moncaleano

Firma: *Carlos Javier M.*

MEJORAMIENTO DEL ACTUAL MODELO PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA DEL RIO MAGDALENA EN EL HUILA, EN EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE 2010 – 2020, CON ENFOQUE DE MINERÍA DE DATOS



LINA MARÍA ALDANA CAPERA  
CARLOS AUGUSTO GONZALEZ MUÑOZ

UNIVERSIDAD SUR COLOMBIANA  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
MAESTRÍA EN ESTUDIOS INTERDISCIPLINARIOS DE LA COMPLEJIDAD  
NEIVA, HUILA  
2023



MEJORAMIENTO DEL ACTUAL MODELO PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA DEL RIO MAGDALENA EN EL HUILA, EN EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE 2010 – 2020, CON ENFOQUE DE MINERÍA DE DATOS



LINA MARÍA ALDANA CAPERA  
CARLOS AUGUSTO GONZALEZ MUÑOZ

Trabajo presentado como requisito para optar el título de magister en el programa de Estudios interdisciplinarios de la complejidad

Presentado a:  
PhD Mauricio Montealegre Cárdenas

UNIVERSIDAD SUR COLOMBIANA  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
MAESTRÍA EN ESTUDIOS INTERDISCIPLINARIOS DE LA COMPLEJIDAD  
NEIVA, HUILA  
2023

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

---

Evaluador

---

Observaciones

---

---

---

---

---

---

---

---

Neiva, 14 de noviembre de 2023

El agua nos muestra la importancia de la sostenibilidad y la conservación.  
*Shakespeare.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A todas aquellas personas que aportaron en la construcción de este documento, así como a las instituciones del orden regional, local y nacional, fundamentales para el planteamiento de la prospectiva, desde referentes históricos, para que a futuro sirva para la sostenibilidad y sustentabilidad de la riqueza hídrica en las regiones.

A docentes de la Universidad Sur colombiana, por el apoyo y las asesorías constantes durante el proceso de diseño y elaboración del proyecto, en el análisis estadístico y la interpretación de los datos.

A nuestras familias, especialmente, a mis hijos, por las contribuciones prácticas y tecnológicas para la elaboración de los instrumentos de recolección de datos y demás aspectos que sirven como soporte al entendimiento y la comprensión temática del trabajo.

***Carlos Augusto***

A mis padres, Gedalias y Herminda, por su buena disposición para apoyarme económica y moralmente en procesos de alta importancia para mi proyecto de vida.

***Lina María***

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	12
<b>ABSTRACT</b> .....	13
<b>CAPÍTULO 1. ASPECTOS INTRODUCTORIOS</b> .....	14
<b>CAPÍTULO 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	24
<b>2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	24
<b>2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	26
<b>2.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	27
<b>CAPÍTULO III. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN</b> .....	28
<b>3.1 ANTECEDENTES</b> .....	28
3.1.1 Antecedentes Internacionales .....	28
3.1.2 Antecedentes nacionales .....	32
3.1.3 Antecedentes regionales y locales .....	36
<b>3.2 JUSTIFICACIÓN</b> .....	37
<b>CAPÍTULO IV. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y CONTEXTUALES</b> .....	40
<b>4.1 TEORIA DE DESARROLLO SOSTENIBLE</b> .....	46
<b>4.2 TEORÍA DE LA COMPLEJIDAD</b> .....	48
<b>4.3 VARIABLES INCIDENTES EN EL MARCO TEÓRICO</b> .....	51
4.3.1 Monitoreo de calidad del agua en Colombia.....	51
4.3.2 Índice de la calidad del agua superficial.....	52
<b>4.4 MARCO CONTEXTUAL O GEOGRÁFICO</b> .....	55
<b>4.5 MARCO CONCEPTUAL</b> .....	60
<b>4.6 MARCO NORMATIVO</b> .....	60
<b>4.7 MARCO INSTITUCIONAL DE ACTORES PARTICIPANTES</b> .....	63
<b>CAPÍTULO V. OBJETIVOS</b> .....	65
<b>5.1 OBJETIVO GENERAL</b> .....	65
<b>5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	65
<b>CAPÍTULO VI. DISEÑO METODOLÓGICO</b> .....	66
<b>6.2 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	67
<b>6.3 POBLACIÓN Y MUESTRA</b> .....	67
<b>6.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	68
<b>6.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	68

6.5.1 Cumplimiento al objetivo en identificación agentes contaminantes .....	68
Para dar cumplimiento al objetivo específico en la identificación de agentes contaminantes .....	68
6.5.2 Cumplimiento al objetivo de mejoramiento al cálculo del ICA para c/región .....	69
6.5.3 Cumplimiento al objetivo de evaluación de resultados .....	69
6.5.4 Cumplimiento al objetivo de diseño de la propuesta de mejoramiento .....	70
<b>CAPÍTULO VII. RESULTADOS OBTENIDOS .....</b>	<b>71</b>
<b>7.1 RESULTADOS .....</b>	<b>71</b>
7.1.1 Para el alcance del objetivo 1 .....	71
7.1.2. Alcance del Objetivo 2.....	75
7.1.3 Alcance del objetivo 3.....	79
7.1.4 Alcance del objetivo 4.....	87
<b>7.2 HALLAZGOS .....</b>	<b>91</b>
<b>CAPÍTULO VIII. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO .....</b>	<b>96</b>
<b>8.1 PRESENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....</b>	<b>96</b>
<b>8.2 OBJETIVO DE LA PROPUESTA .....</b>	<b>97</b>
<b>8.4 RECONOCIMIENTO PRÁCTICO DE LA APLICACIÓN .....</b>	<b>100</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>103</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>106</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>108</b>
Anexo A. Registro fotográfico difusión aplicación APP DICA.....	112
Anexo B. Registro fotográfico participación de la comunidad.....	113
Anexo C. Materia orgánica de aguas residuales domésticas descargadas al Río Magdalena en el departamento del Huila. ....	114
Anexo D. Agua con mucílago.....	114
Anexo E. Fertilizante usado por hectárea de café en el Huila.....	115
Anexo F. Comparación ICAs (Wi fijo Vs Wi Ajustado por expertos) paso del Colegio.....	116
Anexo G. Comparación ICAs (Wi fijo Vs Wi Ajustado por expertos) La Esperanza.....	117
Anexo H. Comparación ICAs (Wi fijo Vs Wi Ajustado por expertos) Puente Santander .....	118
Anexo I. Índices de Calidad del agua de 3 estaciones sobre el río Magdalena en el Dpto del Huila – periodo entre 2006 a 2020 (con Wi Prefijado) .....	119
Apéndices.....	120
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>121</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Presentación de la propuesta - DICA.....	96
Figura 2. APP DICA.....	100
Figura 3. Pantallas de aplicación .....	101
Figura 4. Pantallas de procesamiento de datos .....	101
Figura 5. Semáforo de procesamiento de los datos.....	102



## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Índice de calidad del agua en el río Magdalena.....	58
Gráfica 2. resultados obtenidos para la estación “Paso del Colegio” .....	74
Gráfica 3. resultados obtenidos para la estación “La Esperanza” .....	74
Gráfica 4. resultados obtenidos para la estación “Puente Santander” .....	75
Gráfica 5. Comparación ICAs Estación monitoreo Paso del Colegio 2006 - 2020 .....	78
Gráfica 6. Comparación ICAs Estación monitoreo La Esperanza 2006 - 2020 .....	78
Gráfica 7. Comparación ICAs (Wi fijado y Wi ajustado por expertos Puente Santander) .....	79
Gráfica 8. Dispersión de datos tipo Enjambres .....	80
Gráfica 9. Dispersión del índice de calidad por estación periodo 2006 - 2020.....	80
Gráfica 10. Diagrama de Cajas .....	81
Gráfica 11. Matriz y diagrama de calor .....	82
Gráfica 12. Diagrama de dispersión general .....	84
Gráfica 14. Diagrama de dispersión ICA vs SST (mg/lit) Estación paso del colegio Rio Magdalena, periodo 2006 - 2020 .....	86

## RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1. Factores Vs metas de garantía en sostenibilidad ambiental.....	40
Tabla 2. Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el valor calculado.....	52
Tabla 3. Algoritmos y/o curvas funcionales empleados para el cálculo del subíndice I	54
Tabla 4. Ponderaciones para $W_i$ en función del número de variables (sugerida por Ideam).....	55
Tabla 5. Normatividad referente aplicada a la investigación.....	61
Tabla 6. Frecuencia de muestreo en las diversas estaciones .....	73
Tabla 7. Pesos específicos $W_i$ .....	73
Tabla 8. Parámetro fisicoquímico evaluado.....	77

## RESUMEN

Hablar del río Magdalena es trasladar nuestra mente a tiempos importantes para todas las regiones, que a su paso ha marcado huella y continúa siendo un referente para la vida del hombre y las economías de 20 departamentos como Atlántico, Bolívar, Boyacá, Caldas, Cauca, Cesar, Chocó, Córdoba, Cundinamarca, Huila, La Guajira, Magdalena, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, Santander, Sucre, Tolima y Valle del Cauca y para la historia de Colombia, muestra como desde la conquista, el río Magdalena ha sido fuente de vida y ruta obligatoria para pobladores y territorios que se acentúan sobre su margen para dar vida y progreso a las regiones (Guzmán, 2009, p.36). El propósito del presente trabajo se enmarca en mejorar el actual modelo de cálculo establecido para el índice de calidad del agua en el periodo comprendido entre el 2010 al 2020, haciendo uso del enfoque de la minería de datos, dado que el problema radica en el nivel de contaminación de sus aguas, sobre algunos de los tramos de esta importante fuente hídrica, que afecta a todos los ecosistemas, especialmente, desde los primeros kilómetros de su recorrido, afectando la calidad de vida de los ecosistemas y del entorno vivo. Para el cumplimiento de este propósito, se recurrió a la revisión bibliográfica y así poder fundamentar aspectos teóricos y complementar con experiencias en tres puntos establecidos para la toma de las muestras aspectos relevantes de este preciado líquido, que sirvieron como soporte para el diseño de una herramienta de tipo tecnológico para la medición y evaluación de la calidad del agua, que en propósitos de abastecimiento, se constituye en el elemento vital, que brinda seguridad alimentaria, recreación, transporte, energía y otros aspectos de la vida de los pobladores.

**Palabras clave:** agua, ecosistemas, contaminación, índice de calidad, sostenibilidad

### **ABSTRACT**

Talking about the Magdalena River is to transport our minds to important times for all regions, which in its wake has left its mark and continues to be a reference for the life of man and the economies of 20 departments such as Atlántico, Bolívar, Boyacá, Caldas, Cauca, Cesar, Chocó, Córdoba, Cundinamarca, Huila, La Guajira, Magdalena, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, Santander, Sucre, Tolima and Valle del Cauca and for the history of Colombia, it shows how since the conquest, the Magdalena River has been source of life and obligatory route for residents and territories that are accentuated on their margin to give life and progress to the regions (Guzmán A., 2009, p.36). The purpose of this work is to improve the current calculation model established for the water quality index in the period from 2010 to 2020, using the data mining approach, given that the problem lies in the level of contamination of its waters, on some of the sections of this important water source, which affects all ecosystems, especially from the first kilometers of its route, affecting the quality of life of the ecosystems and the living environment. To fulfill this purpose, a bibliographic review was used to substantiate theoretical aspects and complement with experiences at three points established for taking samples, relevant aspects of this precious liquid, which served as support for the design of a tool. technological type for the measurement and evaluation of water quality, which for supply purposes, constitutes the vital element, which provides food security, recreation, transportation, energy and other aspects of the lives of residents.

**Keywords:** water, ecosystems, pollution, quality index, sustainability

## CAPÍTULO 1. ASPECTOS INTRODUCTORIOS

La calidad del agua superficial que recorre un ecosistema define la salud de las especies, tanto acuáticas, como terrestres. Históricamente, se ha venido demostrando como las civilizaciones buscaron en el agua su fuente de vida y se acentuaron cerca a fuentes hídricas como los ríos, (Cobos , Maldonado , Cote, & Prieto , 2010), para su abastecimiento como elemento vital de subsistencia y para otros procesos que brindan seguridad alimentaria, recreación, transporte, energía y cultura. Y aunque nunca se dice, el agua superficial, también es usada para alejar de los centros poblados los focos de contaminación generados por las aguas residuales domésticas, industriales, agrícolas, pecuarias, mineras, entre otras.

Por lo tanto, alejarlo de sí, significa que los olores y pestilencias se las lleve el río; ¿a dónde?; más abajo, pero lejos de aquí (Ordoñez, 2007). Al ser el río, un sistema dinámico, que recibe, concentra, disuelve o reacciona con toda carga contaminante; lo hace como uno de los mejores sistemas purificadores de la naturaleza; Sin embargo, se tiende a sobreestimar que el río puede con toda carga contaminante. Pero no es así. Hay un límite, es muy probable que se aleje o disuelva el problema de nuestra vista, porque, lo que se hace es trasladarlo a otras especies, aguas abajo que también dependen del agua y de la calidad de su naturaleza (Jaramillo, Cardona, & Galvis , 2020).

Con estos referentes, y desde el informe de World Health Organization (WHO, 2006), surge el interrogante sobre ¿qué puede estar pasando aguas arriba de nuestra

población? Igualmente, entra en el análisis, las condiciones que pueden presentar otras poblaciones que entregan sus aguas residuales, mezcladas con otras cargas contaminantes, entendiéndose la contaminación del río como una cadena, tanto hacia arriba, como hacia abajo (Rodríguez, 2016). En este orden de ideas, cobra importancia, el aprendizaje de las poblaciones, respecto a la manera de como depurar vertimientos en la fuente para no descargarlas directamente al río. En pocas palabras, es relevante el conocimiento sobre la sostenibilidad y los procesos de producción limpia, para una mejor calidad del agua, sin que se contamine las fuentes hídricas, por el contrario, plantear estrategias educativas de tal manera que, se pueda generar soluciones efectivas y óptimas para los ecosistemas, con la participación de toda la comunidad y demás entes desde el orden institucional y/o organizacional.

En Colombia (2019), algunas instituciones públicas y privadas, realizan monitoreo periódico de las aguas superficiales. Con estos procedimientos se mide la concentración de elementos o sustancias, que pueden llegar a afectar su calidad, limitando el uso en algunas actividades que ponen en riesgo la salud de las personas y otras especies, e inclusive de los procesos para los cuales se usa el agua como elemento esencial (CONPES, 2015). Es el caso del Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (MMADS), quienes usando los datos recolectados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en estaciones (puntos fijos) ubicados a lo largo de la mayoría de los ríos de Colombia y sus tributarios, generan un índice de calidad del agua, a partir de parámetros fisicoquímicos de cada estación (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible de Colombia, 2015).

El índice aporta ideas de forma cuantitativa y cualitativa del estado del agua, orientando el monitoreo y seguimiento del agua a través de indicadores, de tal forma que, se pueden construir instrumentos de favorabilidad para esta temática investigativa. A lo anterior, se plantea como interrogante investigativo, el siguiente: ¿De qué manera se puede adaptar el modelo matemático a nuestra región, para calcular el índice de calidad del agua, causado por la afectación contaminante de la industria minera, energética, agropecuaria y poblacional en el río Magdalena, del departamento del Huila?

El presente trabajo, se estructuró a partir de 7 capítulos con los cuales se pretende mostrar la procedencia y aplicación del índice de calidad generado, adicionalmente, adaptar su estructuración a la cuenca hidrográfica del río Magdalena, en el departamento del Huila. Por lo tanto, el propósito se enmarca en mejorar el algoritmo aplicando ciencias de la complejidad, acercando el modelo a un ambiente más realista y amigable a su interpretación. Con el fin de que la academia, instituciones públicas y privadas, empresas, instituciones educativas y sociedad en general incorporen estos nuevos conocimientos al desarrollo de nuevas políticas ambientales y especialmente, a la protección del valioso ecosistema que forma el Río Magdalena.

De esta forma, el primero de los capítulos hace una descripción general e histórica de lo que fue y es este ecosistema, con algunos aspectos relevantes que marcaron el origen y su recorrido por el departamento del Huila, que demuestra como desde la conquista, el río Magdalena fue ruta obligatoria para que, conquistadores pudieran llegar

a territorios conquistados y transportar sobre sus aguas mercaderías que daban impulso y progreso a sus regiones (Guzmán, 2009, p.36).

El río grande La Magdalena nace en la laguna que lleva este mismo nombre, en el departamento del Huila, donde inicia el recorrido para desembocar en Bocas de Cenizas (*Banco de Occidente, 2013*), con una larga vida de cambios, que han sido representativos durante su curso, y que han figurado como el traslado del cauce y que se ubicaron a la altura de Simití y el Banco para formar la depresión Momposina, localizada al norte de Colombia sobre los departamentos de Bolívar, Magdalena, Sucre, Córdoba y Cesar (*Rojas, 2009*).

Ilustración 1. Laguna la Magdalena - nacimiento del Rio Magdalena



Fuente: Earth Google, 2022

Su historia se remonta al descubrimiento de América y los pobladores lo llamaban Yuma que en su idioma quiere decir “río de los amigos”, por el pasaron champanes, canoas, piraguas, hasta grandes embarcaciones a vapor, una vez sus aguas cruzaban



el territorio huilense, con asentamiento en la ciudad de Neiva, constituida como zona de mayor poblamiento y de mayor fuente comercial en la región.

De acuerdo con la geografía nacional, el río Magdalena nace a 3.470 metros sobre el nivel del mar. Después de atravesar el territorio nacional por espacio de 1.553 kilómetros, en su recorrido hacia el océano, en donde rinde sus aguas en Bocas de Ceniza, baña los departamentos de Huila, Tolima, Cundinamarca, Boyacá, Santander, Cesar, Magdalena, Atlántico, Caldas, Antioquia y Bolívar. Surcaba toda la geografía del departamento del Huila, por esta razón es uno de los más importantes para la región, y de acuerdo con Pérez Trujillo (2019), tiene una amplia relación con los huilenses, puesto que sus habitantes lo utilizaron como único medio de comunicación: por allí llegaban grandes embarcaciones llamadas champanes tal como se evidencia en la ilustración 2 que a continuación se muestra:

Ilustración 2. Navegación del río Magdalena

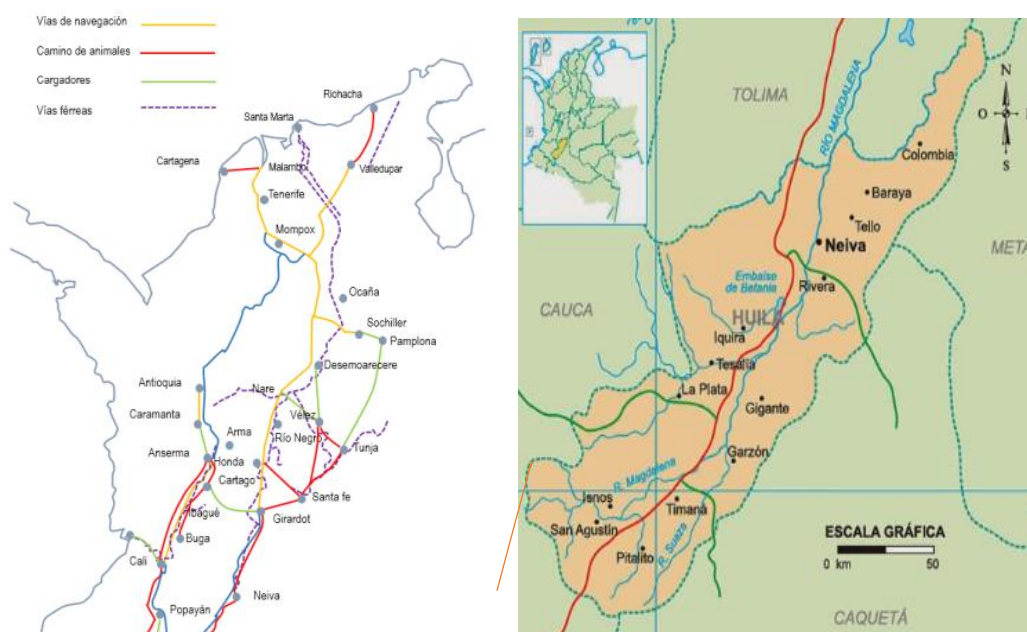


Fuente: (Pérez, 2019)

Siempre ha sido un medio que ha proporcionado amplias ventajas a la economía regional, puesto que ha servido como medio de comunicación y comercio, puesto que servía a sus pobladores para el intercambio de productos de cosecha, pesca y de caza;

tuvo varios nombres que fueron cambiando a medida que aparecían nuevas culturas y se presentaban características de sus pobladores; va cambiando su nombre que se había sido denominada Tora por Alí, que quiere decir “río de los peces en la zona media del río”, que va angostando su cauce, hasta convertirse en un angosto corredor, separado por las cordilleras, así lo muestra la ilustración 3.

*Ilustración 3. Recorrido del Magdalena por el departamento del Huila*



Fuente: (Lozano, 2018)

El río Magdalena se convirtió en un emblema para la región, por lo que los escritos, fotografías, óleos y demás obras, la caracterizaron como una fuente hídrica importante para las poblaciones que empezó a florecer por el transporte fluvial, por lo que alimentos y noticias se dieron a conocer a través del río, los muelles y puertos de reconocimiento histórico como el puerto de las Damas y el Muelle el Caracolí. Se podría decir que, desde que se descubrió se viene contaminando, con registros fotográficos que dan claridad de

lo mismo, puesto que sus pobladores, desde 1905, lo utilizaron como medio de comunicación, realizando toda clase de actividades a su alrededor.

Ilustración 4. Actividades comerciales de la historia en el río Magdalena



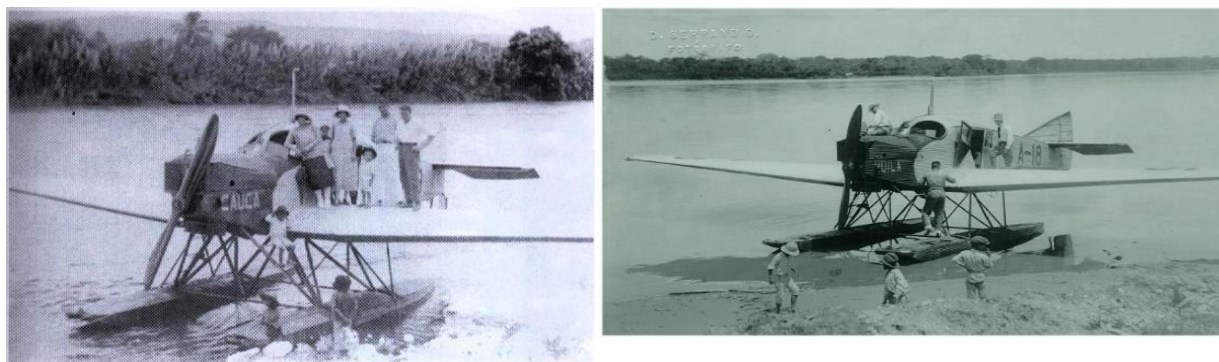
Fuente: Lozano, 2018

Las memorias de grandes personajes de la época como Oliverio Lara, Rogelio Celis, describen el impacto que tuvo el río Magdalena para la economía de la región y especialmente, por la cercanía a la población que, desde la llegada de las primeras



embarcaciones, se fueron modificando, hasta mostrar la navegabilidad, de tal manera que el primer hidroavión llegó a Neiva, en el año 1920.

Ilustración 5. Hidroavión



Fuente: Salas, 1982

Ilustración 6. Hidroavión y embarcación a vapor



Fuente: Salas, 1982

El caudal era muestra de la riqueza hídrica con la que contaba el departamento del Huila, pero, que no estaba muy lejos de ser el principal aportante al problema de contaminación hídrica, puesto que ha venido acabando con más de 233 especies

(Mojica & et al, 2012) y el bocachico hace parte de ese número de peces que se reconoce fácilmente por la boca pequeña, carnosa y provista de una serie de dientes diminutos en los labios y la presencia de una espina predorsal punzante. Sus escamas son rugosas al tacto y la serie de la línea lateral está compuesta por 40 a 46 escamas perforadas (Maldonado, 2008).

Desde estos referentes, se puede analizar en un segundo capítulo, que la contaminación ha sido uno de los principales problemas de esta valiosa fuente hídrica, no solo por el escenario y espacios que aportan crecimiento y desarrollo a las poblaciones, sino por las diversas situaciones que vienen en proceso acumulativo y cada día desmejoran la calidad de sus aguas, por lo que en un tercer capítulo se establecen estudios que vienen desde lo internacional, nacional hasta aterrizar los hechos en investigaciones regionales y locales, dando muestra del estado e incremento de los factores contaminantes sobre esta fuente hídrica.

Por esta razón, en el cuarto capítulo se lleva a cabo el desarrollo de temáticas comprometidas con procesos de contaminación y que describe de manera minuciosa todos y cada uno de los factores que se han constituido en factor principal de contaminación hídrica y que son cargas altamente incidentes en el análisis de la calidad del agua, teniendo como base aspectos para la formulación de los objetivos, planteados para el quinto capítulo de este proyecto, y que vinculan un objetivo general y tres específicos, para dar claridad y obtener resultados a los análisis que describen la carga contaminantes en puntos destacados como muestrales para este estudio.

De esta manera, el capítulo 6, muestra una metodología amplia, desde los tipos cualitativo y cuantitativo, soportada en instrumentos de recolección de información, que reflejan validez y confiabilidad de la misma, destacándose para el estudio la selección de tres puntos de análisis (Estación 1: paso del Colegio, Estación 2: la Esperanza y Estación 3 Puente Santander), tomando como referencia datos históricos y el ajuste del peso relativo o ponderador asignado a las variables de calidad ( $W_i$ ) para el Río Magdalena en el valle superior, definido por expertos sobre variables de alta consideración por y para los mismos.

Los resultados alcanzados, se establecieron a través de estructuras de correlación (Capítulo 7), para generar la riqueza de estos, en un modelo que describe gráfica y matemáticamente la importancia de la calidad del agua en cada uno de los puntos que incluye aspectos de alta complejidad para el análisis de la calidad del agua en cada uno de los puntos establecidos.

## CAPÍTULO 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En los últimos treinta y cinco años, el ecosistema del Valle superior del Río Magdalena se ha venido transformando notoriamente. De acuerdo con cifras del DANE (2021), factores como el incremento poblacional, ampliación de frontera agrícola y ganadera, desarrollo de proyectos energéticos (dos embalses hidroeléctricos), proyectos mineros y de hidrocarburos, distritos de riego, entre otros; han conllevado al uso del agua en mayor proporción y por consiguiente las descargas de aguas residuales en todos estos usos, también ha incrementado el grado de contaminación de las aguas superficiales, de los vertientes tributarias y directamente al río Magdalena (Marquez-Calle, 2019).

De acuerdo con datos UPRA (2022), cada ampliación descontrolada de la frontera agrícola retira el soporte de los suelos y aumenta procesos erosivos, que, a su vez, elevan los sólidos suspendidos descargados a fuentes hídricas. El incremento de la población ribereña ha conllevado al aumento de las descargas de materia orgánica, las cuales a su vez causan la disminución del oxígeno disuelto necesario para la vida de especies acuáticas, razón que explica la extinción de algunas especies nativas como el Nicuro de agua dulce y el Bocachico (UPRA, 2018).

En este contexto, el aumento en el área cultivada demanda el consumo desmedido de fertilizantes, herbicidas y otros agroquímicos, que por escorrentía llegan al río e incrementan las posibilidades para la eutrofización de los volúmenes de aguas

represados en ambas hidroeléctricas. Igualmente, los procesos de minería vierten a los cuerpos de agua metales y sustancias tóxicas. La explotación de hidrocarburos genera riesgos de contaminación en cada una de sus fases, ante fugas accidentales o descontrol de sus procesos (Cruz & Ortega - Ramírez, 2018). De igual forma, el uso desmedido de medicinas alopáticas para tratamiento médicos y veterinarios, han causado un nuevo contaminante asociado a las descargas domésticas y corresponde a los contaminantes de químicos de preocupación emergentes (CPE's) entre los cuales están los compuestos farmacéuticos activos, antihipertensivos y antibióticos, que afectan el crecimiento, reproducción, movilidad y muerte en peces, anfibios, entre otros (Bautista, 2020), o a través de la irrigación de cultivos se bioacumulan en sus productos y se integran a la cadena trófica humana, por lo tanto, aspecto como estos, generan la importancia de medir o cuantificar correctamente la calidad del agua.

En este orden de ideas, desconocer la calidad del recurso hídrico en las aguas superficiales usadas para uso doméstico, en procesos agrícolas, pecuarios, industriales, energéticos, recreativos, entre otros, pueden llegar a generar problemas a la salud de las personas, al desarrollo de cultivos, de especies domésticas, de procesos alimentarios; e inclusive puede llegar a incrementar costos en los tratamientos del agua previos y posteriores a su uso.

Por esta razón, y en el plano internacional se destacan metodologías estandarizadas para calcular el ICA (Índice de Calidad del Agua), acorde a su posición geográfica, acorde a su nivel de consumo y modelo económico, acorde a las limitaciones



internas de vertimientos, diseñados por sus regulaciones legales, ambientales y políticas e inclusive acorde a su nivel de conciencia ambiental desarrollada por la sociedad. Entre estas metodologías están las desarrolladas en Estados Unidos ICA-NSF (Fundación Nacional de Saneamiento-1970), ICA-Dinius (1987); en Europa el ISQA (Índice Simplificado de la Calidad del Agua-1982) desarrollado en España, el UWQI (Índice Universal de la Calidad del Agua) desarrollado por H. Boyacioglu (2007); en México el ICA desarrollado por Montoya y Contreras (1997); En Canadá el ICA desarrollado por el Consejo de Ministros del Medio Ambiente (2001) y el DWQI (índice de calidad de agua potable) basado en guías de la Organización Mundial de la Salud (2007) ; En Brasil el IQA (1975) y el ISTO (Índice de sustancias tóxicas 2002).

En escenarios nacionales, se identificaron estudios como los realizados por Rojas (1991) tomando como referencia el río Cauca, que consiste en una adaptación del método de la NSF; el desarrollado por Ramirez y Viña (1998) asociando variables en componentes principales (ACP) para definir los Índices de Contaminación (ICO); La Universidad del Valle adaptó la metodología sobre el valle superior del Río Cauca (ICAUCA) en 2007.

## **2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

De acuerdo con los aspectos enunciados en la descripción del problema, el interrogante de investigación es el siguiente: ¿Cómo adaptar el modelo matemático para calcular el índice de calidad del agua, causado por la afectación contaminante de la

industria minera, energética, agropecuaria y poblacional en el río Magdalena, del departamento del Huila?

### **2.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo identificar los agentes y elementos contaminantes comunes, del afluente y tributarios al río Magdalena en el departamento del Huila?

¿De qué forma se puede mejorar la correlación que conlleve a la cuantificación de la calidad del agua, del afluente tributario al río Magdalena, en el departamento del Huila?

¿Es posible evaluar los resultados obtenidos, generando proyecciones en la variación de la calidad del agua, del afluente tributario al río Magdalena en el departamento del Huila?

## CAPÍTULO III. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

### 3.1 ANTECEDENTES

#### 3.1.1 Antecedentes Internacionales

El estudio de Yadav, A. K., Khan, P., & Sharma, S. K. (2010), titulado “Water Quality Index Assessment of Groundwater in Todaraisingh Tehsil of Rajasthan State, India-A Greener Approach”. Realiza un análisis estadístico a un estudio del Índice de Calidad del Agua (WQI) de las aguas subterráneas en Todaraisingh tehsil del distrito de Tonk del Estado de Rajasthan en la India. Con el fin de verificar su idoneidad para uso potable, irrigación o uso industrial utilizando como metodología la recolección y análisis de 20 muestras con métodos señalados por APHA (American Public Health Association) para Dureza Total,  $\text{CaCO}_3$ , Mg. Aplican las fórmulas del Índice de Calidad del agua propuesto por Horten (Yadav, Khan, & Sharma, 2010)

Este es un estudio altamente relevante, teniendo en cuenta que en Rajasthan 1-3 el agua es **escasa** y la gran mayoría de la población dependen de este recurso no solo para la supervivencia de la vida, sino también para la dinámica de producción del país, con industrias fuertemente posicionadas en los grandes mercados del mundo, por lo que se busca mantener óptimos niveles de calidad, para fortalecer procesos de vida.

En otro estudio de este mismo escenario, Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P., & Dobhal, R. (2013), titulado “Water quality assessment in terms of water quality index. American Journal of water resources”, evalúa el uso del Índice de Calidad del Agua (WQI) como un único indicador para medir el estado general de la calidad del agua (idoneidad

para uso doméstico), con el fin de seleccionar técnicas de tratamiento y poder aportar a la sostenibilidad de las especies viva. Sin embargo, sugiere que no todos los índices son usados o aceptados a nivel Global. En algunos países se usan datos adicionales, con criterios del ICA para determinar si es idónea de las fuentes de agua potable, puesto que con ellas se determina si son aptas para el consumo humano.

A partir de diversas variables establecidas como indicador ICA para la determinación de los criterios de evaluación, se toma información de varias fuentes y los combina para obtener datos de forma lógica y simplificada, de esa manera poder determinar qué tan favorable y responsable (socialmente) es la región donde se lleve a cabo el estudio, puesto que proporciona fórmulas para la medición de la calidad, a fin de alcanzar estructuras matemáticas que sirven como referente para otros estudios, junto con las ventajas que se utiliza con otros métodos en otras regiones.

De esta manera, se viene aportando al conocimiento sobre calidad del agua en el mundo, puesto que es un recurso altamente agotable, siendo el enfoque general ICA, el determinante principal, que arroja factores que son realizados a través de expertos profesionales, agencias o instituciones, las cuales a través de criterios como nivel de oxígeno, eutrofización, aspectos de salud, características físicas y sustancias disueltas, se analizan en puntos críticos con métodos que permiten establecer parámetros de comparación de calidad y que vinculan otros aspectos como son: temperatura, pH, turbidez, coliformes fecales, oxígeno disuelto, demanda bioquímica del oxígeno, fosfatos totales, nitratos y sólidos totales (Fernández, Ramírez, & Solano, 2012).

El aporte de esta investigación se observa en los aportes que se hace a los diversos indicadores evaluados y que son aceptados universalmente, por lo que permite la búsqueda de un indicador de agua más útil y universal que pueda favorecer a usuarios e instituciones gestoras del agua para la conservación de este recurso para el mundo.

Otro estudio es el realizado por Pei-Yue, L., Hui, Q., & Jian-Hua, W. U. (2010). "Groundwater quality assessment based on improved water quality index in Pengyang County, Ningxia, Northwest China". En este trabajo se evalúa la calidad del agua subterránea en Pengyang (China). Un WQI mejorado. Mediante la entropía de los datos se introduce el método para asignar peso a cada parámetro (Pei-Yue & Jian Hua, 2010) se recolectaron 74 muestras, sometidas a análisis fisicoquímicos. A cada muestra se analizó 26 parámetros, de los cuales se eligieron 14 para calcular el ICA. Se revisaron los diferentes métodos de evaluación de la calidad del agua, tales como el método matemático de Fuzzy, método de grado de membresía, método de análisis factorial, método de modelado gris y método de proceso de jerarquía analítica.

En el método ampliamente usado por el mundo para el ICA, el peso de cada parámetro lo dan los expertos de acuerdo con su experiencia práctica, la cual es muy subjetiva, donde la información verdaderamente útil y valiosa se pierde. En el estudio se aplica un ICA mejorado con peso de entropía a la evaluación de la calidad del agua. El concepto de entropía de la información fue inicialmente propuesto por Shannon (1948). Considerado como la incertidumbre de un evento estocástico o métrica del contenido de la información. El aporte de esta investigación facilita la comparación de los criterios de

evaluación para la medición del agua, teniendo en cuenta que la población requiere alta calidad para el recurso que va a los acueductos y se distribuye a la misma.

Un último estudio, a nivel internacional, es el realizado por Mirrasooli, Ghorbani y Molaei (2017), tomándose un muestreo de 5 estaciones durante 45 días, de forma constante, y analizando parámetros de oxígeno disuelto, nitrato, nitrito y pH con el índice cualitativo WQI, con resultados altamente favorables para el agua del río Gorgnroud para ese periodo, en temporadas de primavera y verano, cuando los seres humanos demandan más este líquido, precisamente porque son temporadas donde los pobladores pueden disfrutar de periodos de vacaciones, haciendo mayor uso de este preciado líquido, usando ríos, arroyos, altamente influenciados por el hombre, a lo que se viene apuntando para la conservación y preservación del mismo.

De igual manera, se describen diversos métodos de estudio, pero, se destaca el uso de indicadores de calidad del agua, que según Pinto (2012), se ve fuertemente amenazado durante este periodo por la carga de contaminantes en ecosistemas acuáticos, lo que ayuda a elevar los niveles de contaminación cuando las personas se encuentran en periodos de ocio, y que son fundamentales al momento de evaluar el desarrollo sostenible, por lo que se aporta con cambios cuantitativos y cualitativos en las propiedades físicas y químicas del agua, puesto que en ella se muestran propiedades que muestran el impacto de contaminación en los diversos ecosistemas.

El índice de calidad del agua, ICA, se convierte en un intento por proporcionar respuestas para la calidad del agua, la cual se puede ver amenazada por diversos factores entre los cuales se encuentra la utilización de aguas superficiales del río, la reducción del caudal de aguas, la disminución de las lluvias, aumento de contaminación y procesos de cambio climático, aportantes favorables para el desarrollo del presente estudio.

### 3.1.2 Antecedentes nacionales

A estos referentes, es necesario destacar diversas metodologías de medición, resaltando en primera instancia el de Caho y López (2017), titulado determinación del índice de calidad de agua para el sector occidental del Humedal Torca – Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI, producción limpia, de la universidad de la Salle de Bogotá D.C, cuyo objetivo fue analizar el índice de calidad del agua del sector en mención, mediante uso de metodologías de medición UWQI y CWQI. La UWQI, es una metodología utilizada para establecer la calidad del agua apta para el consumo humano.

La CWQI, se emplea para determinar la calidad de agua en las cuencas de los ríos Fucha, Tunjuelo, Salitre y Torca analizando oxígeno disuelto, pH, DBO, DQO, nitrógeno total, fósforo total, coliformes fecales, grasas y aceites, sólidos suspendidos totales y tensioactivos. Realizaron la recolección de muestra en cuatro épocas diferentes entre en 2015 y 2016, para análisis de parámetros fisicoquímicos. En el análisis estadístico se empleó el método de análisis multivariante a través de una matriz de

cálculo. El resultado obtenido UWQI valoración regular para todos los cuatro puntos de muestreo, lo que indica que la calidad del agua se aleja de las condiciones naturales para su uso. CWQI valoración es pobre, lo que quiere decir, que, en estas aguas no se puede albergar una dinámica ecológica.

El aporte que hace este trabajo a la elaboración de nuestra investigación está representado en los métodos de evaluación para establecer la calidad del agua, especialmente, en fuentes hídricas cercanas a la población y de las cuales el hombre se sule. Cada uno de los métodos empleados, favoreció la obtención de resultados, en el proceso de evaluación de la calidad del agua, sirviendo como una advertencia para la población, dado que la negatividad de sus resultados previene sobre el consumo de este preciado líquido en áreas de alta contaminación.

Otro estudio de escenario nacional es el realizado por Valverde, Moreno y Ortiz (2017), que describe el análisis de la calidad de diversos cuerpos de agua superficial en bahía solano, utilizando indicadores de contaminación. En este estudio, se determinó la calidad del agua en las fuentes hídricas, cacique, bella, placer, cupica-playa mexicana, playa, las cuales desembocan en el municipio de bahía solano, chocó, Colombia.

Se empleó como metodología un tipo de muestreo de análisis fisicoquímico para determinar el grado de contaminación de los ríos y quebradas que drenan los ecosistemas estratégicos marinos costeros. Aplicaron tres índices de contaminación: ICOMI o de mineralización, ICOMO o contaminación orgánica y el ICOSU o sólidos



suspendidos. Igualmente tomaron varias muestras en distintos cuerpos de aguas superficiales para ser analizadas sus características fisicoquímicas y bacteriológicas de las aguas y determinar así el Índice de contaminación en las fuentes hídricas. Obtuvieron como resultado que el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) se situó en valoración media de contaminación en todas las fuentes hídricas debido a la combinación de contaminantes producidos por los asentamientos humanos asociados a la explotación minera, por otro lado, el ICOSUS, mantuvo un nivel bajo, es decir no presenta un alto grado de contaminación por sólidos suspendidos (Valverde, Tamayo, & Ortíz-Palacios, 2017).

En este estudio, los resultados del ICA y el NSF varió 52.6 por motivo de la temporada de lluvias, mientras que en el punto paso de los anillos fue superior a 72.4, por situaciones contrarias, es decir, alta sequía, caracterizándose por condiciones regulares y buenas. Los contaminantes principales fueron los coliformes fecales con altos registros para los seis sitios (2974 y 4940 NMP/100 ml), los cuales no sobrepasaron los límites de consumo, por lo que también puede afectar los ecosistemas de flora y fauna del entorno donde se tomó la muestra.

De este estudio, se pudo establecer que los análisis en puntos donde existe alta variedad de cultivos, se ve alterada por el uso de plaguicidas, utilizados para combatir enfermedades y que arrojó muestras con compuestos organoclorados como DDT y aldrín, alto componente de contaminación y que los reportes lo describen como un producto poco utilizado en el mundo por el alto índice de contaminación; contaminante

resaltado en la Convención de Estocolmo por clasificarse como contaminante orgánico persistente (COP's) en mayo de 2001, considerados plaguicidas clorados, de cuya venta está totalmente restringida por ser un insecticida organoclorado.

Las conclusiones de este estudio son similares a de alto contenido aportante para el estudio en tránsito, ya que permite evaluar la calidad del agua en la parte baja del río y que al igual que con el Magdalena, se toman variables físicas, químicas y microbiológicas para conocer el indicador del agua. El método utilizado para medir el índice de calidad del agua es el desarrollado por **Brown (1970)**, en la cual se emplea la función ponderada multiplicativa ICA<sub>m</sub> tal como se muestra en la siguiente fórmula:

$$ICA_m = \prod_{i=1}^9 (Sub_i^{w_i})$$

Las variables seleccionadas para el ICA fueron: coliformes fecales, pH, DBO5, Nitratos, fosfatos, temperatura, turbidez, sólidos y oxígeno disueltos, los cuales son factores incidentes para el análisis de la calidad del agua.

Otra investigación realizada a nivel doctoral, por estudiantes de la universidad de Cartagena, fue la elaborada por Castaño y Garrido (2020), en la cual se hizo aplicación a la estadística multivariada para la implementación de un índice de calidad de agua específico para el sistema de caños y lagos internos de la ciudad de Cartagena de Indias. En este estudio, la evaluación de la calidad del agua a través de estos índices (ICA's) permitió reconocer problemas de contaminación de manera ágil en una ubicación y

momento específicos, pero, algunos de estos índices, como es el caso del usado por el IDEAM, no justifican ni demuestran las ponderaciones con las cuales son utilizados, por lo que se propuso y llevó a cabo el desarrollo de índice de calidad mediante la estadística multivariada. La estadística multivariada por medio de análisis del índice sintético para observar las relaciones entre los parámetros de calidad de agua, elaborando así un Índice de Calidad de Agua, y que por medio de la precipitación se pueda relacionar su variación ante la influencia de este. El resultado esperado se orientó a los procesos de mejoramiento con el fin de permitir la comprensión de los datos obtenidos en las campañas de monitoreo y comprobar la idoneidad de esta herramienta para el análisis de parámetros de contaminación e índices de calidad (Castaño-P & Garrido-Romero, 2020)

### 3.1.3 Antecedentes regionales y locales

En lo que respecta a las investigaciones a nivel local y regional, sobre estudios de calidad de agua, se identificó el de Losada, Rueda y Martínez – Silva (2020), titulado evaluación de la calidad del agua en el embalse hidroeléctrico El Quimbo. (Losada, Rueda , & Martínez-Silva, 2020), cuyo objetivo se centró en la evaluación y análisis de la calidad del agua en el embalse del Quimbo.

La metodología utilizada fue la del indicador simplificado de calidad de agua (ISQA), donde se contempla parámetros de oxigenación disuelta, conductividad, temperatura, DQO, sólidos suspendidos totales, con la diferencia que en este estudio se

tomaron 4 puntos de análisis, mientras que en el nuestro tan solo se tomaron 3, dadas las condiciones de investigación y los altos costos que este estudio demanda.

Los resultados alcanzados en este estudio aportaron al análisis fisicoquímico en la calidad del agua del embalse, por lo que se mide que sea un lugar apto para la pesca, la recreación, pero no es apta para consumo humano, sin un tratamiento convencional. Fueron resultados desfavorables, puesto que se ubicó en un punto medio, destacando como punto neural la Guandinosa.

### **3.2 JUSTIFICACIÓN**

Conocer el estado de deterioro en la calidad del agua superficial en todo ecosistema, cobra especial importancia, cuando de ello depende la vida, tanto de micro como de macro especies, en la cadena trófica. El desarrollo de todo ecosistema depende de su autosostenibilidad y adaptación a cambios críticos. El ecosistema elegido en esta investigación es el "Río Magdalena en su Valle superior". Por lo tanto, como sistema dinámico, abierto y complejo, la energía hace su tránsito en diferentes manifestaciones (Sol; flujo del agua a través del aire, el suelo, de las especies, del subsuelo; migración y establecimiento de especies, con su transformación y renovación, entre otros). Y aunque, en apariencia, todos los recursos del ecosistema, dan la impresión de su sostenibilidad y renovación; entre ellos existen procesos irreversibles, observables a largo plazo, como son la extinción de especies (pérdida de información - entropía); deterioro del suelo por la deforestación ante la expansión de la frontera agrícola (erosión - pérdida de nutrientes - entropía); y el deterioro de la calidad del agua

a través de su flujo, ante la carga contaminante vertida, de forma natural o antrópica (eutrofización - muerte - entropía).

El desarrollo de nuestro departamento (Huila) está en función de la transformación de sus recursos naturales. Los asentamientos humanos en el ecosistema juegan un papel importante en la sostenibilidad y preservación de la especie. Sin embargo, cuando no se aprende a convivir sosteniblemente con el entorno, se genera procesos irreversibles que podrían llevar al caos y la destrucción.

Es allí cuando el control adecuado de los recursos, cobra especial importancia; el recurso agua, debe ser monitoreado apropiadamente, para saber en qué parte del proceso de transformación estamos fallando y poder corregirlo a tiempo, antes de llegar al estado final entrópico (eutrofización). El índice de calidad del agua (ICA) es un método que nos ayuda a conocer el estado de salud del recurso, de una forma aproximada; sin embargo, como lo dijimos anteriormente, el río y el entorno, es un sistema dinámico, que, ante una carga contaminante causada por cualquier agente, éste trata de disolver y auto purificarse por la acción dinámica y la energía potencial adquirida; pero toda carga contaminante tiene su límite, puede llegar el momento en que la capacidad de auto purificación cese.

Los monitoreos, del agua, que se realizan actualmente, son escasos y son adquiridos en periodos de tiempo muy espaciados; emitir una conclusión objetiva de la calidad del agua en un tiempo  $t$ , en un sistema dinámico es muy subjetiva; por lo tanto,

es allí cuando los métodos de evaluación estadística y probabilística cobran importancia. Las Ciencias de la Complejidad, nos aproximan a un modelo de cálculo más cerca de la realidad, aportan a la capacidad de evaluar los registros pasados, y proyectarlos a tiempos (t+1) con el fin de generar alertas tempranas ante una variación de uno de los factores contaminantes.

Esta es una investigación de alta relevancia social, porque se aporta a procesos de sostenibilidad y sustentabilidad del río Magdalena, que a futuro solventará la seguridad alimentaria y hasta posible fuente de abastecimiento para acueductos de municipios ribereños.

## CAPÍTULO IV. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y CONTEXTUALES

En el contexto general de los objetivos del milenio – ODM, se tiene en cuenta elementos que están relacionados directamente con la sostenibilidad ambiental con la cual se trazan las metas y las políticas de los diferentes países y que a la vez establece la garantía a la misma, por lo tanto, incluye aspectos de medio ambiente, saneamiento básico y vivienda (Conpes, 2005), así como factores que están directamente vinculados al proceso de contaminación ambiental que incluyen los criterios de análisis para la evaluación de la calidad del agua del río, tal como se describe en la siguiente tabla 1, dado que desde ellos el agua es un recurso básico para la supervivencia e interacción con los mismos:

Tabla 1. Factores Vs metas de garantía en sostenibilidad ambiental

FACTORES	OBJETIVOS	METAS
Medio ambiente (Conservación de ecosistemas)	Incorporar principios de desarrollo sostenible en las políticas y programas de gobierno nacional, para propender por la reducción del agotamiento de los recursos naturales y la degradación de la calidad del medio ambiente.	Reforestar más de 37.500 hectáreas de bosques naturales: en la línea de 23.000 hectáreas anuales. Incorporar nuevas áreas protegidas al sistema nacional de parques nacionales naturales, con el fin de diseñar planes de manejo social, aportando

FACTORES	OBJETIVOS	METAS
<p>Sistema de protección de áreas protegidas</p> <p>Sustancias agotadoras y perjudiciales a la capa de ozono</p>		<p>empleo y eliminando del listado de sustancias agotadoras de la capa de ozono.</p>
<p>Saneamiento básico</p>	<p>Reducir el número de personas que carecen de acceso a agua potable y saneamiento básico.</p>	<p>Incorporar sistemas y métodos a la infraestructura de acueducto, para suplir a por lo menos 9.75 millones de nuevos habitantes, generando alternativas de solución en el abastecimiento de agua y servicios públicos</p>
<p>Vivienda, bienestar y calidad de vida, a través de procesos de evaluación de calidad del agua</p>	<p>Mejorar considerablemente los niveles de calidad de vida de los habitantes de zonas urbana y rural por donde pasa el río</p>	<p>Reducir en un 3% el porcentaje de familias que viven en asentamientos precarios.</p>



FACTORES	OBJETIVOS	METAS
	Magdalena (corrientes superficiales).	
ICA. Índice de Calidad del Agua	Evaluar los criterios de calidad del agua, con el fin de mejorarla en el tiempo y proporcionar condiciones de optimización para su consumo de los seres vivos	Alcanzar los mejores niveles de consumo, conociendo que se encuentran establecidos en (buena, aceptable, regular, mala o muy mala), que a su vez se asocian a determinados colores (azul, verde, amarillo, naranja y rojo respectivamente).
Cálculo del indicador ICA	Este indicador se calcula a partir de datos de concentración de un conjunto entre 5 a 6 variables (oxígeno disuelto, OD, sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno, DQO, conductividad eléctrica y C.E), que determinan, la	Para el caso de estudio, el indicador es medido específicamente en tres estaciones a saber: Punto el Colegio, La Esperanza y Puente Santander. (Ver ilustración 7)

FACTORES	OBJETIVOS	METAS
	calidad de aguas corrientes superficiales.	
Variables Incidentes en el Indicador ICA	<p><b>Oxígeno Disuelto (OD).</b></p> <p>Tiene el papel biológico fundamental de definir la presencia o ausencia potencial de especies acuáticas.</p> <p><b>Sólidos Suspendidos totales (SST).</b> Presencia de sólidos en suspensión en los cuerpos de agua indica cambio en el estado de las condiciones hidrológicas de la corriente.</p> <p><b>Demanda Química de Oxígeno (DQO).</b></p> <p>Presencia de sustancias químicas susceptibles de ser oxigenadas a condiciones fuertemente ácidas y altas</p>	

FACTORES	OBJETIVOS	METAS
	<p>temperaturas, como la materia orgánica, ya sea biodegradable o no y la materia inorgánica.</p> <p><b>Conductividad eléctrica (C.E).</b> está íntimamente relacionada con la suma de cationes y aniones determinada en forma química, refleja la mineralización.</p> <p><b>Nitrógeno total/fósforo Total (NT/PT).</b> Mide la degradación por intervención antrópica, es una relación que indica el balance de nutrientes para productividad acuícola en zonas inundables.</p>	

Fuente: Observatorio de análisis de sistemas internacionales, 2015

En lo relacionado para cada una de las variables de ICA, se construye una relación funcional (ecuación), que muestra niveles de calidad de 0 a 1 y que posteriormente se grafican para cada punto de muestreo, las cuales se representan en una curva que es la variación de la calidad del agua, respecto a la magnitud del contaminante, pero en términos generales, la tabla 1 registra aspectos básicos relacionados con la garantía de sostenibilidad, muestra metas muy ambiciosas a mediano y largo plazo, aunque la deforestación global se ha reducido, aun se percibe alta la carga contaminante del agua, se siguen presentando niveles de alto impacto, con una tendencia creciente sin garantizar sostenibilidad en áreas rurales, urbanas y nuevos problemas por donde pasa el río Magdalena.

Es precisamente, desde este enfoque donde se establecen planes y programas de capacitación, con el fin de concientizar a los pobladores sobre la problemática de agotamiento de los recursos, especialmente el hídrico, que describen la manera cómo afecta no solo la seguridad alimentaria, sino otro tipo de problemas como el desabastecimiento a causa del fenómeno del niño, que disminuye la solubilidad de las cargas contaminantes, y que en últimas afectan la salud de la población que habita el ecosistema del Río Magdalena.

Una vez se realiza el preámbulo que constituye este punto del proyecto, es importante y necesario definir las principales teorías que circundan el desarrollo teórico del mismo, para lo cual se citan a continuación:

## 4.1 TEORIA DE DESARROLLO SOSTENIBLE

El desarrollo sostenible no ha surgido de forma acabada, sino que ha experimentado un desenvolvimiento natural e histórico, avanzando hacia su madurez de forma lenta. Donde estas ideas se han configurado desde un juego de términos que, buscan gestar sus conceptos de manera clara y entendible, sin que confundan a las personas que permanentemente están en proceso de conocer más, porque cuando se habla de Desarrollo sostenible, se vincula una serie de factores que son vitales para la vida de los seres vivos.

Es necesario, definir el concepto de “**desarrollo sostenible**” desde la racionalidad, por lo tanto, es más adecuado hablar de sostenibilidad porque tienen relación estrecha y permanente con la calidad de vida de las personas, que relacionar el desarrollo al interior de una comunidad y de formas de crecimiento económico analizado desde los factores de la producción, que es lo que se está mostrando en esta investigación, precisamente por la diversidad de usos que tiene el agua para procesos productivos (agricultura, industria, agroforestación, pesca, entre otros).

Existen diferentes formas de desarrollo que establecen el mejoramiento de la calidad de vida, dado que la forma como se concibe el trabajo entre las diferentes comunidades ocasiona incidencia, pero, el papel fundamental de diferenciación de estas concepciones radica en la mano del hombre “trabajo”, pues si se trabaja con racionalidad se hará uso moderado de los recursos, de lo contrario se estará autodestruyendo y no contribuirá con el hecho de ser sustentable, porque en lugar de mejorar, lo que hace es

empeorar. Por esta razón, durante el desarrollo de la presente investigación, se tomó como base fundamental el recurso hídrico, desde la manera como lo desarrolla el hombre a través del trabajo, adicionándole desarrollo económico y social. El trabajo es un factor que está inmerso en lo sustentable, porque mejora la calidad de vida, pero si éste se mantiene se convierte en un factor sostenible, pero esa sostenibilidad lo dictan otra clase de factores que emergen del entorno y que van de la mano con el crecimiento económico de los pueblos.

En términos de Dretske (2000), se puede brindar un acercamiento conceptual a la definición para la teoría de desarrollo sostenible, unida a conocimientos sobre epistemología ambiental: como una propuesta filosófica que indaga por los fundamentos, métodos y principios que posibilitan el entendimiento de la relación sociedad – naturaleza; a partir de estos referentes, se destacan dos términos que representan la comprensión de la temática de estudio, que son:

**Sostenibilidad.** Representa el equilibrio que se genera a través de la relación armónica entre la sociedad y la naturaleza que lo rodea y de la cual es parte. Según, Daly H. (1990) define la sostenibilidad como la creación de conciencia ambiental en torno a la exploración con conciencia y producir recursos para que no se agoten. En resumen, es el equilibrio que se genera a través de la relación armónica entre sociedad y la naturaleza que lo rodea y de la cual hace parte.

**Sustentabilidad.** Es la cualidad que posee una especie, la cual permite el desarrollo de habilidades necesarias, para aprovechar los recursos en el entorno y que le permita llevar una vida de calidad.

A estos dos conceptos se adiciona el **Dominio del entorno**, el cual corresponde a la destreza individual de la persona para construir y elegir entornos favorables para la satisfacción de sus propias necesidades. Representa la sensación de dominio y control sobre el contexto y su respectiva influencia en él. Por esta razón, del análisis anterior se desprende que la educación ambiental debe ser desde la reflexión y la participación, con las comunidades y en general las sociedades, porque son las directamente beneficiadas de los procesos analizados, que vinculan el agua como principal recurso de vida.

## 4.2 TEORÍA DE LA COMPLEJIDAD

Es importante tratar la temática de la gestión de calidad del agua desde la teoría de la complejidad, dado que permite entender los sistemas como un todo, y las interacciones que se generan de cada uno de ellos conduce al análisis de diversos escenarios; por esta razón, se busca entender la importancia y relación de este maravilloso recurso natural, porque juega un papel importante en los procesos y vida de los seres vivos. Además, se vincula a todas las partes y se establece un entorno de constante retroalimentación, para la sustentabilidad y sostenibilidad del planeta.

Se asume la teoría de la complejidad, como un factor importante, relevante e incidente en la visión holística de los hechos; de acuerdo con Morín (1970), el autor invita

al sujeto pensante a abordar problemas asociados a las realidades relacionadas con el ser humano, la sociedad, las instituciones, organizaciones y demás aspectos, por lo que lo invita a ahondarse en el caos de los fundamentos para aportar ideas de innovación.

A partir de métodos como la observación, las ciencias contemporáneas revolucionan el mundo y empiezan a generar procesos de cambio; es precisamente, a partir de estas realidades que se inicia a revolucionar el mundo, para ello elabora un paradigma de principios de inteligibilidad que genera una concepción compleja no reduccionista de los fenómenos y realidades humanas.

Ahora bien, la complejidad analizada desde ideas de otros autores, como **Ilian Prigogine** (“Auto - organización de sistemas en no equilibrio” (1977) y Leyes del Caos (2019)), investigó sobre el **caos** en sistemas disipativos, encontrando patrones ordenados en medio del desorden, lo que generó impresiones sobre los datos, por lo que a pesar de que los datos sean insuficientes y altamente dispersos, en ellos existen patrones que el investigador puede llegar a dilucidar.

La cantidad de materia orgánica descargada a un río en función del crecimiento población, puede ser una variable predecible, más la difusión de este contaminante sobre el río, depende de muchas otras variables (caudal, pendiente, sedimentación, deforestación, entre otros factores), los cuales asume comportamientos que no están equilibrados, lo que hacen difícil encontrar patrones matemáticamente pronosticables.



A pesar de los pocos datos obtenidos para esta investigación. Se continua con una metodología dada por el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Social - MMADS, la cual ofrece el cálculo de un indicador en función de algunas variables que impactan de forma negativa el valor del indicador. La estructura del algoritmo permite vislumbrar, que el modelamiento aplicado no sigue siempre una tendencia lineal o proporcional (**Sistemas No Lineales**<sup>1</sup>). Con la presente investigación se buscó identificar la tendencia o patrón de los contaminantes que más impactan negativamente al índice de calidad del agua en las estaciones de monitoreo, objeto de estudio.

Otro aspecto de vinculación, explicado por Maturana y Varela (1970), en el libro "Autopoiesis and Cognición: the Realization of the living", está relacionado con la autoorganización de sistemas vivos, como contribuciones al lenguaje de la complejidad puesto que, vincula a las ciencias, el ámbito de la biología y la evolución de los seres vivos (Maturana, 2013), citado por Melendez (2013) en su escrito, el Lenguaje desde la complejidad.

En el análisis realizado por Maturana, a pesar de que el agua que compone un río no es un ser vivo, si tiene su razón de ser en función de la vida, por tal motivo, a pesar del grado de contaminación al cual esté sometido; las especies que allí habitan trataran de auto organizarse o crear resistencia a los vertimientos contaminantes con el fin de sobrevivir. Algunos procesos de depuración natural pueden ser lentos y pueden llegar a

---

<sup>1</sup> Es un tipo de sistema de ecuaciones en el que hay, como mínimo, una ecuación no lineal. Y se considera que una ecuación es no lineal cuando alguna de sus incógnitas no es de primer grado.

extinguir o crear modificaciones genéticas de las especies. Algunos contaminantes bioacumulados pueden llegar a ser transferidos a la cadena trófica y afectar a otras especies que viven fuera del agua. Pero, siempre habrá un límite (entropía definitiva) hacia la cual no se debería llegar. La investigación, aparte de dilucidar el modelo de interacción entre las variables de alto impacto negativo; busca generar conciencia social, creando un modelo educativo para toda la población participante y directamente relacionada con los recursos hídricos, con el fin de educarlos para evitar la contaminación del recurso hídrico más importante de Colombia (Ver anexo fotográfico).

El componente pedagógico y social de la investigación culmina con la creación interdisciplinar de una aplicación para teléfonos “Android” donde se genera conciencia y educación ambiental para toda la sociedad (García, 2006).

### **4.3 VARIABLES INCIDENTES EN EL MARCO TEÓRICO**

#### **4.3.1 Monitoreo de calidad del agua en Colombia**

Es un proceso científico que observa, mide, muestrea y analiza usando métodos técnicos normalizados y variables fisicoquímicas el estado y calidad del agua monitoreada; en Colombia se hace el monitoreo en puntos espaciales posicionados en las riberas de los ríos a través de redes nacionales, regionales o locales que colectan esta información para la gestión del recurso agua (Ideam, 2017).






De acuerdo con el Ideam, los valores optativos que puede llegar a tomar el indicador han sido clasificados en categorías, de acuerdo a ellos se califica la calidad del

agua de las corrientes superficiales, al cual se le ha asociado un color como señal de alerta, tal como se verifica en la tabla 2 del siguiente punto.

#### 4.3.2 Índice de la calidad del agua superficial

Valor cuantitativo (numérico) asignado a la muestra del cuerpo de agua en la estación de monitoreo. Su rango está definido entre valores que van desde 0 hasta 1. Categorizando el agua en buena, aceptable, regular, mala y muy mala; a cada categoría se le asocia un color azul, verde, amarilla, naranja y roja respectivamente como lo muestra la Tabla 2 (Ideam, 2013)

Tabla 2. Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el valor calculado

<b>Categorías de valores que puede tomar el indicador</b>	<b>Calificación de la calidad del agua</b>	<b>Señal de alerta</b>
0,00 - 0,25	Muy Mala (MM)	
0,26 - 0,50	Mala (M)	
0,51 - 0,70	Regular (R)	
0,71 - 0,90	Aceptable (A)	
0,91 - 1,00	Buena (B)	

Fuente: Ideam 2013.

La ecuación definida por la guía metodología del IDEAM en 2011 es:

$$ICAnjt = \sum_{i=1}^n Wi * I_{ikjt}$$

Fuente: Ideam 2011

Donde, cada una de las variables se definen de la siguiente manera:

**ICA<sub>njt</sub>**: Es el Índice de calidad del agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua **j** en el tiempo **t**, evaluado con base en **n** variables.

**W<sub>i</sub>**: Es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad **i**.

**I<sub>ikt</sub>**: Es el subíndice calculado de la variable **i** (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo **j**, registrado durante la medición realizada en el trimestre **k**, del período de tiempo **t**.

**n**: Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; **n** es igual a 5, o 6 dependiendo de la medición del ICA que se seleccione.

En las estaciones de monitoreo adscritas al departamento del Huila, dentro de la Red del Ideam, se registran las variables fisicoquímicas Oxígeno Disuelto (OD), Temperatura (T°C), potencial de hidrógeno (pH), demanda química de oxígeno (DQO), Conductividad Eléctrica (CE), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Nitrógeno Total (NT) y Fósforo Total (FT).

Los subíndices (I) calculados a partir de las variables fisicoquímicas, se ilustran en la tabla 3. Tomada de Colmenares L. (2020) y asociada a la guía metodológica del Ideam (2011)

Tabla 3. Algoritmos y/o curvas funcionales empleados para el cálculo del subíndice I

Parámetro	Fórmula
<b>OD</b>	$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 \times PS_{OD})$ <p>Donde PS = Porcentaje de saturación de oxígeno.</p>
<b>SST</b>	$I_{SST} = 1 - (-0.02 + 0.003 \times SST)$ <p>Si <math>SST \leq 4,5</math>, entonces <math>I_{SST} = 1</math></p> <p>Si <math>SST \geq 320</math>, entonces <math>I_{SST} = 0</math></p>
<b>DQO</b>	<p>Si <math>DO \leq 20</math>, entonces <math>I_{DQO} = 0,91</math></p> <p>Si <math>20 &lt; DQO \leq 25</math>, entonces <math>I_{DQO} = 0,71</math></p> <p>Si <math>25 &lt; DQO \leq 40</math>, entonces <math>I_{DQO} = 0,51</math></p> <p>Si <math>40 &lt; DQO \leq 80</math>, entonces <math>I_{DQO} = 0,26</math></p> <p>Si <math>DQO &gt; 80</math>, entonces <math>I_{DQO} = 0,125</math></p>
<b>CE</b>	$I_{CE} = 1 - 10^{(-3.26 + 1.34 \times \log_{10} CE)}$ <p>Cuando <math>I_{CE} &lt; 0</math>, entonces <math>ICE = 0</math></p>
<b>pH</b>	<p>Si <math>pH &lt; 4</math>, entonces <math>I_{pH} = 0,1</math></p> <p>Si <math>4 \leq pH \leq 7</math>, entonces <math>I_{pH} = 0,02628419 \cdot e^{(pH \cdot 0,520025)}</math></p> <p>Si <math>7 &lt; pH \leq 8</math>, entonces <math>I_{pH} = 1</math></p> <p>Si <math>8 &lt; pH \leq 11</math>, entonces <math>I_{pH} = 1 \cdot e^{[(pH-8) \cdot -0,5187742]}</math></p> <p>Si <math>pH &gt; 11</math>, entonces <math>I_{pH} = 0,1</math></p>
<b>NT/PT</b>	<p>Si <math>15 \leq NT/PT \leq 20</math>, entonces <math>I_{NT/PT} = 0,8</math></p> <p>Si <math>10 \leq NT/PT &lt; 15</math>, entonces <math>I_{NT/PT} = 0,6</math></p> <p>Si <math>5 &lt; NT/PT</math>, entonces <math>I_{NT/PT} = 0,35</math></p> <p>Si <math>NT/PT \leq 5</math> ó <math>NT/PT &gt; 20</math>, entonces <math>I_{NT/PT} = 0,15</math></p>

Nota: el % de saturación está en función de la temperatura de la muestra y presión atmosférica del sitio de muestreo.

Fuentes Compartidas: Colmenares L. (2020), Guía metodológica Ideam (2011).

Los valores sugeridos por el Ideam (2011) para el peso relativo asignado a la variable de calidad **i (Wi)** se reflejan en la Tabla 4.

Tabla 4. Ponderaciones para Wi en función del número de variables (sugerida por Ideam)

Variable	Unidad de Medida	Ponderación
Oxígeno disuelto, D. O	%Saturación	0.17
Sólidos suspendidos totales, SST	mg/l	0.17
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/l	0.17
Relación Nitrógeno Total y Fosforo Total, NT/FT	-	0.17
Conductividad eléctrica, CE	μS/cm	0.17
Potencial de Hidrógeno, pH	Unidades de pH	0.15

Fuente: Ideam, 2011. Guía metodológica para el cálculo del ICA

#### 4.4 MARCO CONTEXTUAL O GEOGRÁFICO

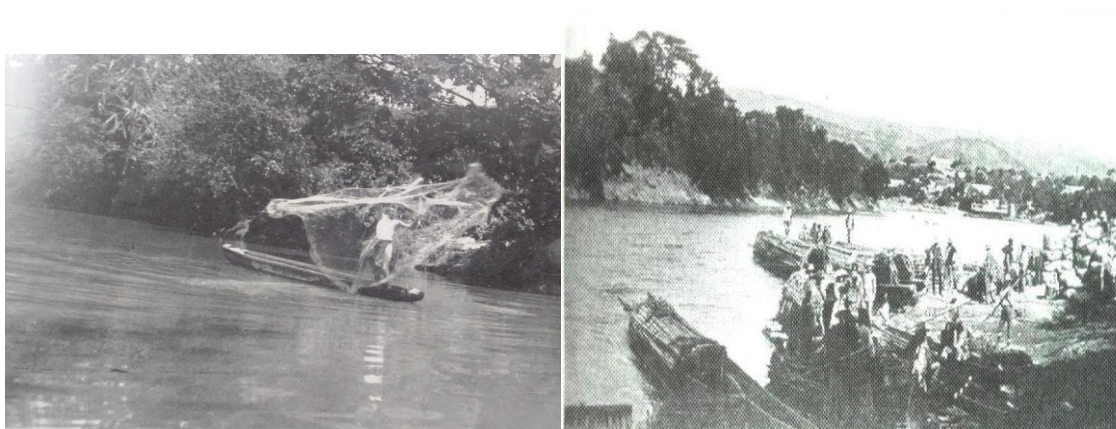
El río Magdalena fue descubierto (para los europeos) en 1.501 por Rodrigo de Bastidas y navegado 29 años después por Jerónimo Lebrón. Jiménez de Quesada lo exploró por primera vez hasta Barrancabermeja en 1536, en su recorrido hacia el altiplano Cundiboyacense en donde el seis de agosto de ese mismo año fundó la ciudad de Santafé de Bogotá.

El río grande la Magdalena nace en la laguna que lleva este mismo nombre, en el departamento del Huila, donde inicia el recorrido para desembocar en Bocas de Cenizas



Siempre ha sido un medio que ha proporcionado amplias ventajas a la economía regional, como medio de comunicación y comercio, sus pobladores han intercambiado productos de cosecha, pesca y de caza; tuvo varios nombres que fueron cambiando a medida que aparecían nuevas culturas y se presentaban características de sus pobladores; una de sus denominaciones fue “Caripuaña” que significa “El río grande”; “Arlí”, que quiere decir “río del pez”; “Yuma” que significa “río de las montañas” y “Guacahayo” o “río de las tumbas” ya que en sus aguas arrojaban a los muertos.

Ilustración 8. Actividades realizadas ancestrales

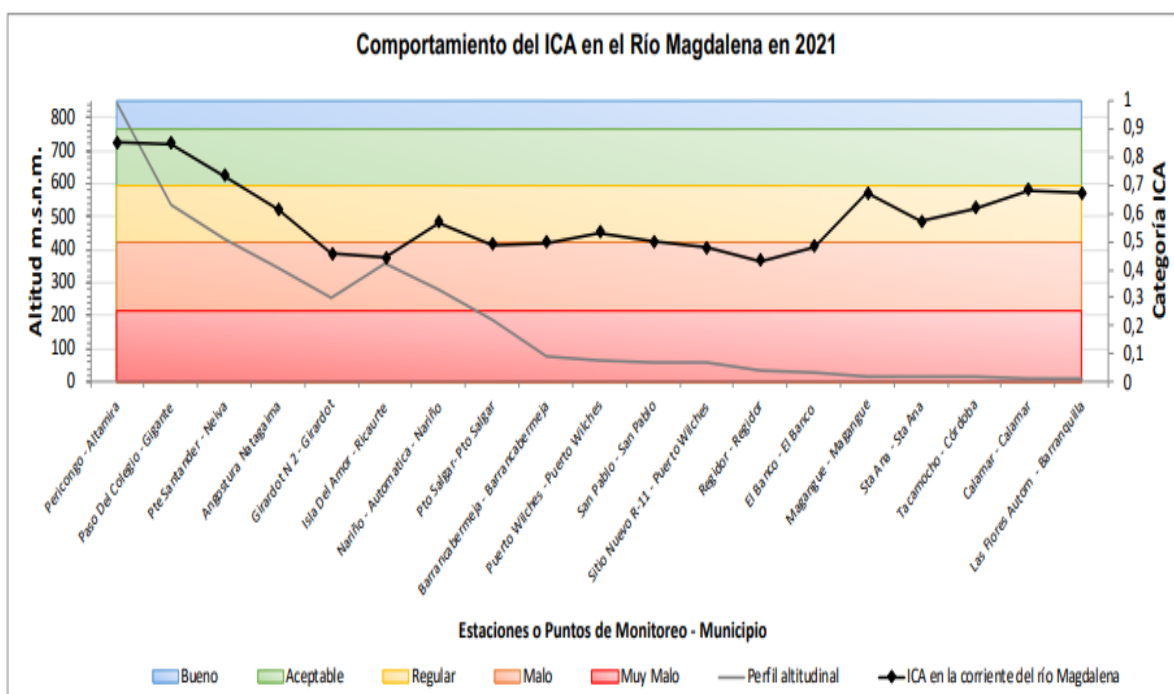


Fuente: Salas, 1982 (pesca y navegación por el río Magdalena)

Anualmente, el MMADS presenta el Estudio Nacional del Agua, a partir del cual se analizan entre muchos otros indicadores, el ICA. Para el año 2022, se presentó una ilustración que muestra algunas estaciones de monitoreo con un ICA promediado en función de la estación y la altura sobre el nivel del mar (Gráfica 1).



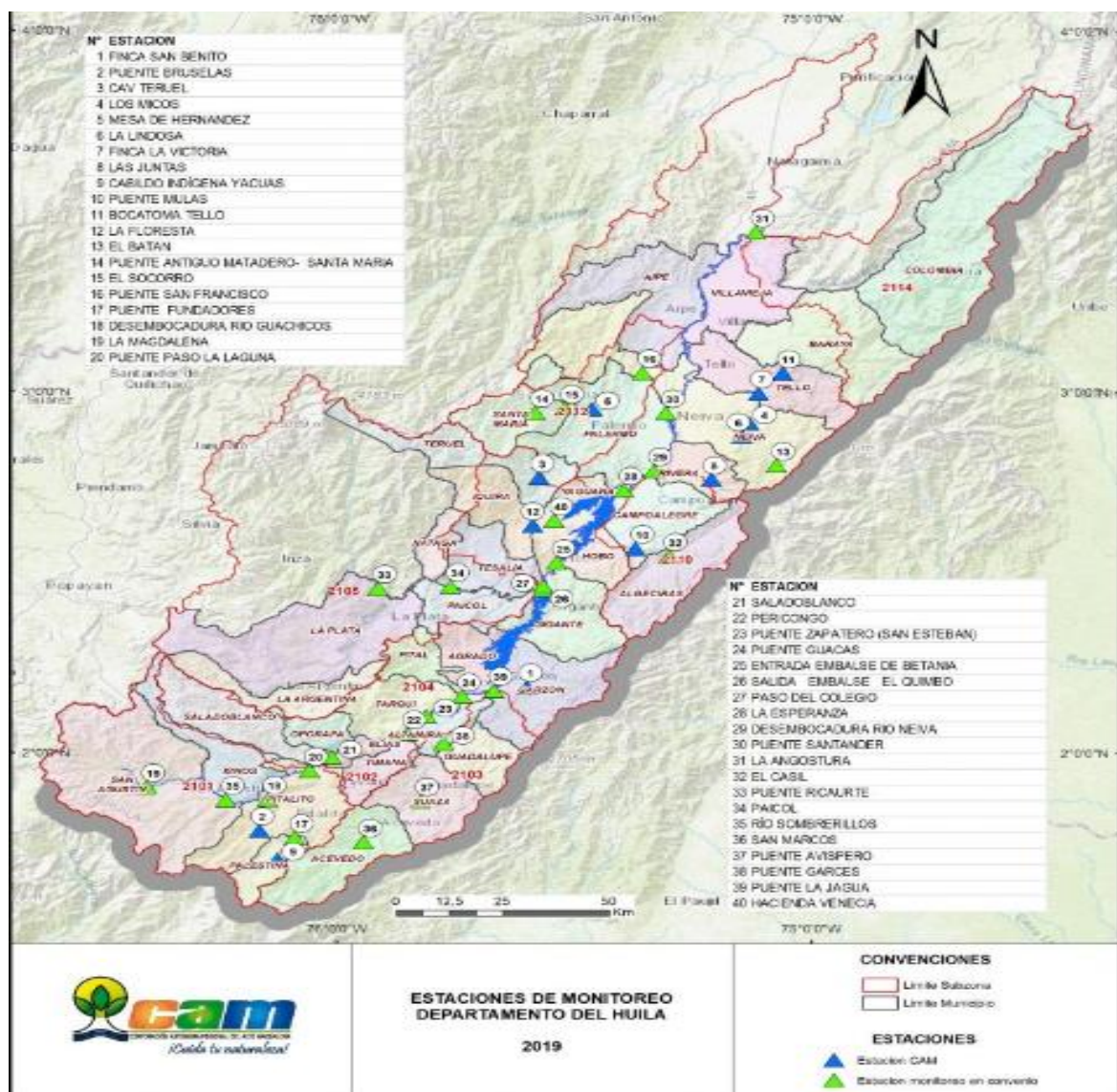
Gráfica 1. Índice de calidad del agua en el río Magdalena



Fuente: Estudio Nacional del Agua, 2022

En la gráfica se observa, la forma como se promedia el ICA para dos estaciones que son la del “Paso del Colegio” y el Puente Santander en departamento del Huila. Encontrando un ICA en rango “Aceptable” (Verde). Lo cual será o no validado con nuestra investigación. Las estaciones seleccionadas para el estudio de investigación son “Paso del Colegio” (27), “La Esperanza” (28) y “Puente Santander” (30) (Ilustración 8).

Ilustración 9. Mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo del río Magdalena en el Dpto. del Huila.



Fuente Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena 2019.

#### 4.5 MARCO CONCEPTUAL

**Sistema hídrico superficial:** Es aquel que se produce por la esorrentía de las precipitaciones o por la presencia del agua subterránea que aflora a la superficie del suelo a través de sistemas artesianos (ArcGIS, 2016)

**Estado de Calidad del agua:** condiciones de calidad de una corriente en una estación de monitoreo, evaluada a partir de parámetros fisicoquímicos (Ideam, 2018)

**Índice de Calidad del agua:** De acuerdo con Cahoy y López (2017), es el método que permite identificar el estado y calidad de un cuerpo de agua superficial, incorporando parámetros fisicoquímicos y biológicos en una ecuación matemática.

**Parámetro fisicoquímico:** propiedades físicas y químicas presentes en el agua que determinan su grado de deterioro (Samboni et Al., 2007). Para el proyecto el parámetro fisicoquímico es considerada como la variable fisicoquímica (Ver tabla 1)

#### 4.6 MARCO NORMATIVO

A continuación, se relaciona una tabla con la normatividad vigente en Colombia, bajo la cual se enmarca el proyecto de investigación. Retomada y adaptada de Colmenares L. (2020).

Tabla 5. Normatividad referente aplicada a la investigación

Norma	Descripción	Ente reglamentario
<b>Artículo 80 de la Constitución Política (CP)</b>	<p>Siendo la C. P. del estado colombiano, la ley máxima donde se consignan los derechos y deberes de los ciudadanos, define la estructura y organización del Estado. Por su parte, su artículo 80 consagra que el Estado planificará el manejo y el aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación y restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en zonas fronterizas.</p>	Asamblea Nacional constituyente
<b>Ley 23 de 1973</b>	<p>Por medio de la ley 23 de 1973 se le conceden facultades al presidente de la república para expedir el Código Nacional de Recursos Naturales y la protección al medioambiente, la cual tiene como objeto prevenir y controlar la contaminación del medioambiente buscando su mejoramiento, conservación y restauración. Además, considera al medioambiente como un patrimonio común y en particular promulga al agua como un bien contaminable.</p>	Congreso de la República de Colombia
<b>Ley 99 de 1993</b>	<p>Hace referencia a la Ley General Ambiental a través de la cual se crea el Ministerio de Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y la conservación del medioambiente y de los recursos naturales renovables y se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Por su parte, el Ministerio debe definir las políticas y demás regulaciones que sujetan su recuperación, conservación, manejo, uso y aprovechamiento. Por el contrario, el SINA debe definir ese conjunto de normas, actividades, recursos, programas o instituciones que pongan en marcha cada uno de los principios generales.</p>	Congreso de la República de Colombia
	<p>Esta ley se basa en la reglamentación y organización de la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena, la cual tiene como objetivo particular</p>	

Norma	Descripción	Ente reglamentario
<b>Ley 161 de 1994</b>	la educación de tierras, la generación y distribución de energía, así como el aprovechamiento sostenible y la preservación del medioambiente, los recursos ictiológicos y demás recursos naturales.	Congreso de la República de Colombia
<b>Decreto 2811 de 1974</b>	El presente decreto representa un lineamiento importante y necesario destacar dentro del trabajo de investigación; debido a que plantea la necesidad de lograr la preservación y conservación del medioambiente, prevenir y controlar los efectos nocivos de la explotación de los recursos y regular la conducta humana, individual y colectiva respecto al ambiente.	Presidencia de la República de Colombia
<b>Decreto 1681 de 1978</b>	De manera indirecta el presente decreto fortalece los lineamientos legales frente al fomento y el aprovechamiento de los recursos hidrobiológicos y del medio acuático, su disponibilidad y el manejo racional de los mismos. Busca reglamentar el manejo de las especies hidrobiológicas y así, la protección y el fomento de los recursos hidrobiológicos y de su medioambiente.	Presidencia de la República de Colombia
<b>Decreto 3930 de 2010</b>	Por el cual se establecen cada una de las disposiciones relacionadas con los cursos del recurso hídrico, su ordenamiento y los vertimientos al mismo, al suelo y al alcantarillado. Dicho decreto, anula gran cantidad de artículos del Decreto 1594 del 1984.	Presidente de la República de Colombia
<b>Decreto 0631 de 2015</b>	Por el cual el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, establece algunos parámetros y valores máximos permisibles con respecto a los vertimientos puntuales dirigidos a los cuerpos de aguas superficiales y a los diferentes sistemas de alcantarillado público.	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Norma	Descripción	Ente reglamentario
<b>Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico</b>	La presente política tiene un horizonte de 12 años (2010-2022), la cual garantiza la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante la gestión y el uso eficiente y eficaz, articulado dentro del ordenamiento y el uso del territorio para la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerándolo como factor de desarrollo económico y bienestar social.	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
<b>Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6</b>	Enmarcado dentro de la agenda 2030 para el desarrollo sostenible de las Naciones Unidas. La agenda es un plan de acción global adoptado por todos los estados miembros de la ONU en septiembre de 2015. El ODS 6 se centra en “Agua Limpia y Saneamiento” y tiene como objetivo garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y la gestión sostenible del agua para todos	Organización de las Naciones Unidas (ONU)

Fuente: Colmenares L. 2020 y Adaptación propia

#### 4.7 MARCO INSTITUCIONAL DE ACTORES PARTICIPANTES

##### - Ministerio de Educación Nacional (MEN)

En Colombia, el marco institucional para la Educación Ambiental está respaldado por el Ministerio de Educación Nacional, el cual establece políticas y lineamientos para la implementación de la Educación Ambiental en el sistema educativo del país. Entre los aspectos más relevantes están los “Lineamientos Curriculares” (objetivos, contenidos y metodologías), Planes y Programas (sostenibilidad ambiental), Capacitación de docentes y en la “Participación y Vinculación” (MEN, 2022)

- **Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (MMADS)**

Regula el ordenamiento ambiental del territorio, define políticas y regulaciones en relación con la conservación, recuperación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento del recurso hídrico (Observatorio Colombiano de Gobernanza del Agua, 2010).

- **Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)**

Órgano de orden nacional que fortalece la capacidad científica, tecnológica, financiera y administrativa para producir información hidrológica, meteorológica y ambiental requerida por los ciudadanos, el MMADS y las entidades adscritas al SINA (Sistema Nacional Ambiental). (IDEAM, 2014)

- **Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM)**

Entidad encargada de la gestión ambiental en la región del Alto Magdalena en Colombia, lo cual incluye gestionar y conservar los recursos naturales y medio ambiente en su jurisdicción, supervisando el uso del suelo, la calidad del agua y la biodiversidad. Otorga licencias y permisos ambientales para actividades que puedan tener impacto en el medio ambiente. Previene y Controla la contaminación del agua, aire y suelo en su región; promueve los programas de educación ambiental para concientizar al ciudadano sobre la importancia de conservación y uso sostenible de los recursos naturales. (OCGA, 2010 & CAM, 2021)

## **CAPÍTULO V. OBJETIVOS**

### **5.1 OBJETIVO GENERAL**

Proponer un método mejorado para determinar el índice de deterioro en la calidad de agua en el río Magdalena del departamento del Huila.

### **5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los agentes y elementos contaminantes, comunes del afluente tributario al río Magdalena, en el departamento del Huila.
- Mejorar la correlación que conlleve a la cuantificación de la calidad del agua, del afluente tributario al río Magdalena, en el departamento del Huila.
- Evaluar los resultados obtenidos, generando proyecciones, en la variación de la calidad del agua, del afluente tributario al río Magdalena, en el departamento del Huila.
- Diseñar una propuesta de mejoramiento sobre el modelo actual que permita y facilite diagnósticos en diferentes áreas o tramos del río Magdalena.



## **CAPÍTULO VI. DISEÑO METODOLÓGICO**

La metodología se constituye en una fase de alta importancia en el proceso investigativo, por lo tanto, el propósito de este capítulo es describir los aspectos más relevantes en cuanto a tipo, diseño, enfoque, métodos, participantes, técnicas e instrumentos de recolección para la construcción de conocimiento, que desde la óptica de Cerda (2005), Páramo y Duque (2008), Bernal (2010) a continuación se analiza para cada uno de estos puntos:

### **6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El tipo de investigación para este estudio es Mixto. De acuerdo con Miles y Huberman desde el enfoque cualitativo, el papel de los investigadores alcanza una visión holística del contexto objeto de estudio. Una tarea fundamental consiste en explicar las formas en que las personas comprenden, narran, actúan y manejan sus situaciones cotidianas y particulares. La mayor parte de los análisis en este enfoque, se describen, organizan, contrastan y ofrece modelos que permiten desarrollar competencias de razonamiento y argumentación en el área de las matemáticas.

Cuantitativo, porque, a partir de parámetros fisicoquímicos históricos, suministrados por el Ideam y la CAM, en cada estación de monitoreo, se cuantifica el valor del índice de calidad propio de cada momento; tanto para el Wi asignado por la metodología del Ideam, como para el Wi ajustado de acuerdo con la cualificación de expertos del departamento del Huila.

## **6.2 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación se llevó a cabo de acuerdo con la línea de Investigación Acción Pedagógica (IAP), con alcance descriptivo, la cuales “buscan especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice” (Hernandez & Fernández, 2015); así, en el contexto socio - educativo, se decide trabajar con un colectivo más amplio de personas, en las que se implica a instituciones, organizaciones, comunidades, docentes, estudiantes, de tal forma, que les contribuya a definir sus necesidades e implicarse en las fases de la investigación.

La evolución del índice de Calidad del agua, de las estaciones objeto de estudio, describen a partir del periodo de análisis, los diferentes cambios a los cuales se han visto sometidos por las diferentes descargas contaminantes en el Río Magdalena. Dentro del contexto social y educativo, se trabajó con personal experto, tanto del sector público y privado, conocedores de los elementos o factores contaminantes que más impacto negativo inciden en el valor del ICA. Igualmente, se socializa en método mejorado para la determinación del ICA a la comunidad educativa, con el fin de medir su impacto.

## **6.3 POBLACIÓN Y MUESTRA**

Se considera población al conjunto de bases de datos que reposan en el Ideam y la CAM. Los cuales se clasifican por fecha de muestreo y análisis fisicoquímico de las estaciones de monitoreo definidas. Esta base de datos fue entregada al grupo de

investigación de manera formal, a través de correo electrónico, con el fin de garantizar la confiabilidad y veracidad de los datos.

## **6.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

Se estableció paso a paso, el orden que apunta al desarrollo metodológico de cada objetivo específico en la identificación de los agentes que más impactan negativamente al ICA, en la mejora a la correlación o ecuación para el cálculo del ICA adaptado a la región de estudio, en la evaluación de resultados y en la propuesta de mejoramiento para facilitar el diagnóstico del ICA en otros puntos de observación (cualitativa o cuantitativamente).

## **6.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN**

### 6.5.1 Cumplimiento al objetivo en identificación agentes contaminantes

Para dar cumplimiento al objetivo específico en la identificación de agentes contaminantes

- Solicitud de datos (espaciotemporales) al Ideam y CAM a través de correo oficial de las estaciones de monitoreo
- Selección de las variables (físicoquímicas) necesarias para el cálculo del ICA
- Inclusión de los datos seleccionados en tablas de Excel con las correlaciones matemáticas para el cálculo del ICA con los  $W_i$  sugeridos por el Ideam
- Generar tablas resumen del ICA para cada estación
- Generar gráficas

### 6.5.2 Cumplimiento al objetivo de mejoramiento al cálculo del ICA para c/región

Para dar cumplimiento al objetivo específico en mejorar la correlación o ecuación para el cálculo del ICA adaptado a la región de estudio, se llevó a cabo las siguientes técnicas:

- Encuesta de expertos, para definir el grado de afectación contaminante del Río Magdalena en el departamento del Huila, en función de las actividades económicas
- Normalización de datos y cálculo del Wi específico a la región de estudio
- Inclusión del Wi ajustado a la hoja de Excel y recalcular los nuevos valores del ICA.
- Generar las nuevas tablas resumen
- Diseño de gráficas con el fin de establecer comparaciones

### 6.5.3 Cumplimiento al objetivo de evaluación de resultados

Para dar cumplimiento al objetivo de Evaluación de resultados, se emplearon las siguientes técnicas:

- Empleo de herramientas para el análisis exploratorio de bases de datos, definidos por la minería de datos. En el caso particular del espacio colaborativo en el lenguaje de programación Python
- Definición de las librerías y los “frameworks” para la visualización gráfica de datos

- Análisis multivariable de los datos a partir de los gráficos de enjambres, cajas, calor y pares.
- Establecer las variables que más afectan el ICA en cada estación
- Identificar el tipo de relación de las variables

#### 6.5.4 Cumplimiento al objetivo de diseño de la propuesta de mejoramiento

Para dar cumplimiento al objetivo de la propuesta de mejoramiento que facilite el diagnóstico del ICA (cualitativa y cuantitativamente) en otros puntos de observación o monitoreo.

- Definir el equipo interdisciplinar para el desarrollo de la Aplicación
- Definir el lenguaje de programación y ambiente de visualización
- Desarrollar la Aplicación de Diagnóstico del Índice de Calidad del Agua (APP DICA)
- Realizar prueba de escritorio
- Validación y socialización de la Aplicación

## CAPÍTULO VII. RESULTADOS OBTENIDOS

### 7.1 RESULTADOS

#### 7.1.1 Para el alcance del objetivo 1

La mayoría de los contaminantes del Río Magdalena, son causados por la actividad del hombre, en el proceso de transformación de los recursos naturales (Ver Anexos C, D y E). En menor proporción los contaminantes verdaderamente naturales, son los sólidos generados en el desprendimiento de rocas (ígneas y metamórficas) provenientes de las cordilleras oriental y central, las cuales disminuyen su tamaño a **arena y limo**, en el proceso de transporte producto de la energía potencial y de la escorrentía de las aguas lluvias integrada a los efluentes del Río. Así como material vegetal proveniente de los bosques naturales en conservación, de la parte alta del Valle.

Los habitantes pobladores del Valle del Río Magdalena en el departamento del Huila se han establecido en altitudes que van desde la ribera del río, laderas, hasta la parte más alta del flanco occidental de la cordillera oriental y el flanco oriental de la cordillera central. Durante su establecimiento el hombre ha transformado el suelo, ampliando la frontera agrícola, a través de talas de bosques nativos, quemas, remoción de tierra, apertura de vías y mediante la construcción de centros poblados.

La tala de bosques debilita el sostenimiento del suelo y con la ayuda natural de las lluvias arrastra arena y limo que se incorpora a las fuentes hídricas, aumentando los **sólidos suspendidos totales (SST)**. Algunas áreas descapotadas, durante el proceso de tala y quema de bosques, son adecuadas para la siembra de cultivos como el café, arroz, cacao (monocultivos) y otros de “pan-coger” o frutales que garantizan la seguridad

alimentaria y sostenibilidad económica de las familias. Otras áreas son adecuadas para la actividad pecuaria. El crecimiento y sostenibilidad de los cultivos exigen el uso de fertilizantes y plaguicidas. El uso permanente del suelo hace que éste pierda minerales necesarios para el crecimiento de los cultivos, por lo cual, y con el fin de mantener una rentabilidad de la actividad, el hombre usa minerales como el **Nitrógeno, Fósforo, Potasio** en proporciones diferentes, dependiendo del análisis del suelo.

No todos los agroquímicos se incorporan al suelo o la planta y una proporción de estos, son llevados a los afluentes hídricos a través de la escorrentía generadas por las lluvias. Estos tres minerales, entre otros, incorporados o vertidos al Río Magdalena, de acuerdo con sus rangos de concentración (**Decreto 0631 de 2015 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible**) son considerados contaminantes, y además estos rangos o límites de permisividad dependen también del uso que se le vaya a dar al agua (uso doméstico, recreativo, cultivos, industrial, entre otros).

Durante el recorrido del Río Magdalena y sus afluentes, a lo largo del departamento del Huila, se han establecido 44 estaciones de Monitoreo. Para el presente caso de estudio se tomó como base la información entregada por el IDEAM-CAM de tres estaciones de monitoreo: Estación Paso del Colegio, Estación La Esperanza y Puente Santander.

[https://pirma.cam.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Estaciones\\_monitoreo\\_huila-768x992.jpg](https://pirma.cam.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Estaciones_monitoreo_huila-768x992.jpg)

La información está dada en formato Excel, con cada uno de los parámetros fisicoquímicos para cada muestreo en las estaciones definidas. La frecuencia del muestreo varía cada año (tres a dos veces).

Tabla 6. Frecuencia de muestreo en las diversas estaciones

NOMBRE_ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	CORRIENTE	MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	FECHA MUESTRO	NOMBRE_PARAMETRO	VALOR	UNIDADES
RCA_MAGDALENA_HUI_GIGANTE_PASO DEL COLEGIO [21077020]	2,46	-75,57	536	MAGDALENA	GIGANTE	HUILA	30/03/2009	pH	7,84	unidades de pH
RCA_MAGDALENA_HUI_GIGANTE_PASO DEL COLEGIO [21077020]	2,46	-75,57	536	MAGDALENA	GIGANTE	HUILA	30/03/2009	Temperatura	22	°C
RCA_MAGDALENA_HUI_GIGANTE_PASO DEL COLEGIO [21077020]	2,46	-75,57	536	MAGDALENA	GIGANTE	HUILA	30/03/2009	Oxígeno disuelto	6,1	mg O2/L
RCA_MAGDALENA_HUI_GIGANTE_PASO DEL COLEGIO [21077020]	2,46	-75,57	536	MAGDALENA	GIGANTE	HUILA	30/03/2009	Conductividad eléctrica	128	µS/cm
RCA_MAGDALENA_HUI_GIGANTE_PASO DEL COLEGIO [21077020]	2,46	-75,57	536	MAGDALENA	GIGANTE	HUILA	30/03/2009	Nitrógeno Kjeldahl Total	1	mg N/L
RCA_MAGDALENA_HUI_GIGANTE_PASO DEL COLEGIO [21077020]	2,46	-75,57	536	MAGDALENA	GIGANTE	HUILA	30/03/2009	Fósforo total	0,93	mg P/L
RCA_MAGDALENA_HUI_GIGANTE_PASO DEL COLEGIO [21077020]	2,46	-75,57	536	MAGDALENA	GIGANTE	HUILA	30/03/2009	Demanda química de oxígeno	31	mg O2/L
RCA_MAGDALENA_HUI_GIGANTE_PASO DEL COLEGIO [21077020]	2,46	-75,57	536	MAGDALENA	GIGANTE	HUILA	30/03/2009	Turbidez	420	NTU
RCA_MAGDALENA_HUI_GIGANTE_PASO DEL COLEGIO [21077020]	2,46	-75,57	536	MAGDALENA	GIGANTE	HUILA	30/03/2009	Sólidos suspendidos totales	680	mg/L
RCA_MAGDALENA_HUI_GIGANTE_PASO DEL COLEGIO [21077020]	2,46	-75,57	536	MAGDALENA	GIGANTE	HUILA	4/08/2009	pH	7,76	unidades de pH
RCA_MAGDALENA_HUI_GIGANTE_PASO DEL COLEGIO [21077020]	2,46	-75,57	536	MAGDALENA	GIGANTE	HUILA	4/08/2009	Conductividad eléctrica	102	µS/cm
RCA_MAGDALENA_HUI_GIGANTE_PASO DEL COLEGIO [21077020]	2,46	-75,57	536	MAGDALENA	GIGANTE	HUILA	4/08/2009	Temperatura	21,4	°C
RCA_MAGDALENA_HUI_GIGANTE_PASO DEL COLEGIO [21077020]	2,46	-75,57	536	MAGDALENA	GIGANTE	HUILA	4/08/2009	Oxígeno disuelto	7,2	mg O2/L
RCA_MAGDALENA_HUI_GIGANTE_PASO DEL COLEGIO [21077020]	2,46	-75,57	536	MAGDALENA	GIGANTE	HUILA	4/08/2009	Nitrógeno Kjeldahl Total	0,53	mg N/L
RCA_MAGDALENA_HUI_GIGANTE_PASO DEL COLEGIO [21077020]	2,46	-75,57	536	MAGDALENA	GIGANTE	HUILA	4/08/2009	Coliformes totales	46100	NMP/100 cm3
RCA_MAGDALENA_HUI_GIGANTE_PASO DEL COLEGIO [21077020]	2,46	-75,57	536	MAGDALENA	GIGANTE	HUILA	4/08/2009	Escherichia coli	27900	NMP/100 cm3
RCA_MAGDALENA_HUI_GIGANTE_PASO DEL COLEGIO [21077020]	2,46	-75,57	536	MAGDALENA	GIGANTE	HUILA	4/08/2009	Demanda bioquímica de oxígeno	2,3	mg O2/L
RCA_MAGDALENA_HUI_GIGANTE_PASO DEL COLEGIO [21077020]	2,46	-75,57	536	MAGDALENA	GIGANTE	HUILA	4/08/2009	Cromo potencialmente biodisponible	2,36	mg Cr/Kg
RCA_MAGDALENA_HUI_GIGANTE_PASO DEL COLEGIO [21077020]	2,46	-75,57	536	MAGDALENA	GIGANTE	HUILA	4/08/2009	Manganeso potencialmente biodisponible	148	mg Mn/Kg
RCA_MAGDALENA_HUI_GIGANTE_PASO DEL COLEGIO [21077020]	2,46	-75,57	536	MAGDALENA	GIGANTE	HUILA	4/08/2009	Níquel potencialmente biodisponible	3,59	mg Ni/Kg

Fuente: Ideam y Cam (Ver Apéndice 1)

Con esta información, se genera otra tabla de Excel que incluye los pesos específicos (Wi), las concentraciones de las variables definidas (pH, T° C, OD, NT, SST, DQO, FT, CE); Los índices de afectación de cada parámetro (Qi), El producto sumatorio (ICA = Σ Qi Wi) para el cálculo del ICA en cada estación y cada fecha de obtención de la misma.

Tabla 7. Pesos específicos Wi

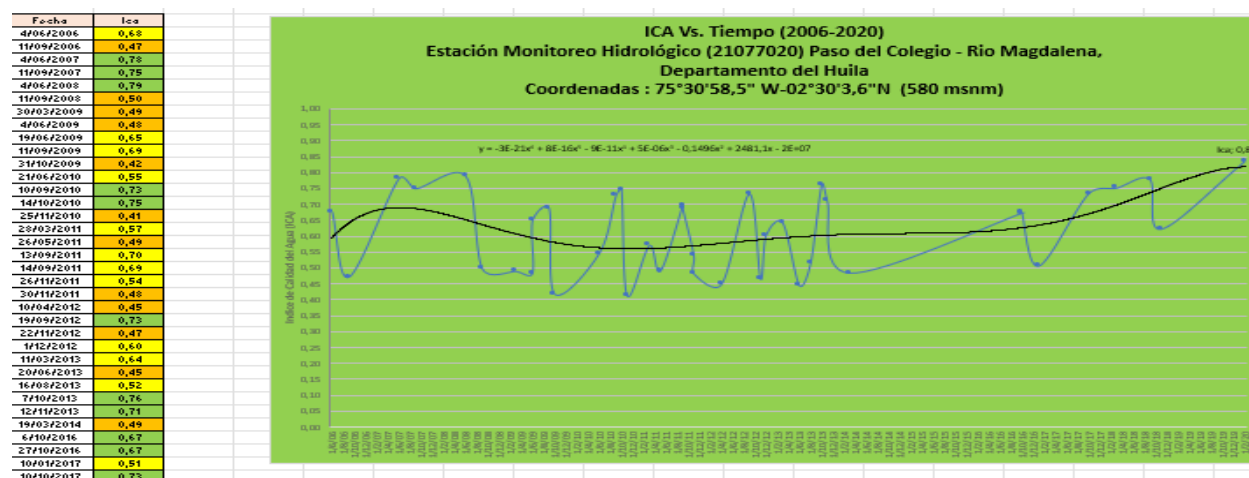
Estación	Punto	Contaminante	Unidad	Año	2006						2007					
					Valor	Qi	Wi x Qi	Valor	Qi	Wi x Qi	Valor	Qi	Wi x Qi	Valor	Qi	Wi x Qi
Paso del Colegio [21077020]	1	pH	unidades de pH	0,15	6,39	0,73	0,109378	6,92	0,96	0,144087	7,47	1,00	0,15	6,99	1,00	0,149429
		Temperatura	°C		22,6			19,9			24,2			26		
		Oxígeno disuelto	mg O2/L	0,17	7,1	0,836678	0,142235	8	0,894374	0,152044	7,2	0,87428	0,148628	7,2	0,903116	0,15353
		Nitrógeno Kjeldahl Total	mg N/L		0,5			2,8			0,66			0,58		
		Coliformes totales	NMP/100 cm3													
		Demanda bioquímica de oxígeno	mg O2/L													
		Turbidez	NTU													
		Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	0,17	101	0,717	0,12189	920	0	0	24	0,948	0,16116	190	0,45	0,0765
		Demanda química de oxígeno	mg O2/L	0,17	20	0,91	0,1547	120	0,125	0,02125	19	0,91	0,1547	19	0,91	0,1547
		Fósforo total	mg P/L		0,15		0,97				0,071			0,052		
		Conductividad Eléctrica	µS/cm	0,17	105	0,719202	0,122264	92	0,764779	0,130012	127	0,637676	0,108405	118	0,671661	0,114182
		Relación NT/PT		0,17	3,333333	0,15	0,0255	2,888598	0,15	0,0255	9,295775	0,35	0,0595	11,15385	0,6	0,102
		ICA					0,88				0,47			0,78		0,75
		Fecha					4/06/2006				#####			4/06/2007		#####
Estación	Punto	Contaminante	Unidad	Año	2006						2007					
					Valor	Qi	Wi x Qi	Valor	Qi	Wi x Qi	Valor	Qi	Wi x Qi	Valor	Qi	Wi x Qi
		pH	unidades de pH	0,15	6,76	0,88	0,132584	6,45	0,75	0,112844	6,3	0,70	0,104377	6,23	0,67	0,100645
		Temperatura	°C		24,7			24,1			23,9			23,5		
		Oxígeno disuelto	mg O2/L	0,17	5,2	0,637232	0,108329	6	0,727225	0,123628	3,8	0,458875	0,078009	7,6	0,910941	0,15486
		Nitrógeno Kjeldahl Total	mg N/L		0,5			2,8			0,66			0,58		

Fuente: González 2023 (Ver Apéndice 2)



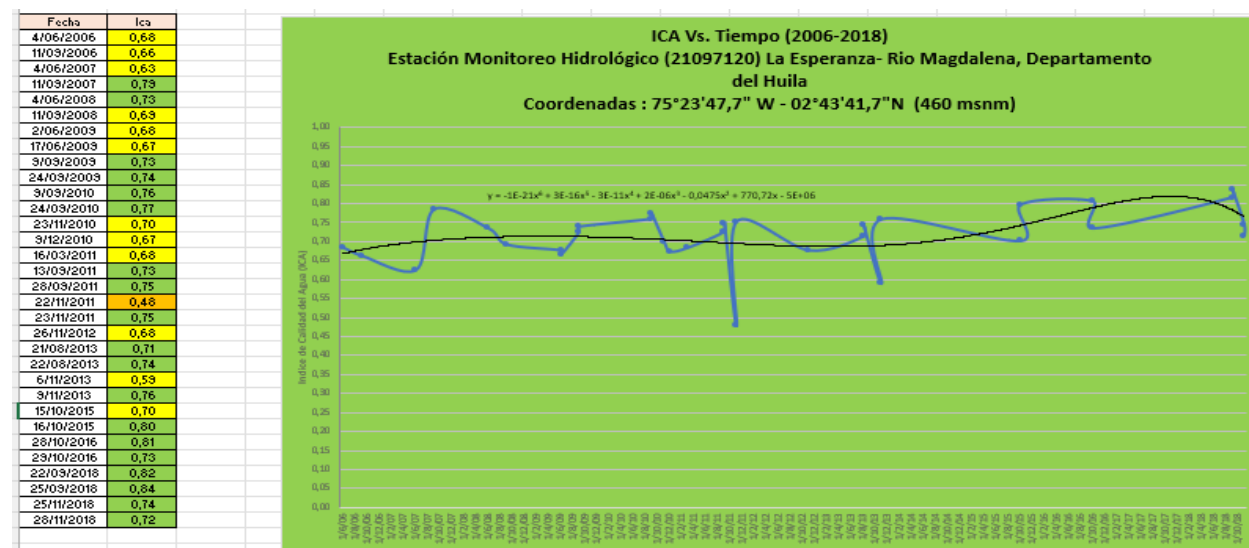
Cada índice (Ii) se determinó a través de condicionales y ecuaciones establecidas por la guía metodológica del IDEAM, en función de los parámetros fisicoquímicos; posteriormente, se tabuló y graficó en Excel los valores de ICA calculados, para visualizar su variación en el tiempo.

Gráfica 2. resultados obtenidos para la estación “Paso del Colegio”



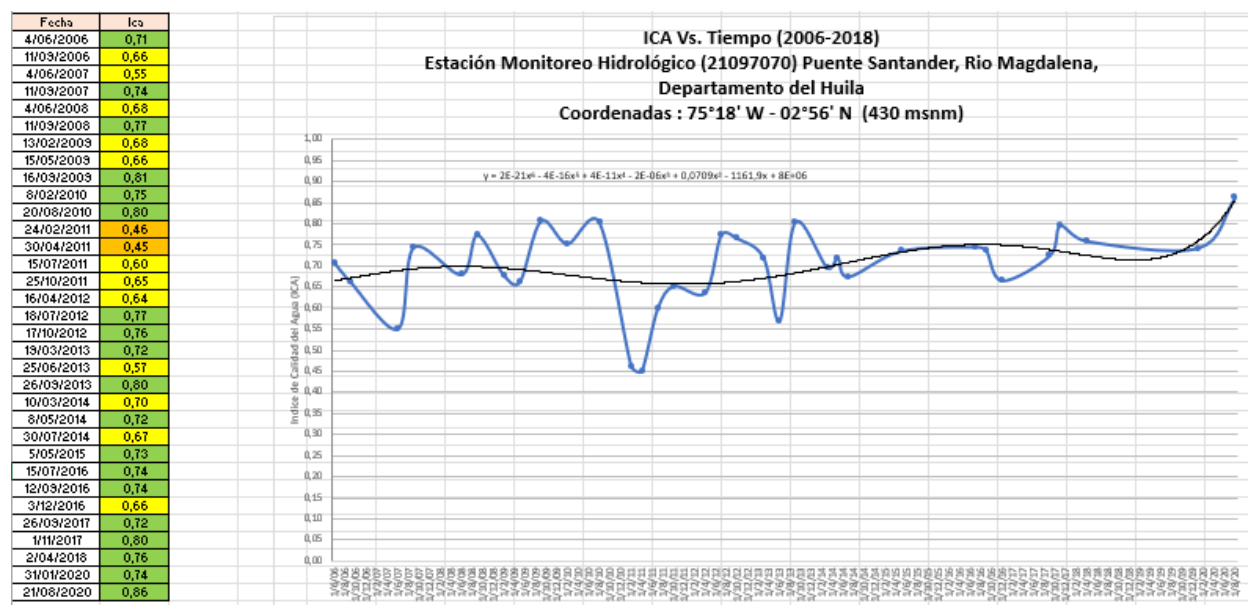
Fuente: González, 2023

Gráfica 3. resultados obtenidos para la estación “La Esperanza”



Fuente: González, 2023

Gráfica 4. resultados obtenidos para la estación “Puente Santander”



Fuente: González, 2023

La gráfica planteada con las fechas de muestreo en el eje X y el valor del ICA calculado en el eje Y. El Excel proporciona la opción de la línea de tendencia, así como la ecuación polinómica a la cual se adapta la línea de tendencia.

### 7.1.2. Alcance del Objetivo 2

Para evaluar el peso específico ( $W_i$ ), adaptado a la región de estudio (Valle Superior del Magdalena), se realizó una encuesta a expertos de diferentes disciplinas y profesiones, tanto del sector público como del privado (ver apéndice 3), a través de “Google forms”. Estos expertos conocen ampliamente el grado de contaminación del río Magdalena afectado por la vocación agrícola, minera, pecuaria e industrial en el departamento del Huila. (Ver Anexo Google forms):

[https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeH\\_aHpe8CYDU1yZIIcLWBtjE6E05BGar\\_Adh0Qphr-s0Xepg/viewform](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeH_aHpe8CYDU1yZIIcLWBtjE6E05BGar_Adh0Qphr-s0Xepg/viewform) ).

El cuestionario, se convierte en uno de los instrumentos más utilizados para la recolección de datos. Es un conjunto de preguntas relacionadas con una o más variables a medir. El contenido de las preguntas de un cuestionario es tan variado como los aspectos que mide. Básicamente se consideran dos tipos de preguntas: cerradas (Son aquellas que contienen opciones de respuesta previamente delimitadas. Pueden ser dicotómicas, es decir, con dos posibilidades de respuestas o incluir varias opciones de respuestas) y abiertas (No delimitan de antemano las alternativas de respuestas, por el cual el número de categorías de respuesta es muy elevado).

Según Torres y Salazar (2014), los cuestionarios son un conjunto de preguntas sobre los hechos o aspectos que interesan en una investigación, en el caso de esta investigación, lo constituyen las variables vinculadas a la contaminación del agua, que arrojan la calidad de estas, en diferentes aspectos y de acuerdo a diversos criterios de evaluación de calidad del agua, es un instrumento fundamental para la obtención de datos.

Para tal efecto, se aplicó un cuestionario compuesto por 16 preguntas, las cuales fueron distribuidas a 29 expertos, quienes cualificaron el grado de afectación de la calidad del Agua superficial de Río Magdalena, a partir de los contaminantes más representativos vertidos a este. Los vertimientos asociados a la actividad agrícola inciden en las variables fisicoquímicas del Nitrógeno Total (NT), el Fosforo Total (FT) (Agroquímicos) y en el pH (Mucílago del café). Las descargas de materia orgánica (MO)

de los sistemas de Alcantarillado inciden en las variables de oxígeno disuelto (OD), DQO (demanda química de oxígeno).

A partir de la pregunta 15, del cuestionario: “El índice de calidad del agua (ICA), involucra la concentración de diferentes contaminantes. A su juicio ¿Cuáles, en nivel de importancia, deberían ser considerados para hacer una valoración más objetiva del ICA del río Magdalena en el Departamento del Huila?”.

Se obtuvo como resultado, los siguientes datos (tabla normalizada).

Tabla 8. Parámetro fisicoquímico evaluado

Valoración	OD	pH	SST	FT	NT	CE	T (°C)	DQO	Coliformes
<b>Alto</b>	16	11	16	13	16	7	11	17	18
<b>Medio Alto</b>	8	13	10	13	12	14	8	8	9
<b>Medio</b>	3	5	3	2	0	8	9	3	2
<b>Medio Bajo</b>	2	0	0	1	1	0	1	1	0
<b>Bajo</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Suma</b>	29	29	29	29	29	29	29	29	29

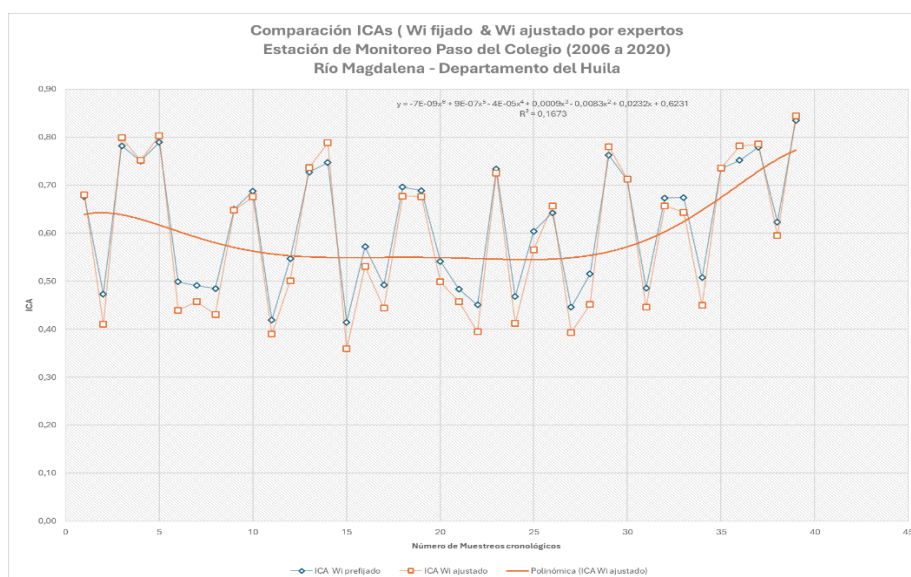
Fuente: González, 2023

Parámetro Físico químico	Valoración	Pesos Absolutos	Fracción	Wi
pH	11	11	0,1383648	0,14
T (°C)	11	13,5	0,1698113	0,17
OD	16			
DQO	17	17,5	0,2201258	0,22
Coliformes	18			
SST	16	16	0,2012579	0,20
NT	16	14,5	0,1823899	0,18
FT	13			
CE	7	7	0,0880503	0,09
Sumatoria		79,5	1	1

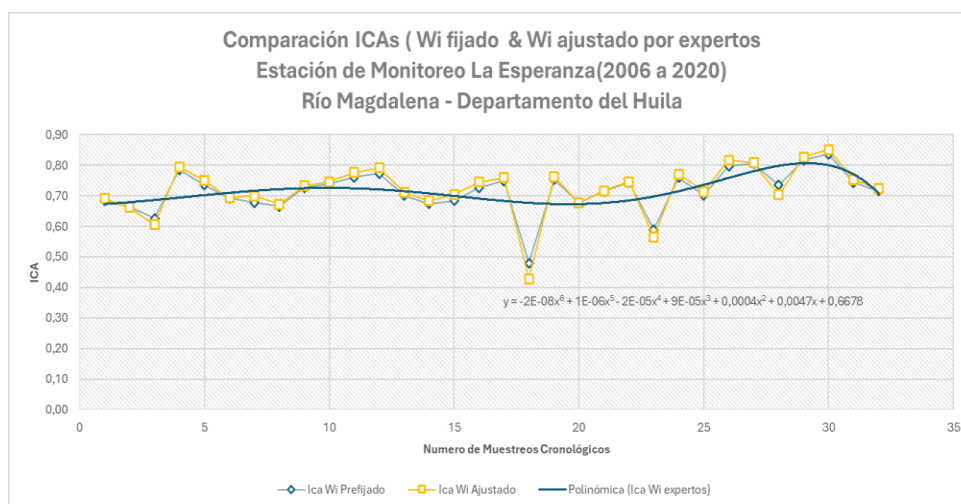
Fuente: González, 2023

Las variables con la más alta valoración asignada, se normalizó y se extrajo el Wi (Peso relativo asignado a la variable de Calidad del Agua). Este valor se utilizó posteriormente, en el cálculo sumatorio para así cuantificar el Índice de Calidad del Agua en el punto de muestreo y en el tiempo de la toma. Con estos nuevos pesos, se recalculó los nuevos ICA, y se comparan con respecto a los ICA en los cuales se usó el Wi prefijado por la metodología del Ideam.

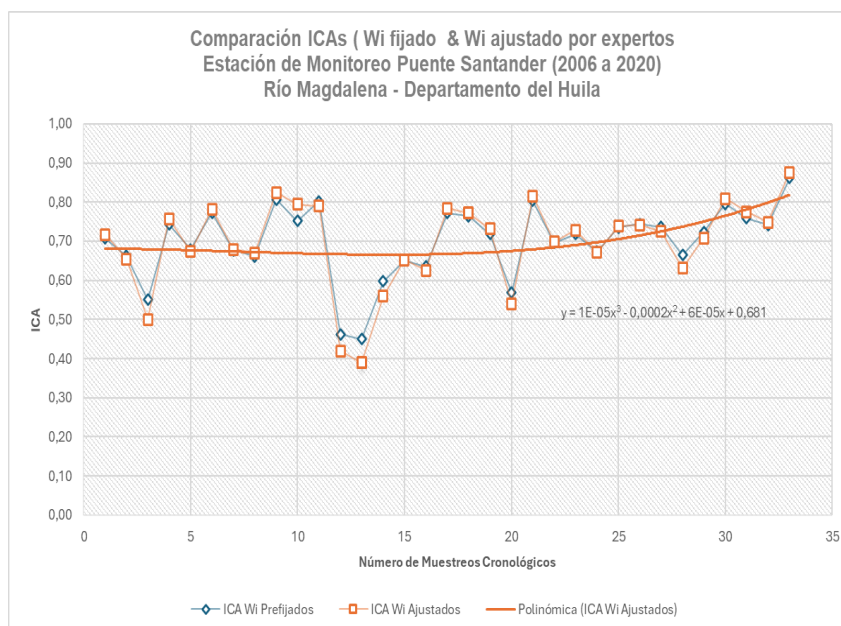
Gráfica 5. Comparación ICAs Estación monitoreo Paso del Colegio 2006 - 2020



Gráfica 6. Comparación ICAs Estación monitoreo La Esperanza 2006 - 2020



Gráfica 7. Comparación ICAs (Wi fijado y Wi ajustado por expertos Puentes Santander)



#### Apéndice 4 Gráficas y Tablas de datos generado con los Wi ajustados

En la comparación de las dos curvas de cada estación, se observa como algunos ICA bajan de categoría, de acuerdo con la escala establecida por el Ideam. Algunos bajan de Aceptable (A) (color verde) a Regular (R) (color amarillo) y otros de Regular a Malo (M) (color naranja).

#### 7.1.3 Alcance del objetivo 3

Con el apoyo del lenguaje de programación “Python” y de sus librerías asociadas (pandas, numpy, matplotlib y seaborn), se logró una mejor visualización de los datos, para su posterior análisis.

Gráfica 8. Dispersión de datos tipo Enjambres

```
[ ]
data=df[['Estación Paso del Colegio', 'Estación La Esperanza', 'Estación Puente Santander']]
sns.set(style="whitegrid") # Estilo del gráfico
g = sns.catplot(data, kind="swarm", aspect=2)

# Personaliza el título y el eje y según tus necesidades
plt.title("Dispersión del Índice de calidad por estación Periodo 2006-2020")
plt.ylabel("ICA")

# Mostrar el catplot
plt.show()
```

Fuente:

Gráfica 9. Dispersión del índice de calidad por estación periodo 2006 - 2020

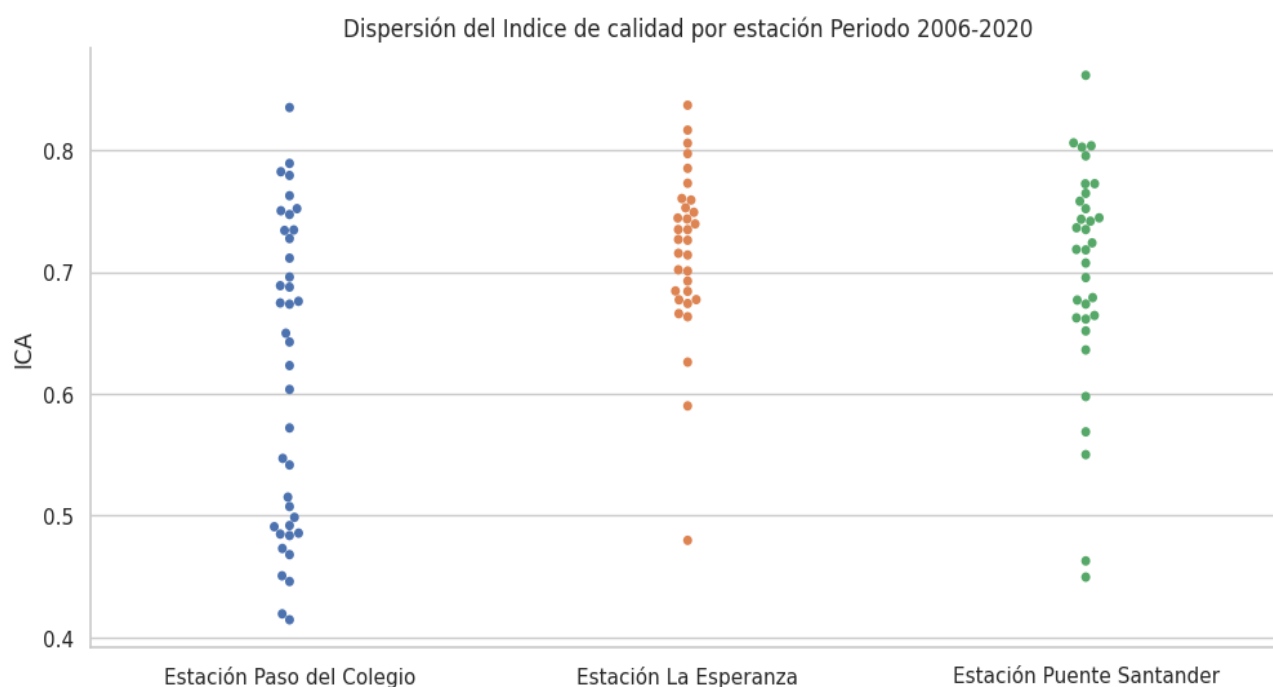


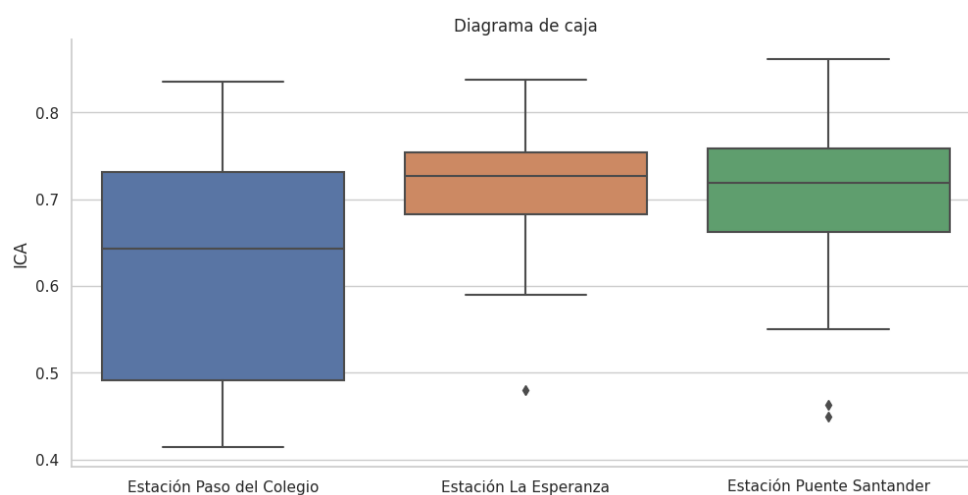
Gráfico de Enjambres (“swarm”). Dispersión del índice de calidad del agua de tres estaciones de monitoreo, en el río Magdalena, Depto. Del Huila, periodo de 2006 a 2020.

La Estación “Paso del Colegio”, registra un mayor grado de contaminación regular, con datos agrupados en rangos ICA entre regular y malo (0,4 a 0,70).

La estación “La Esperanza”, registra menor grado de contaminación medio, los datos agrupados mayormente en rangos ICA entre regular a aceptable (0,63 a 0,82).

La estación “Puente Santander”, registra grado de contaminación medio, los datos agrupados mayormente en rangos ICA entre regular a aceptable (0,63 a 0,82). Sin embargo, se observan más datos, en comparación con la estación de la Esperanza, que registran ICA entre Regular y Malo.

Gráfica 10. Diagrama de Cajas





Se ratifica el mayor grado de contaminación de la estación de monitoreo en el Paso del Colegio. Con una mediana de 0,64 y una valoración regular (0,51-0,70). El primer cuartil de datos está en valoración Mala (0,26 – 0,50).

La Estación La Esperanza, tiene una mediana de 0,72 y valoración aceptable. Sin embargo, el primer cuartil de datos está con una valoración regular (0,51-0,70).

La estación “Puente Santander” presenta más datos concentrados en valoración regular, e inclusive más datos atípicos con valoración mala del ICA (0,26-0,50).

Posteriormente, se realizó un análisis multivariable inverso para la Estación del Colegio; Independientemente de la forma de cálculo del Índice de variabilidad, se construyó la matriz y diagrama de calor, para visualizar que variables impactan negativamente y en mayor proporción al ICA.

Gráfica 11. Matriz y diagrama de calor

```
[ ] df2.columns
Index(['Muestra', 'Año', 'Mes', 'pH', 'T °C', 'OD', 'NT', 'SST', 'DQO', 'FT',
      'CE', 'I_C_A'],
      dtype='object')

plt.figure(figsize=(10,10))
sns.heatmap(
    data=df2.corr(),
    cmap=sns.diverging_palette(20, 230, as_cmap=True),
    center=0,
    vmin=-1,
    vmax=1,
    linewidths=0.5,
    cbar_kws={"shrink": 0.5},
    annot=True
)
```

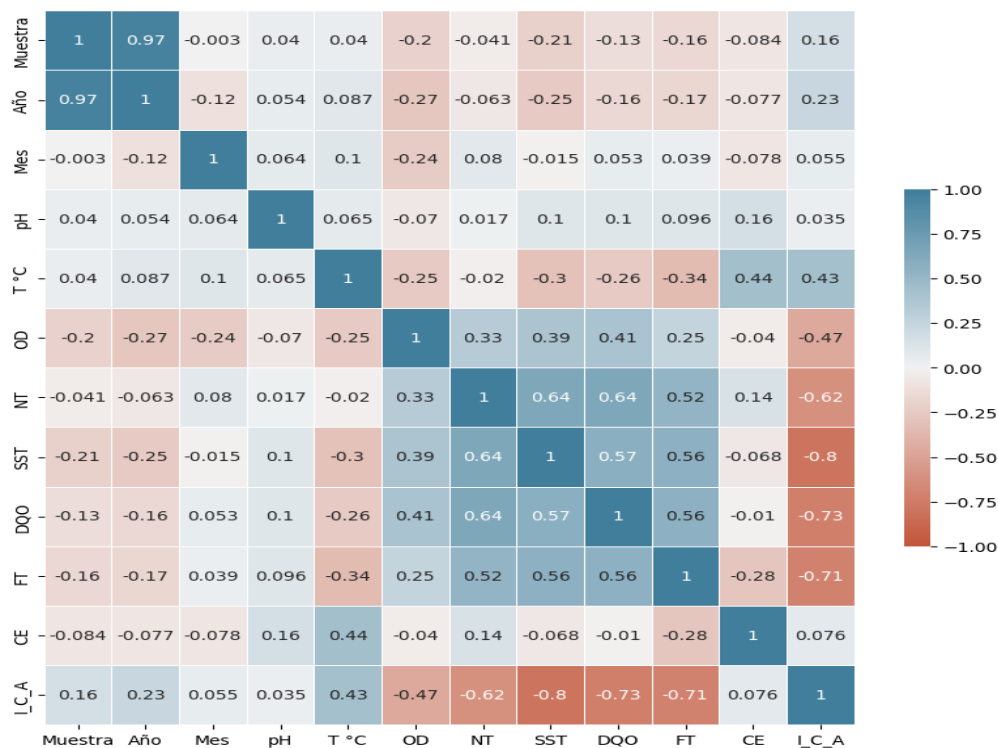


Diagrama de Calor de relación entre las variables que impactan el valor del ICA en la Estación del Colegio.

Para el análisis de las variables (físicoquímicas) y su influencia sobre el valor del índice de calidad del agua, todas de tipo cuantitativo, se evaluará el cambio del coeficiente de correlación de Pearson. Este coeficiente, además de saber si el cambio de una de las variables incide o no sobre la otra variable, mide el sentido del cambio, positivo o negativo, y la intensidad de su influencia. Gráficamente se usará el diagrama de calor apoyada de herramientas y librería en Python.

El coeficiente de correlación de Pearson oscila entre -1 y 1. Si la correlación es negativa, significa que las variables están asociadas en sentido inverso (si una variable aumenta, la otra disminuye). Si se acerca más a -1, significa que la intensidad aumenta, o sea que, si el valor de una variable es muy alto, el valor de la otra será muy bajo. Si el valor

de coeficiente es positivo, significa que las variables están asociadas en sentido directo (si una variable aumenta, la otra también aumenta). Si se acerca más a 1, más alta será su asociación. Y un coeficiente cercano a cero, indica que no hay relación lineal entre las dos variables.

En este caso, las variables fisicoquímicas que más impacto negativo generan en ICA de esta estación son:

Sólidos Suspendidos Totales (-0,8), Demanda Química de Oxígeno (-0,73), Fósforo Total (0,71) y Nitrógeno Total (0,62).

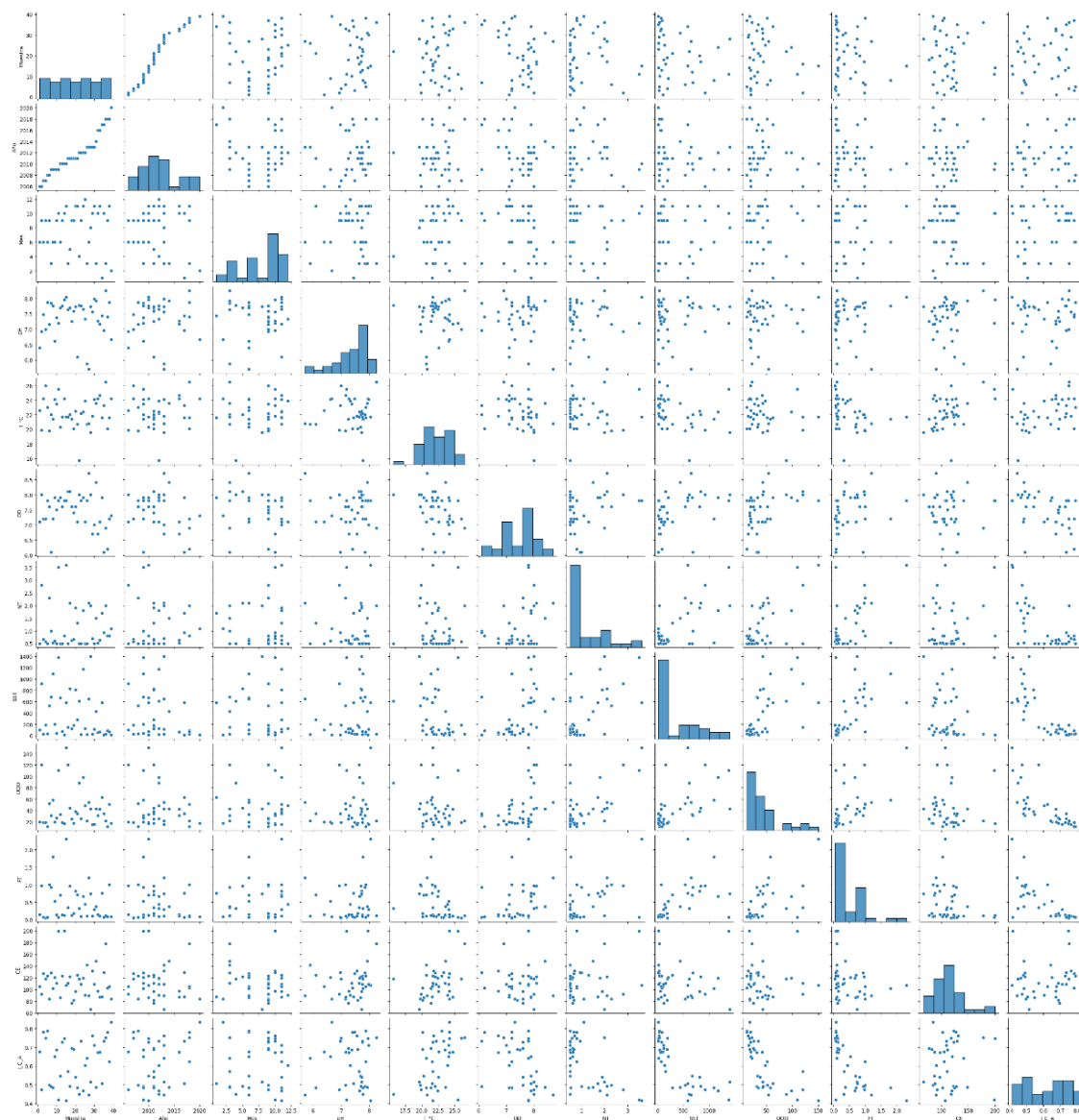
Por último, para visualizar el comportamiento variacional de las variables seleccionadas como de mayor impacto, se construyó un diagrama de dispersión general así:

Gráfica 12. Diagrama de pares dispersión general



```
[ ] df2.columns
      Index(['Muestra', 'Año', 'Mes', 'pH', 'T °C', 'OD', 'NT', 'SST', 'DQO', 'FT',
            'CE', 'I_C_A'],
            dtype='object')

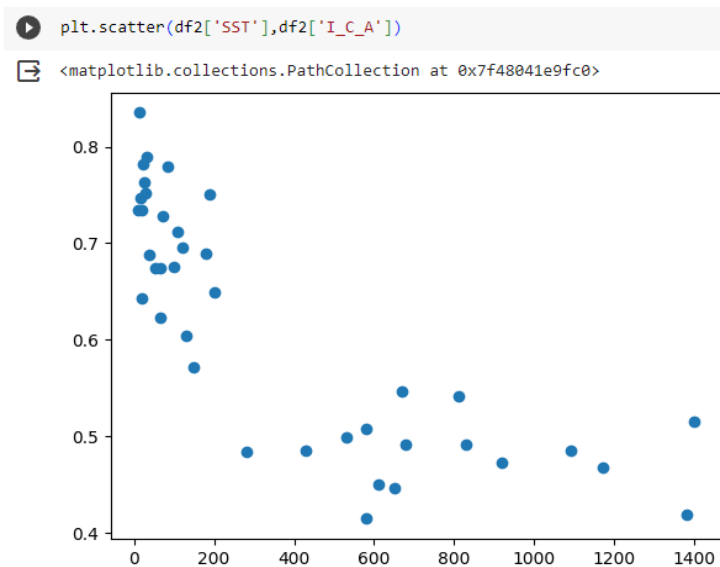
[ ] sns.pairplot(data=df2)
```



Fuente: González, 2023

Diagrama matriz de dispersión ICA Vs Variables fisicoquímicas de la Estación paso del Colegio, del Río Magdalena, periodo 2006-2020.

Se amplió las variables de mayor impacto negativo así:



Gráfica 13. Diagrama de dispersión ICA vs SST (mg/l) Estación paso del colegio Rio Magdalena, periodo 2006 - 2020

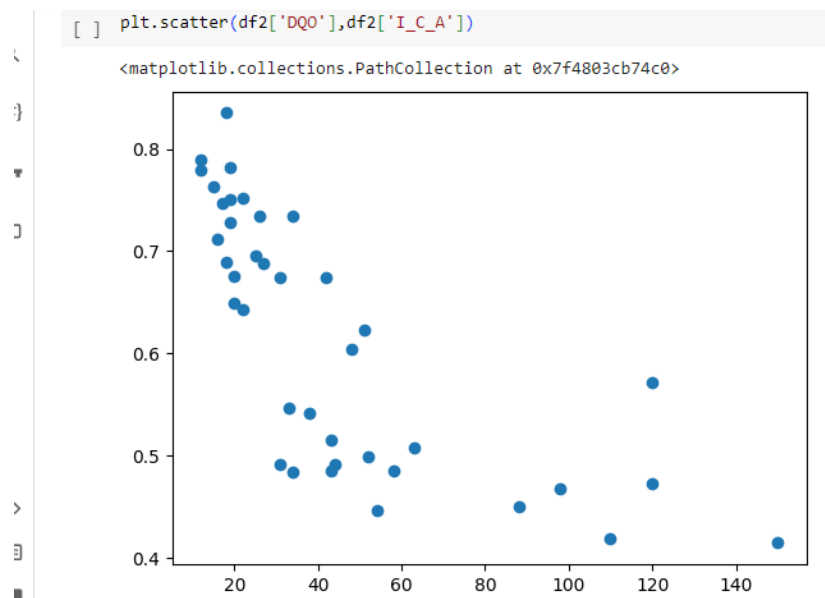


Diagrama de Dispersión ICA vs. DQO (mg/l) Estación Paso del Colegio del Río Magdalena, periodo 2006-2020

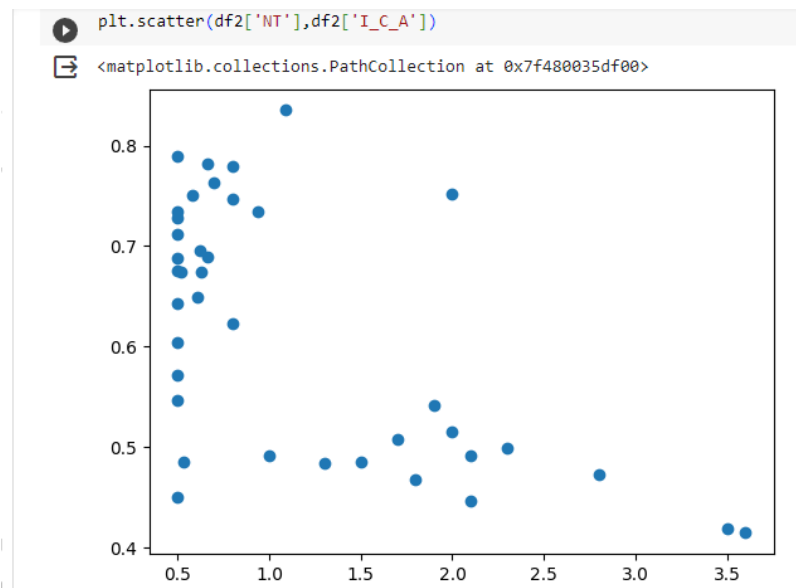


Diagrama de Dispersión ICA vs. NT (mg/Lt) Estación Paso del Colegio del Río Magdalena, periodo 2006-2020

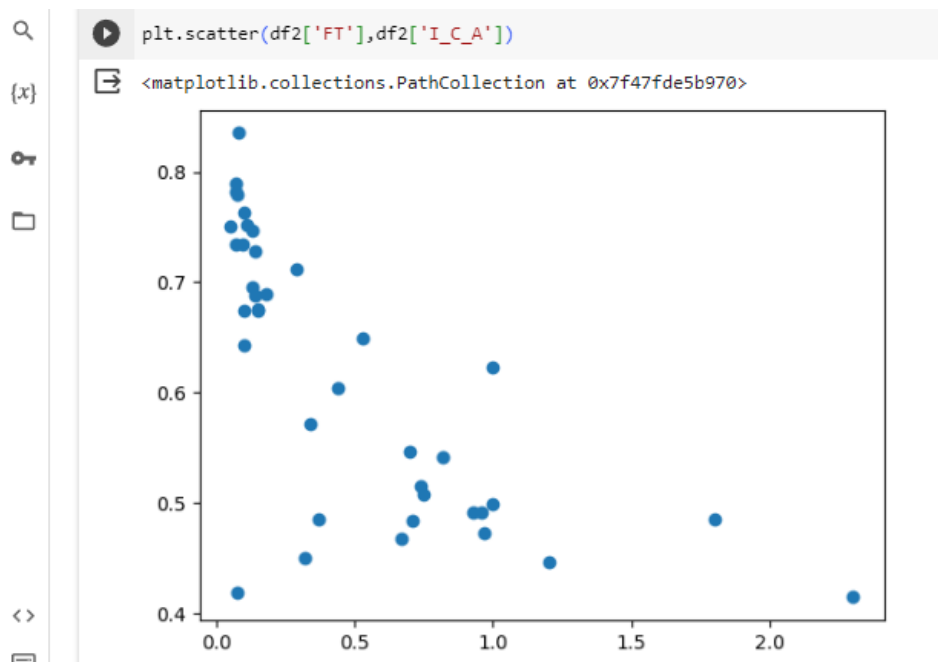


Diagrama de Dispersión ICA vs. FT (mg/Lt) Estación Paso del Colegio del Río Magdalena, periodo 2006-2020

La influencia de estas variables, que impactan más negativamente el rango del ICA, tiene un comportamiento exponencial inverso. A mayor valor de la variable el rango del ICA disminuye fuertemente.

#### 7.1.4 Alcance del objetivo 4

Dica (Diagnóstico del Índice de Calidad del Agua), es una App, desarrollada para teléfonos Android. La cual realiza una valoración cualitativa y cuantitativa de “índice de calidad del agua” para la estación en particular.

Requisitos para el diseño:

La participación interdisciplinaria de un equipo de trabajo con conocimiento en diferentes áreas (R. García) que enfocaron sus saberes en pro de un objetivo común.

Conformación del Equipo:

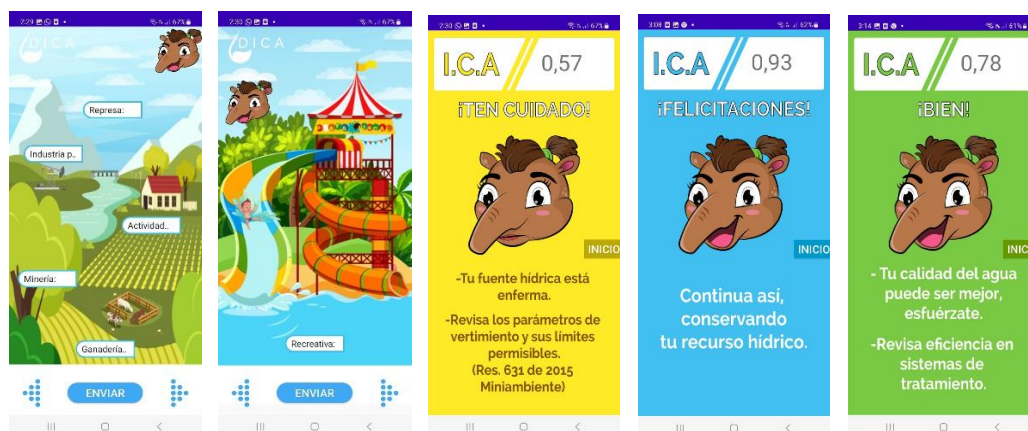
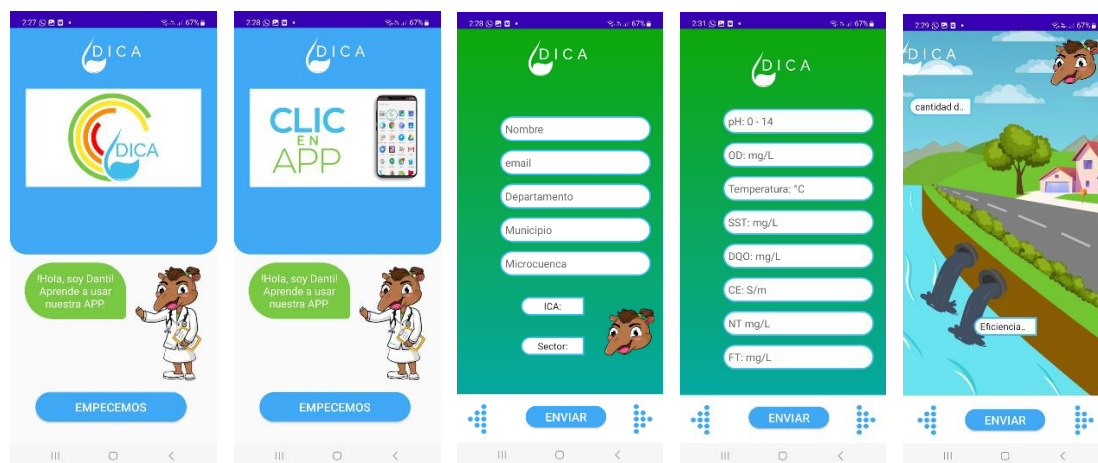
- Especialista Audiovisual: Esta persona se encargó del diseño y animación de la mascota ambiental, que consiste de una danta, llamada “Danti”, especie que habita las áreas de nacederos de agua en nuestro departamento. Igualmente, del vídeo instructivo, dentro de la App, para explicar al usuario la utilización de esta. Cada uno de las pantallas, botones y preguntas que caracterizan el área de estudio. Los mensajes alusivos a la protección del recurso agua y por último la pantalla de salida en forma de semáforo, y que, de acuerdo a los rangos establecidos por el Ideam, se tienen para clasificar la calidad del agua desde los rangos Muy Malo (Rojo), Malo (Naranja), Regular (Amarillo), Aceptable (Verde) y

Buena (azul). (Adobe XD- Illustrator-After effect, Cubase pro – Premier pro – Photoshop)

- Especialista Matemático: quien a partir de la correlación matemática definida por el Ideam, conjuga todas las ecuaciones y variables, desde el  $W_i$ , el subíndice (li), parámetros fisicoquímicos, productos y sumatoria que concluyen con el valor definitivo del ICA. Los subíndices (li) están asociados a curvas funcionales, a las cuales se asignan condicionales y otras ecuaciones por rangos. Para la parte cualitativa se tuvo en cuenta si el área de estudio tiene afectación por área de cultivo, número de cabezas de ganado, número de habitantes, presencia o no de minería, industria petrolera, represa, recreación. Y al final también conducen a una valoración cualitativa por semáforo. También realizó la prueba de escritorio, confrontación y validación de los valores de ICA generados por la App y las tablas de Excel.
- Especialista Desarrollador: quién se encargó de la arquitectura e integración de los componentes anteriores en el lenguaje de programación Java, para “Android Studio”, del empaquetamiento y función ejecutable para teléfonos Android.
- Especialista Ambiental: selección de las variables más utilizadas, en el cálculo del índice de calidad de aguas superficiales en Colombia.

Ver apéndice 5 con la codificación usada para el desarrollo de la “App Dica”. Igualmente, en el Apéndice 6 encontrará el archivo ejecutable de la “App Dica” para celular Android.





### Pantallazos de la “App Dica”

Para la validación del componente pedagógico, se realizó la socialización con estudiantes del grado 11 de la institución educativa “Riverita” del municipio de Rivera – Huila. En la cual se dio a conocer los contaminantes más significativos, sobre las fuentes hídricas en el departamento de Huila; las entidades encargadas por realizar los controles y vigilancia de los vertimientos; la importancia en mantener nuestro recurso hídrico en buenas condiciones y por último la importancia de integrar en el currículo educativo, asignaturas que apunten a la educación ambiental. Se les instaló en sus celulares la

“App Dica” y realizó un ejercicio de cálculo cualitativo y cuantitativo. Se evaluó el conocimiento adquirido a través de una encuesta en “Google forms”. (Apéndice 7)

## 7.2 HALLAZGOS

Ampliación de resultados del análisis de datos, de acuerdo con las variables de mayor impacto negativo en la estación “Paso del Colegio”

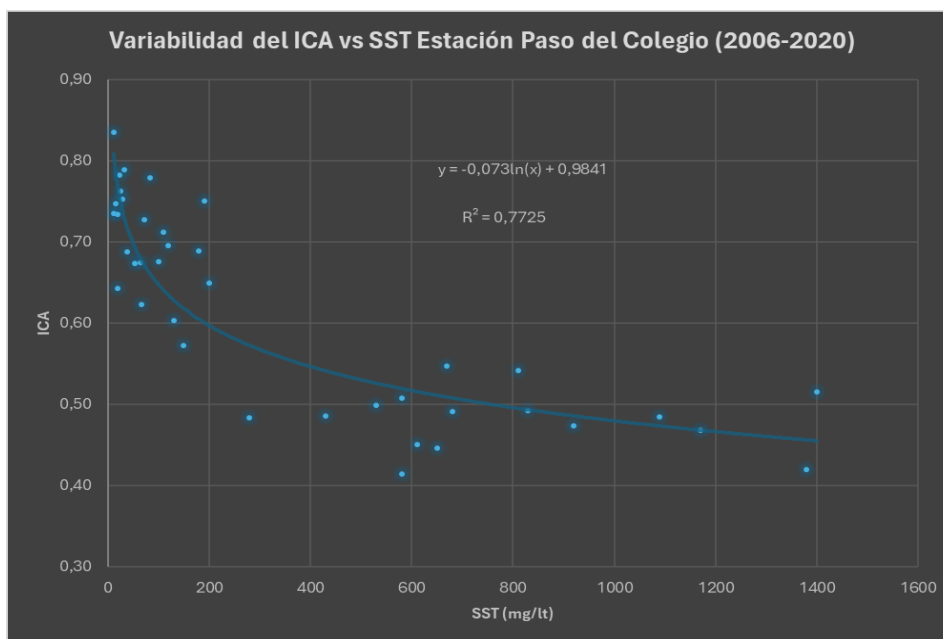


Gráfico ICA Vs Sólidos Suspendidos Totales (SST) Estación Paso del Colegio (2006-2020)

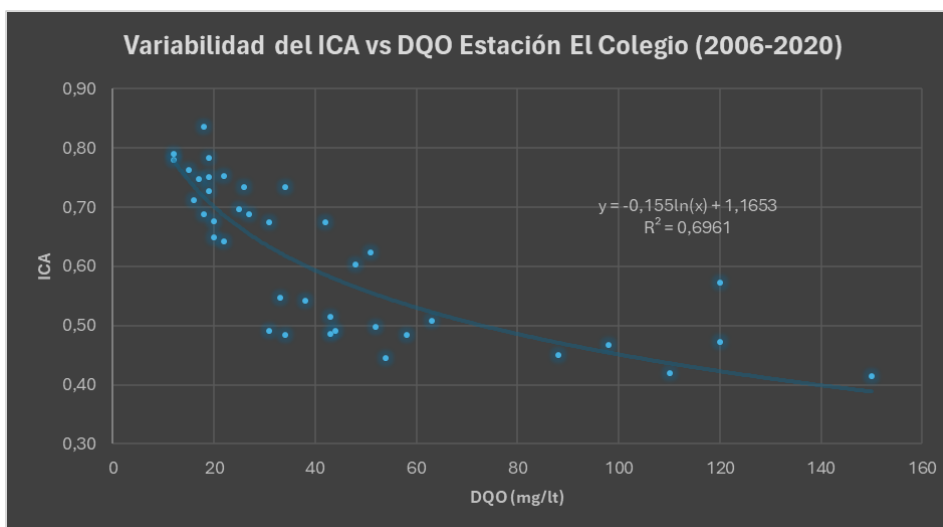


Gráfico ICA Vs Demanda Química de Oxígeno (DQO) Estación Paso del Colegio (2006-2020)

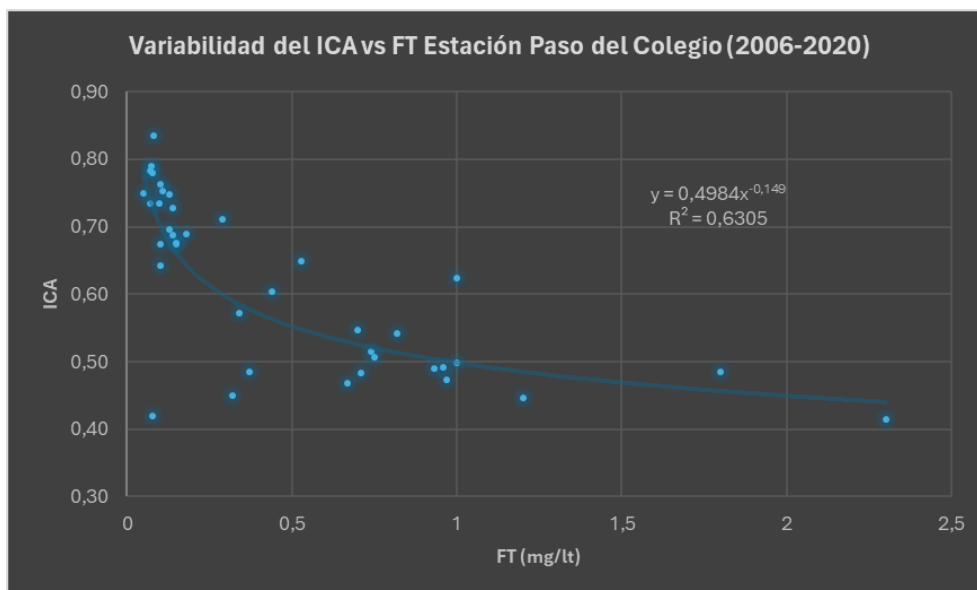


Gráfico ICA Vs Fosforo Total (FT) Estación Paso del Colegio (2006-2020)

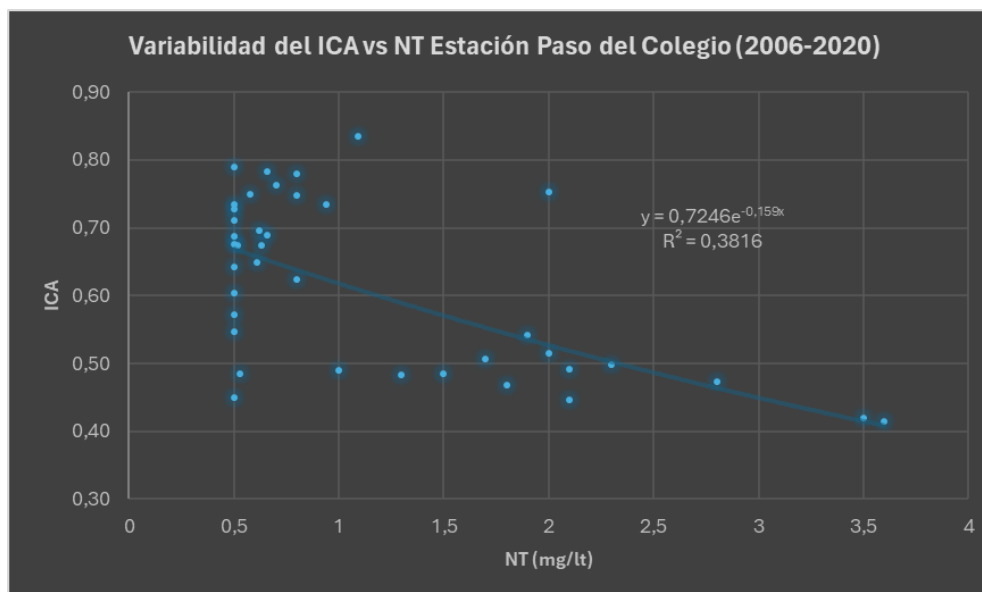


Gráfico ICA Vs Nitrógeno Total (NT) Estación Paso del Colegio (2006-2020)

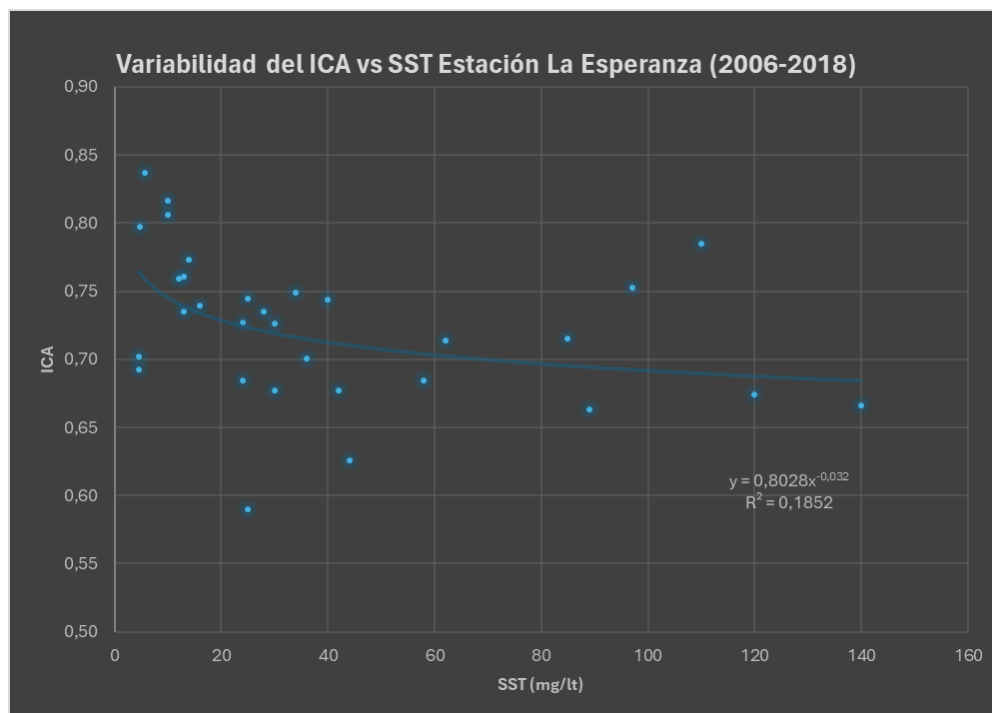


Gráfico ICA Vs Sólidos Suspendidos Totales (SST) Estación La Esperanza (2006-2018)

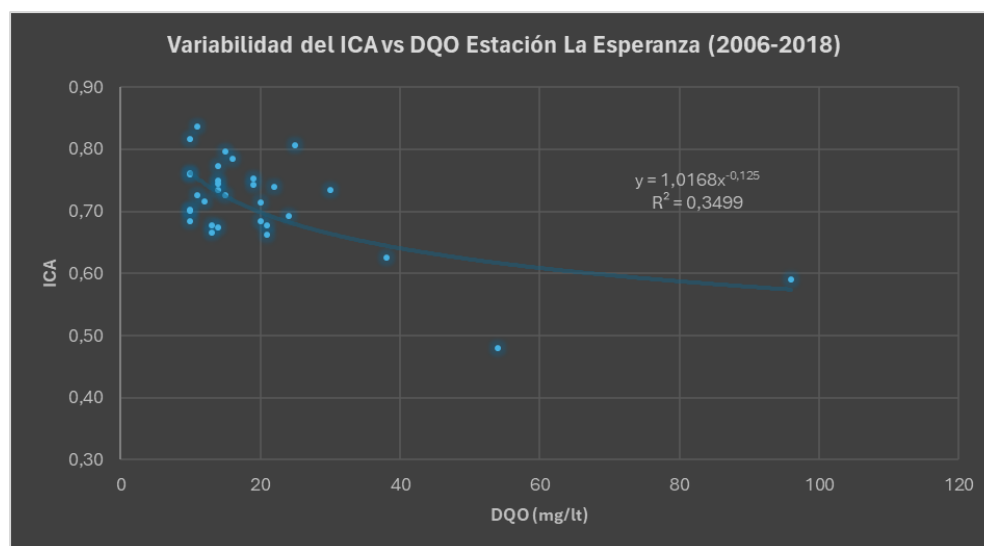


Gráfico ICA vs Demanda Química de Oxígeno (DQO) Estación La Esperanza (2006-2018)

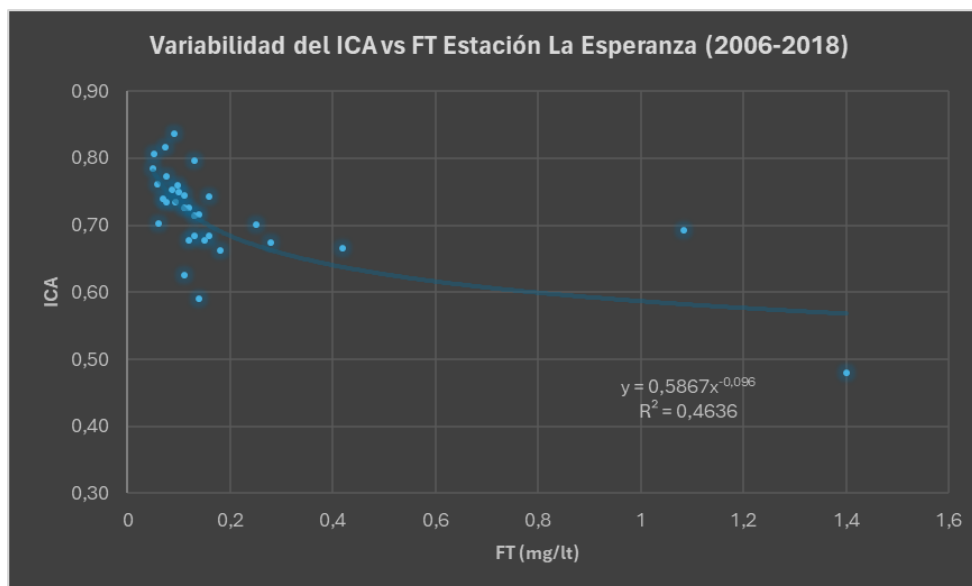


Gráfico ICA vs Fosforo Total (FT) Estación La Esperanza (2006-2018)

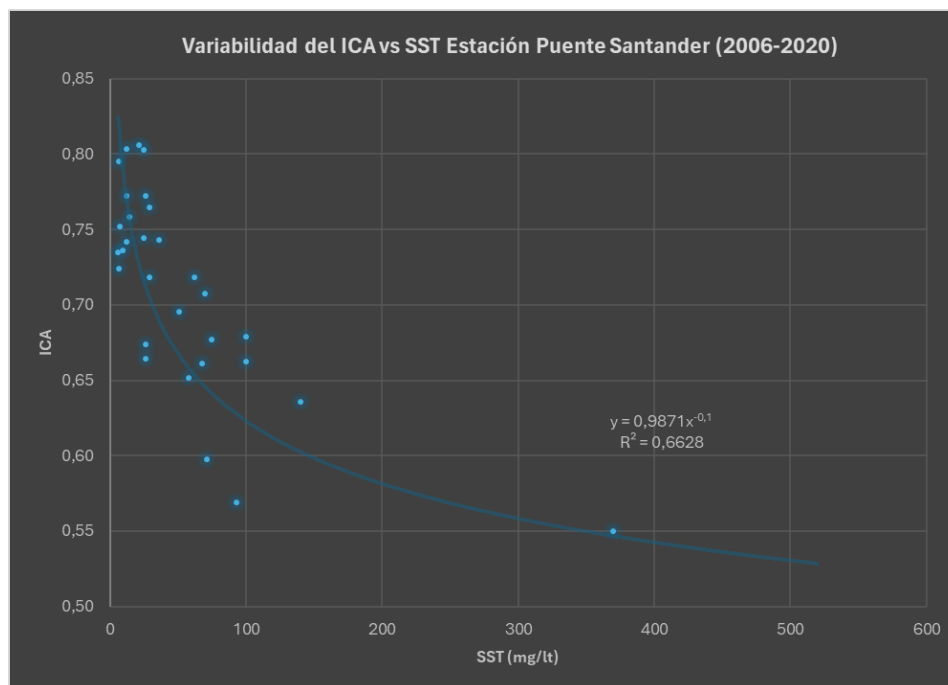


Gráfico ICA vs Sólidos Suspendidos Totales (SST) Estación Puente Santander (2006-2020)

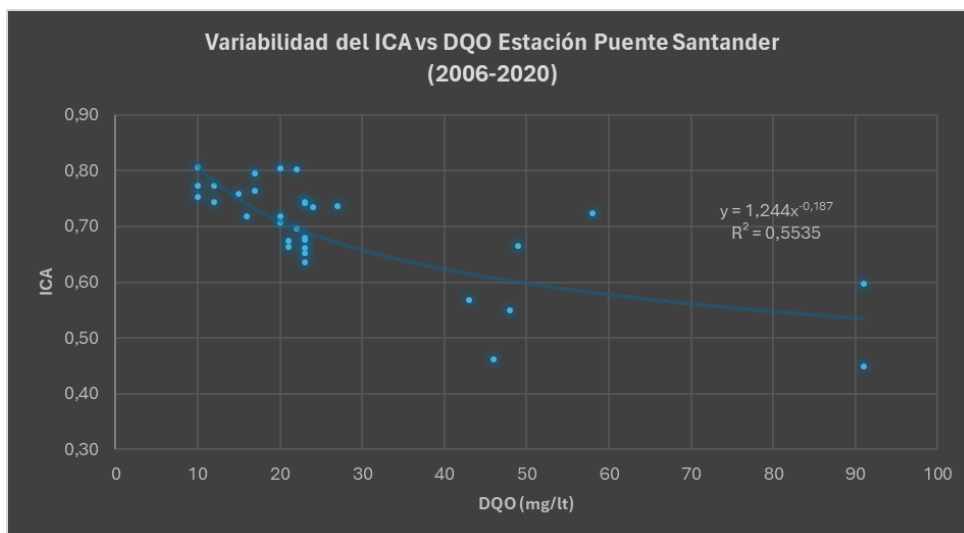


Gráfico ICA vs Demanda Química de Oxígeno (DQO) Estación Puente Santander (2006-2020)

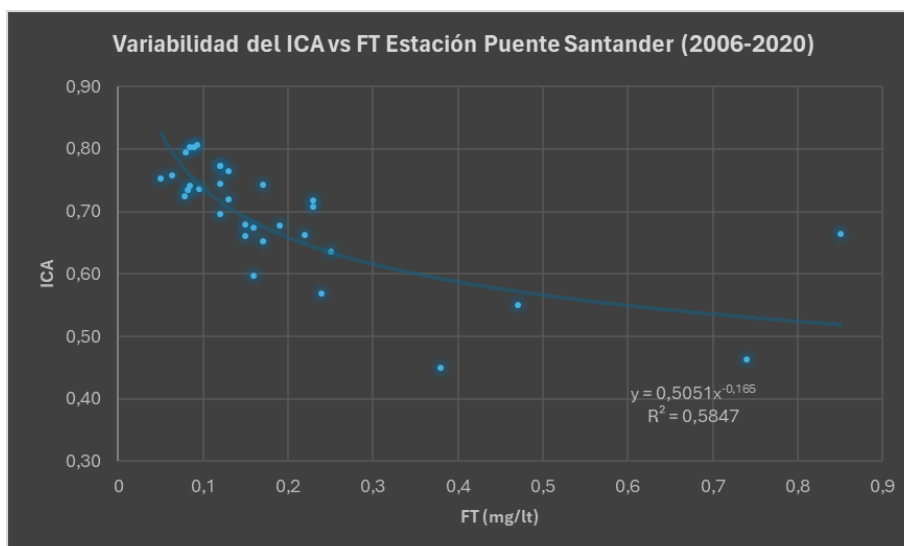


Gráfico ICA vs Fosforo Total (FT) Estación Puente Santander (2006-2020)

## CAPÍTULO VIII. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO

### 8.1 PRESENTACIÓN DE LA PROPUESTA

El desarrollo del presente proyecto de investigación involucra aspectos tecnológicos y pedagógicos relacionados con la estrategia didáctica mediante la aplicación DICA para fortalecer los valores en los estudiantes de la Institución Educativa de la Región (Riverita, Huila). La propuesta actual se efectuó basándose fundamentalmente en el paradigma del aprendizaje significativo, que según la teoría de Ausubel (1918), supone la interacción entre el conocimiento nuevo y el ya existente, de forma que ambos se modifican.

*Figura 1. Presentación de la propuesta - DICA*



Fuente: González, 2023

Los conocimientos nuevos adquieren significado y a la vez, la estructura cognitiva del aprendiz se modifica, adquiriendo nuevos significados, más diferenciados y estables (Eva & Sabel, 2019), lo que permite que los estudiantes se concienticen sobre el uso y conservación del agua o fuentes hídricas, reconozcan en ella procesos de calidad.

Se ha de resaltar que este trabajo de investigación se realizó desde hace aproximadamente 2 años, cuando se dio origen al proceso de solicitud de los informes al Ideam y la CAM de los muestreos en puntos de monitoreo del río Magdalena, entre los periodos del 2009 al 2020.

## **8.2 OBJETIVO DE LA PROPUESTA**

Diseñar una Aplicación que mida cualitativa y cuantitativamente el grado de contaminación del recurso hídrico en su región, con el fin de fortalecer espacios de convivencia con el entorno físico y natural, en procesos de calidad.

## **8.3 MARCO TEÓRICO DE LA PROPUESTA**

Las bases teóricas para el desarrollo de la presente propuesta, giran en torno a las nuevas metodologías que aportan al campo de la educación aspectos innovadores que suponen una mejora en las formas de enseñar y aprender, con la posibilidad de explorar situaciones de aprendizaje más variado, flexible, enriquecedor y significativo en los estudiantes, se trata entonces de incorporar estrategias que permita entender la tecnología como una estrategia para la integración y el desarrollo de procesos de sustentabilidad y sostenibilidad ambiental, por lo que se busca utilizar herramientas tecnológicas con procesos de colaboración y trabajo en grupo, con el fin de construir nuevo conocimiento de una manera enriquecedora como lo demuestra la aplicación APP DICA.



Por lo tanto, en este contexto, se toma como teoría el aprendizaje colaborativo, el cual se define como la expresión más representativa del socio constructivismo educativo (Roselli, 2011), por lo tanto, es considerada una de las teorías que funciona como el conjunto de líneas teóricas y donde se resalta el valor constructivo de la interacción socio cognitiva y de la coordinación entre aprendices, por esta razón, APP Dica es considerada una estrategia relevante y de alta figuración en esta propuesta.

Otros aportantes al desarrollo de esta teoría la definen como el uso instructivo de grupos pequeños para que los estudiantes trabajen juntos y aprovechen al máximo el aprendizaje propio y el que se produce en la interacción (Johnson & Johnson, trabajo colaborativo y la dinámica de grupo, 1991), tal como se muestra en el registro fotográfico anexo A.

De igual forma, la existencia de múltiples ideas aportadas por Barkley, Cross & Major (2007) afirma que, en el aprendizaje colaborativo, los estudiantes desarrollan actividades por parejas o en pequeños grupos para lograr unos objetivos de aprendizaje comunes. Es aprender mediante el trabajo en grupo, en vez de hacerlo trabajando solo. Según, Gokhale (1995) el aprendizaje colaborativo se refiere a un método de instrucción, en el que estudiantes con distintos niveles de rendimiento, trabajan juntos en pequeños grupos para lograr una meta en común, que permita el reconocimiento del grado de contaminación y a la vez de los procesos de calidad del agua.

Los estudiantes son responsables del aprendizaje de los otros y del propio. Por lo tanto, el éxito de un estudiante ayuda a otros estudiantes a que también lo alcance, tal como se muestra en la siguiente ilustración:

*Ilustración 10. Indicaciones para manejo de DICA*



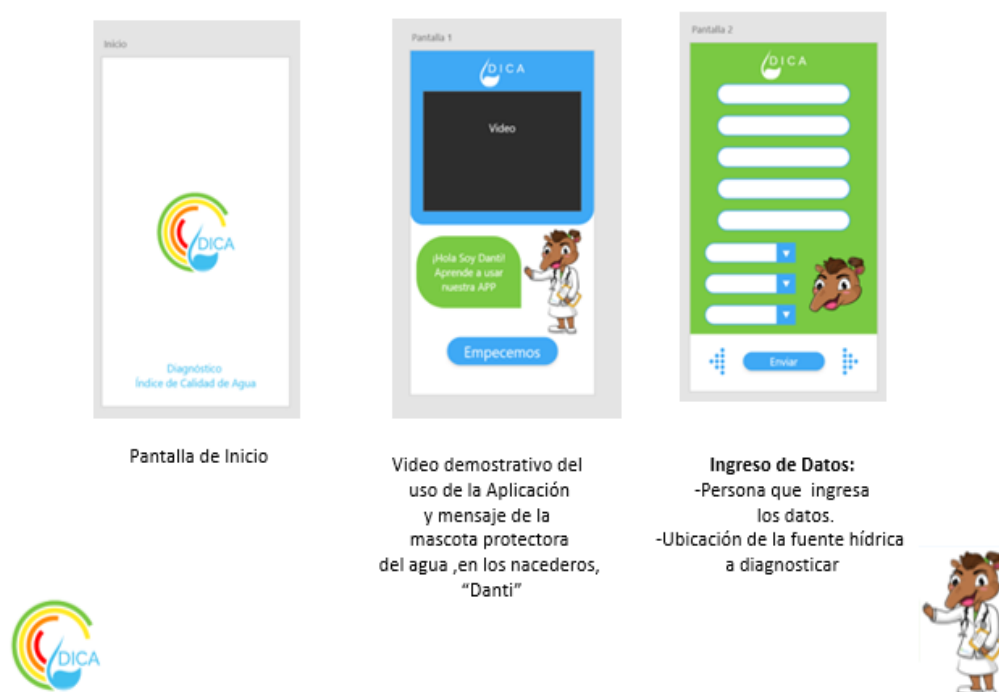
Fuente: Elaboración propia

## 8.4 RECONOCIMIENTO PRÁCTICO DE LA APLICACIÓN

Un App, es un software de aplicación pensado para ser utilizado en dispositivos móviles como Smartphone, Tablet; su funcionalidad y accesibilidad se ha convertido en una herramienta útil en el presente trabajo de investigación, dado que permite la interacción con los usuarios del agua y, además, permite que se adapte la información a procesos de contaminación y medición de la calidad del agua que circunda las regiones y ofrece a su paso por el territorio departamental y nacional.

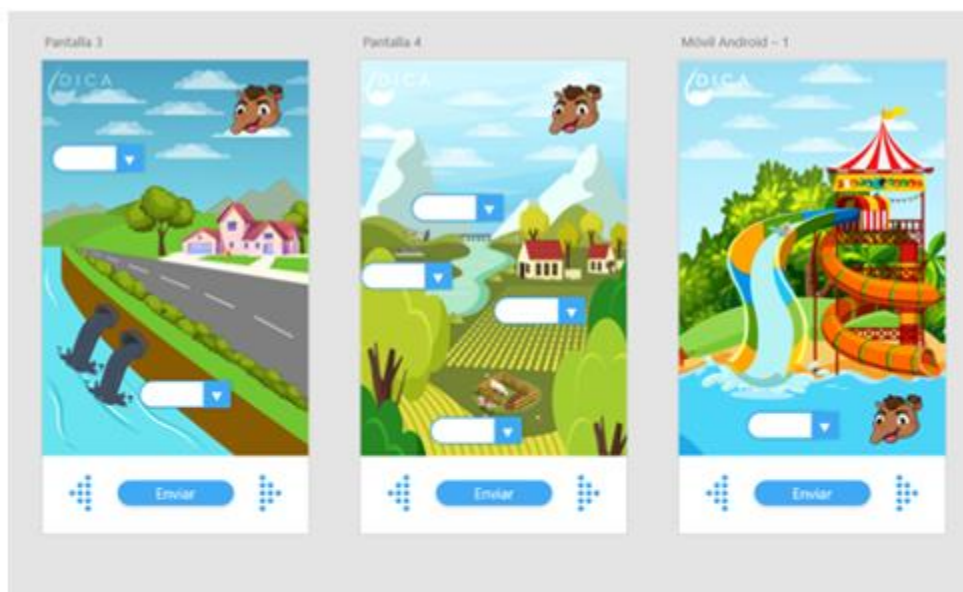
La app diseñada para este proceso tiene las siguientes características

Figura 2. APP DICA



Fuente: Gonzalez, 2023

Figura 3. Pantallas de aplicación



**Ingreso de Datos:**  
 -Numero de Habitantes  
 -Presencia o no, de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y su eficiencia

**Ingreso de Datos:**  
 -Existencia de Represa,  
 -Actividad Petrolera,  
 -Rango de Hectáreas cultivadas,  
 - Cantidad de ganado

**Ingreso de Datos:**  
 -Actividad Recreativa



Figura 4. Pantallas de procesamiento de datos



Pantalla del procesamiento de datos. Danti indica algunos mensajes alusivos a la protección del recurso hídrico



Resultado del Indicador de Calidad del Agua. Color de trasfondo que indica la activación del semáforo y las recomendaciones acorde al valor del ICA



Créditos:  
 Grupo Investigativo  
 Y apoyo  
 Interdisciplinario en la  
 Creación de la Aplicación



## Figura 5. Semáforo de procesamiento de los datos

Cada uno de los datos ingresados , entran a formar parte de variables que generan un peso específico a la ecuación general de entropía para El índice de calidad del recurso hídrico (ICA).

Los resultados del índice (ICA). Están enmarcado en cinco rangos

- Primer Rango : (0.91 - 1.00) **Color Azul** , afectación ninguna
  - Segundo Rango: (0.71 - 0.90) **Color Verde** , afectación baja
  - Tercer Rango: (0.51 - 0.70) **Color Amarillo** , afectación media
  - Cuarto Rango: (0.26 – 0.50) **Color Naranja** , afectación alta
  - Quinto Rango: (0.00 – 0.25) **Color Rojo**, afectación muy alta
- Dependiendo del resultado, el semáforo generará una ventana del diagnostico con sus recomendaciones.



Fuente: González, 2023

## CONCLUSIONES

De acuerdo con el diagrama de calor o matriz de similitud (Grafico 11) entre las variables fisicoquímicas y el índice de calidad del agua, de las tres estaciones de monitoreo analizadas a lo largo del periodo entre 2006 a 2020, se concluye que aquellas que tienen un impacto con mayor tendencia hacia lo negativo en su orden de correlación (Pearson), son los sólidos suspendidos totales (SST) : -0,8; demanda química de oxígeno (DQO): -0,73; Fósforo Total (FT): -0,71 y Nitrógeno Total (NT) :-0,62. Además, este análisis es coincidente con la valoración cualitativa que realizaron los expertos encuestados (Anexo XX) sobre el grado de afectación de la contaminación causada por los sólidos suspendidos totales (SST) , por los vertimientos de aguas residuales domésticas (DQO, NT, OD), por los excesos de Nitrógeno (NT) y Fosforo (FT) aplicados en el sector agrícola.

La normalización de datos recolectada por la valoración de expertos sobre el grado de afectación contaminante del Río Magdalena a su paso por el departamento del Huila concluyó que el peso relativo ( $W_i$ ) de las variables fisicoquímica para el cálculo del índice de calidad del agua en su orden de afectación es, DQO/Coliformes (0,22), SST (0,20), NT/FT (0,18); OD (0,17); pH (0,14) y CE (0,09)

De acuerdo con el análisis de las variables fisicoquímica para el ICA calculado en cada estación de monitoreo, a través del diagrama de pares. Se observa que para las variables de mayor impacto negativo entre (-0,80 a -0,60) la dispersión de los datos no

muestra relación lineal (no linealidad), al contrario, muestran relación exponencial, de potencia y logarítmica.

La comparación de los datos del ICA, de las gráficas (5 a la 7) con los pesos relativos ( $W_i$ ) designados por la metodología del IDEAM y los normalizados por los expertos (ajustados). Se concluye, que, aunque cada dispersión de datos lleva una similar tendencia. Se encontraron valores de ICA más bajos, subcategorizando el rango de calidad de Regular (0,51 – 0,70: Amarillo) a Malo (0,26 – 0,50: Naranja).

La vocación económica del departamento se centra, actualmente, en actividades agropecuarias y agroindustriales. Este desarrollo continúa generando vertimiento de aguas enriquecidas en nutrientes de Nitrógeno y fosforo. En el pasado, antes de la construcción de las represas, su impacto no se consideraba significativo, como lo es en el valle medio e inferior del río Magdalena, con la proliferación de algas (eutrofización) en ambientes cenagosos. Las represas disminuyen la velocidad natural del río, y crean ambientes propicios para que los nutrientes vertidos actúen en el desarrollo de especies de algas. De ahí la importancia del monitoreo y control de estas variables fisicoquímicas (NT & FT). Otro aporte significativo en nutrientes (NT) los son las aguas residuales domésticas, generados por los centros poblados y municipios.

La educación de la población en el cuidado del recurso agua, es vital para mejorar la calidad del recurso hídrico más importante del departamento del Huila. La App “**DICA**” socializada a toda la comunidad educativa, podrá generar un impacto altamente positivo,

y de esta manera se hará visible (cualitativa y cuantitativa) los impactos negativos de cada actividad antrópica.



## RECOMENDACIONES

Una vez se adquiriera la base datos completa, de las 22 estaciones de monitoreo sobre el río Magdalena, incluyendo las de los embalses hidroeléctricos, en el departamento del Huila; (seleccionando el muestreo periódico: trimestral o semestral), se podría hacer un análisis multivariado con series de tiempo; y establecer las prognosis y tendencia del ICA a cada estación de monitoreo. Lo anterior contribuiría a la focalización de políticas públicas a los sectores que más impactan negativamente la calidad del agua del río Magdalena.

Se sugiere que la base de datos del IDEAM, sea de libre acceso a todos los centros de investigación (públicos o privados). Algunos monitoreos son realizados por el sector privado, en función de su actividad económica, y reportados directamente al Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Estos datos no son integrados a la gran base de datos general del IDEAM y cualquier estudio investigativo no se acercaría a la realidad contaminante del río.

Para que la base de datos del monitoreo en el río Magdalena, sea más nutrida y dinámicamente real, se recomienda la adquisición de equipos móviles que a través de sistema espectro métricos y sistema satelital de trasmisión de datos informen los parámetros fisicoquímicos de cada estación. Los datos analizados en tiempo real servirían de apoyo a las oficinas de atención y desastres, no sólo por la ocurrencia de inundaciones para las alertas temprana, sino también por aspectos de contaminación crítica que podrían afectar cultivos agrícolas o piscícolas aguas abajo del sitio de

muestreo. La adquisición y puesta en funcionamiento de estos equipos deben estar a cargo de una entidad (publico-privada) quienes garantizaran la fidelidad, producción, almacenamiento y análisis permanente de datos, así como su mantenimiento preventivo y correctivo. Debería estar dotada de presupuesto permanente para su funcionamiento y permanencia en el tiempo.

Otro de los contaminantes que generan alto impacto negativo en el cálculo del ICA es el DQO y la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), esta variación es causada por el incremento las descargas de aguas residuales domésticas. Se recomienda la inversión oportuna de recursos tendientes a la construcción de Plantas de Tratamiento de aguas residuales no sólo a nivel de las cabeceras municipales, sino también a nivel de centros poblados rurales.

Socializar de forma masiva a todos los centros educativos del Huila, la aplicación para teléfonos Android de la “APP DICA”, a través de la secretaría de Educación departamental y la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM). Con el fin de afianzar el componente pedagógico de Educación Ambiental. Así como también incluir en la flexibilidad curricular y la transversalidad elementos propios de sustentabilidad y sostenibilidad ambiental.

Promover la creación de otros tipos de App que incluyan otros recursos naturales como lo son Aire y suelo. Y con alcance para móviles diferentes a los Android, como “Tabletas”, “iPhone”, “Notebooks” y computadores de mesa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Banco de Occidente. (2013). Un río que cambia el lugar de las ciudades. *Credencial Historia*, 15.
- Bautista, J. (2020). Contaminantes emergentes en aguas de escorrentía pluvial urbana. *Universidad de los Andes*, 50.
- Castaño-P, S., & Garrido-Romero, G. (2020). Aplicación de la estadística multivariada para la implementación de un índice de calidad de agua específico para el sistema de caños y lagos internos de la ciudad de Cartagena de Indias. *Repositorio unicartagena*, 22.
- Cobos , F., Maldonado , C., Cote, J., & Prieto , F. (2010). *Hipertexto sociales 6*. Bogotá: Santillana.
- CONPES. (2015). Estrategia institucional y financiera de la red hidrológica, meteorológica y oceanográfica del país. *Informe del Sistema de información ambiental de Colombia*, 5.
- Cruz, M., & Ortega - Ramírez, A. (2018). Estrategias de gestión hídrica en el sector de hidrocarburos. *Informador técnico*, 7.
- Fernández, N., Ramírez, A., & Solano, F. (2012). Physico-chemical water quality indices - a comparative review. *Revista Bistúa*, 15.
- García, R. (2009) *Sistemas Interdisciplinarios de la Complejidad*. Gedisa Editorial.
- Guzmán A., H. (2009, p.36). Aspectos históricos y técnicos del río Magdalena. Una visión sobre experiencias en el río. *Hojas Universitarias - Universidad Central* , 35 - 44.
- Hernández, Fernandez. y Baptista (2015). *Metodología de la Investigación*. México D.F: McGrawHill.

- Jaramillo, M., Cardona, D., Galvis, A. (2020). Reutilización de aguas residuales municipales como estrategia de prevención y control de la contaminación hídrica. *Redalyc.org*, 12.
- Losada, L., Rueda, C., & Martínez-Silva, P. (2020). Evaluación de la calidad del agua en el embalse hidroeléctrico El Quimbo. *Ciencia e Ingeniería*, 15.
- Lozano, L. (2018). Girardot puerto fluvial y estructura de una subregión productiva entre 1890 - 1950. *Pontificia Universidad Javeriana*, 66.
- Marquez-Calle, G. (2019). Un río difícil. El Magdalena: historia ambiental, navegabilidad y desarrollo. *Universidad del Norte*, 12.
- Maturana, H. (2013). Aporte de Maturana a las ciencias y el lenguaje. *Sincronía. Revista de Filosofía y Letras*, 15.
- Melendez, V.D (2013). El lenguaje desde la complejidad. *Revista de filosofía y letras, Sincronía*.
- Mirrasooli, E., Ghorbani, R y Molaei, M. (2017). Water Quality Assessment in terms of water quality index (WQI): case Study; Gorganroud River, Golestan Province, Irán.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible de Colombia. (2015). Programa Nacional de Aguas. *Protocolos para el monitoreo y seguimiento del agua*, 5.
- Mojica, J., & et al. (2012). *libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia*. Bogotá: Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt.
- Ordoñez, V. (2007). Contaminación del agua. *Revista de ciencia y tecnología*, 5.

- Pei-Yue, L., & Jian Hua, W. (2010). Groundwater quality assessment based on improved water quality index in Pengyang County, Ningxia. *Northwest China E-Journal of Chemistry*, 7.
- Pérez, C. (2019). Relación del río Magdalena con los huilenses. *EC El Caracolí*, 3.
- Pinto, U., Maheshwari, B., Sherestha, S. and Morris, C. (2012) Understanding the Meaning of River Health for a Community: Perspectivas from the Peri-Urban Region of the Hawkesbury-Nepean Catchment, Australia. *Water Policy*, 14, 766-783.
- Prigogine, Ilya; Nicolis, G. (1977). [Self-Organization in Non-Equilibrium Systems](#). Wiley. [ISBN 0471024015](#).
- Prigogine, Ilya; (2019). *Las Leyes del Caos*. Editorial Crítica. ISBN 978-84-9199-093-2
- Rojas, S. (2009). Patrones de asentamiento y organización política en el bajo río San Jorge (Caribe Colombiano). *Dirección General de Bibliotecas y servicios digitales de información*, 28.
- Rodriguez, M, J.; García, U.C., y García, U.J (2016). Enfermedades transmitidas por el agua y saneamiento básico en Colombia. *Revista Salud Pública*.
- Shannon C.E. (1948). *A Mathematical Theory of Communication*. *The Bell System Technical Journal*, Vol. 27. Pp. 379-423, 623-656, July, October. 1948
- UPRA. (2018). Frontera agrícola nacional: la cancha del sector agropecuario para el desarrollo rural sostenible. *Sala de prensa para noticias* , 2.
- Valverde, A., Tamayo, E., & Ortíz-Palacios, N. (2017). Análisis de la calidad de varios cuerpos de agua superficiales en bahía Solano, utilizando índices de

contaminación. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó.*  
*Investigación biodiversidad y Desarrollo*, 21.

Yadav, A., Khan, P., & Sharma, S. (2010). Water quality index Assessment of groundwater in todaraisingh tehsil of Rajasthan State India. *E-Journal of Chemistry*, 6.

World Health Organization (WHO, 2006). Guidelines for the safe use of wastewater excreta and greywater - Vol 2. Wasterwater use in agriculture. 1st ed. Francia.

## Anexo A. Registro fotográfico difusión aplicación APP DICA



Fuente: elaboración propia, 2023

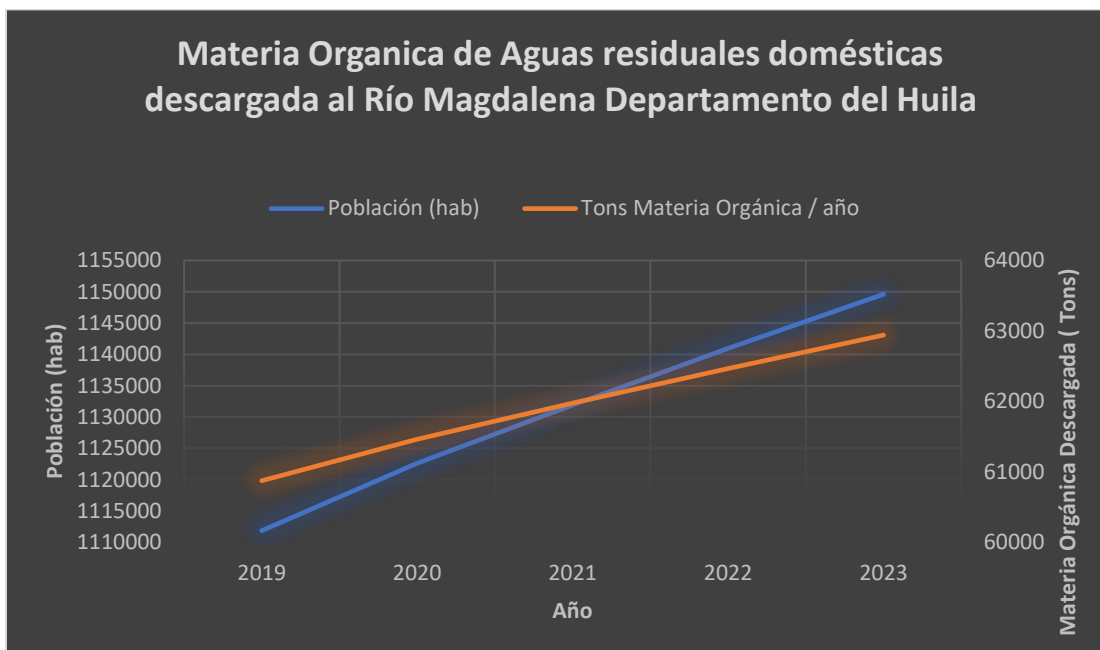
## Anexo B. Registro fotográfico participación de la comunidad



Fuente: elaboración propia, 2023

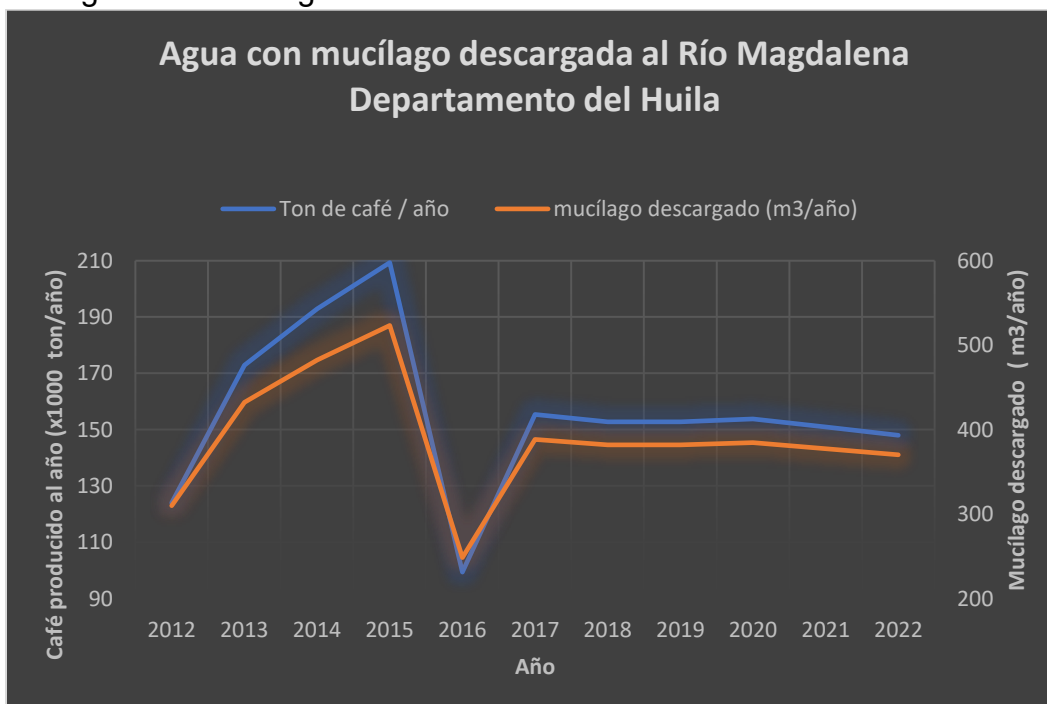


Anexo C. Materia orgánica de aguas residuales domésticas descargadas al Río Magdalena en el departamento del Huila.



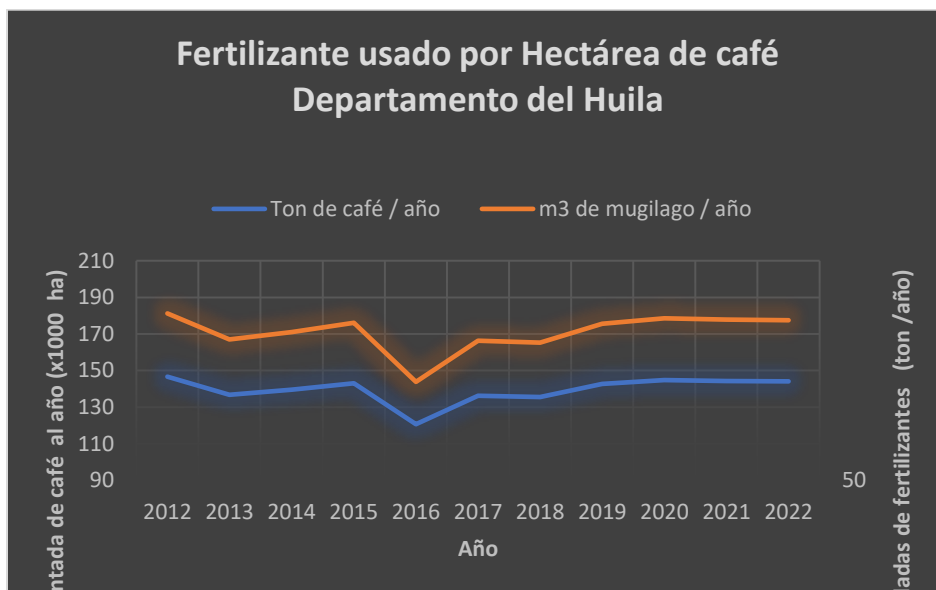
Fuente: González, 2023

Anexo D. Agua con mucílago



Fuente: González, 2023

### Anexo E. Fertilizante usado por hectárea de café en el Huila



Fuente: González, 2023

## Anexo F. Comparación ICAs (Wi fijo Vs Wi Ajustado por expertos) paso del Colegio

Muestra No.	Ica (Wi prefijado)	Ica (Wi ajustado)
1	0,68	0,68
2	0,47	0,41
3	0,78	0,80
4	0,75	0,75
5	0,79	0,80
6	0,50	0,44
7	0,49	0,46
8	0,48	0,43
9	0,65	0,65
10	0,69	0,68
11	0,42	0,39
12	0,55	0,50
13	0,73	0,74
14	0,75	0,79
15	0,41	0,36
16	0,57	0,53
17	0,49	0,44
18	0,70	0,68
19	0,69	0,68
20	0,54	0,50
21	0,48	0,46
22	0,45	0,39
23	0,73	0,73
24	0,47	0,41
25	0,60	0,57
26	0,64	0,66
27	0,45	0,39
28	0,52	0,45
29	0,76	0,78
30	0,71	0,71
31	0,49	0,45
32	0,67	0,66
33	0,67	0,64
34	0,51	0,45
35	0,73	0,74
36	0,75	0,78
37	0,78	0,79
38	0,62	0,59
39	0,84	0,84

Fuente: González, 2023

## Anexo G. Comparación ICAs (Wi fijo Vs Wi Ajustado por expertos) La Esperanza

Muestra No.	Ica (Wi Ideam)	Ica (Wi expertos)
1	0,68	0,69
2	0,66	0,66
3	0,63	0,61
4	0,79	0,80
5	0,73	0,75
6	0,69	0,69
7	0,68	0,70
8	0,67	0,67
9	0,73	0,73
10	0,74	0,75
11	0,76	0,78
12	0,77	0,79
13	0,70	0,71
14	0,67	0,68
15	0,68	0,70
16	0,73	0,74
17	0,75	0,76
18	0,48	0,43
19	0,75	0,76
20	0,68	0,68
21	0,71	0,72
22	0,74	0,75
23	0,59	0,56
24	0,76	0,77
25	0,70	0,71
26	0,80	0,82
27	0,81	0,81
28	0,73	0,70
29	0,82	0,83
30	0,84	0,85
31	0,74	0,75
32	0,72	0,72
33		
34		
35		
36		
37		
38		
39		

Fuente: González, 2023

## Anexo H. Comparación ICAs (Wi fijo Vs Wi Ajustado por expertos) Puente Santander

Muestra No.	Ica (Wi Ideam)	Ica (Wi expertos)
1	0,71	0,72
2	0,66	0,65
3	0,55	0,50
4	0,74	0,76
5	0,68	0,67
6	0,77	0,78
7	0,68	0,68
8	0,66	0,67
9	0,81	0,82
10	0,75	0,79
11	0,80	0,79
12	0,46	0,42
13	0,45	0,39
14	0,60	0,56
15	0,65	0,65
16	0,64	0,63
17	0,77	0,78
18	0,76	0,77
19	0,72	0,73
20	0,57	0,54
21	0,80	0,82
22	0,70	0,70
23	0,72	0,73
24	0,67	0,67
25	0,73	0,74
26	0,74	0,74
27	0,74	0,73
28	0,66	0,63
29	0,72	0,71
30	0,80	0,81
31	0,76	0,78
32	0,74	0,75
33	0,86	0,88
34		
35		
36		
37		
38		
39		

Fuente: González, 2023

Anexo I. Índices de Calidad del agua de 3 estaciones sobre el río Magdalena en el Dpto del Huila – periodo entre 2006 a 2020 (con Wi Prefijado)

Muestreo	Estación Paso del Colegio	Estación La Esperanza	Estación Puente Santander
1	0,68	0,68	0,71
2	0,47	0,66	0,66
3	0,78	0,63	0,55
4	0,75	0,79	0,74
5	0,79	0,73	0,68
6	0,50	0,69	0,77
7	0,49	0,68	0,68
8	0,48	0,67	0,66
9	0,65	0,73	0,81
10	0,69	0,74	0,75
11	0,42	0,76	0,80
12	0,55	0,77	0,46
13	0,73	0,70	0,45
14	0,75	0,67	0,60
15	0,41	0,68	0,65
16	0,57	0,73	0,64
17	0,49	0,75	0,77
18	0,70	0,48	0,76
19	0,69	0,75	0,72
20	0,54	0,68	0,57
21	0,48	0,71	0,80
22	0,45	0,74	0,70
23	0,73	0,59	0,72
24	0,47	0,76	0,67
25	0,60	0,70	0,73
26	0,64	0,80	0,74
27	0,45	0,81	0,74
28	0,52	0,73	0,66
29	0,76	0,82	0,72
30	0,71	0,84	0,80
31	0,49	0,74	0,76
32	0,67	0,72	0,74
33	0,67		0,86
34	0,51		
35	0,73		
36	0,75		
37	0,78		
38	0,62		
39	0,84		

Fuente: González, 2023

Apéndice 1. Base de Datos del IDEAM de las variables fisicoquímicas en cada estación de monitoreo entre los periodos 2006-2020

Apéndice 2. Tablas de Excel y Graficas para el cálculo del ICA según la metodología del IDEAM (Wi preestablecido)

Apéndice 3. Encuesta de Expertos (Google Form) y gráficos

Apéndice 4. Tablas de Excel y Graficas para el cálculo del ICA según la metodología propuesta (Wi ajustado)

Apéndice 5. Código fuente para el desarrollo de la “App Dica” con los archivos asociados

Apéndice 6. Archivo ejecutable de la “App Dica” para móvil o celular tipo Android

Apéndice 7. Socialización “App Dica”, Encuesta aplicada a estudiantes del Colegio Riverita. (Google Forms)

## GLOSARIO

**DANE:** Departamento Administrativo Nacional de Estadística en Colombia

**APP DICA:** Aplicación para móvil androide, que diagnóstica el índice de calidad del agua (cualitativa y cuantitativamente), creada por González C. (2023)

**WHO:** “World Health Organization” en inglés, que significa Organización Mundial de la Salud.

**CONPES:** Documentos de política económica y social expedidos por el Consejo Nacional de Política Económica y Social en Colombia.

**MMADS:** Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible en Colombia

**IDEAM:** Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia

**UPRA:** Unidad de Planeación Rural Agropecuaria en Colombia

**ICA:** Índice de Calidad de Aguas superficiales

**OD:** Oxígeno Disuelto, parámetro fisicoquímico del agua (mg/l)

**DQO:** Demanda química de Oxígeno, parámetro fisicoquímico del agua (mg/l)

**DBO:** Demanda Bioquímica de oxígeno, parámetro fisicoquímico del agua (mg/l)

**SST:** Sólidos Suspendidos Totales, parámetro fisicoquímico del agua (mg/l)

**FT:** Fosforo Total, parámetro fisicoquímico del agua (mg/l)

**NT:** Nitrógeno Total, parámetro fisicoquímico del agua (mg/l)

**pH:** Potencial de Hidrógeno, parámetro fisicoquímico del agua (unidades)

**CE:** Conductividad Eléctrica, parámetro fisicoquímico del agua ( $\mu/cm$ )

**T°:** Temperatura de la muestra del agua en grados Celsius ( $^{\circ}C$ )

**CPE's:** contaminantes de químicos de preocupación emergentes



**COP:** contaminante orgánico persistente, resistente a la degradación, persiste en el medio durante largos periodos, tóxico y bioacumulable en la cadena trófica

**ODM:** Objetivos del Milenio de las naciones unidas