

	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>10-04-2012</b>	<b>A</b>
Dependencia	Aprobado		Pág.	
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>	<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>		<b>i(237)</b>	

## Resumen -Trabajo de Grado

AUTORES	KATIUSCA MILEISI HERNÁNDEZ LÓPEZ Y ROYMAN DAVID RAMÍREZ MARTÍNEZ		
FACULTAD	CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERÍA AMBIENTAL		
DIRECTOR	ROCÍO ANDREA MIRANDA SANGUINO		
TÍTULO DE LA TESIS	EVALUACIÓN Y VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO DEL RÍO ALGODONAL ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ABREGO Y OCAÑA, NORTE DE SANTANDER.		
<b>RESUMEN</b> (70 palabras aproximadamente)			
<p>EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO DEL RÍO ALGODONAL A PARTIR DE LA DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA (ICOS), EL ÍNDICE DE CALIDAD BIOLÓGICA BMWP/COL Y SU PONDERADO ASPT EN CINCO (5) TRAMOS DEL RIO, ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ABREGO Y OCAÑA, NORTE DE SANTANDER.</p>			
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
PÁGINAS: 255	PLANOS: 1	ILUSTRACIONES: 0	CD-ROM: 1



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552  
Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88 - Fax: Ext. 104  
info@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

EVALUACIÓN Y VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA  
CONSUMO HUMANO DEL RÍO ALGODONAL ENTRE LOS MUNICIPIOS  
DE ABREGO Y OCAÑA, NORTE DE SANTANDER.

KATIUSCA MILEISI HERNÁNDEZ LOPEZ

ROYMAN DAVID RAMIREZ MARTINEZ

Trabajo de Grado para optar el Título de Ingiero Ambiental

Directora:

ROCIO ANDREA MIRANDA SANGUINO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA.

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Ocaña, Colombia

octubre, 2016

## **Dedicatoria**

### **Royman David Ramírez-M.**

Dedico esta investigación en primer lugar a Dios, que es mi amigo incondicional. Que siempre me sostiene en cada prueba donde se exige mi talento y compromiso. A mis padres: Eusebio Ramírez Zequeira y Rocío Martínez Corzo. A mi hermano: Juan Daniel Ramírez Martínez, que como los criterios de valoración y evaluación de la calidad del agua, han sostenido con integralidad cada parámetro de mi vida.

### **Katiusca Hernández-L.**

Dedico esta investigación en primer lugar al Dios todo poderoso, que me dio la vida y que en cada instante sentí su apoyo incondicional para lograr cada meta propuesta, y por poner en mi vida a tan maravillosos padres, José Antonio Hernández Hoyos y Gladis López Cervantes que han sido mi energía y motor de mi espíritu, alma para alcanzar mis logros, a mis hermanos, en especial a mi hermano menor, José Antonio Hernández López que en cada segundo me brindó su apoyo y fuerza, todos ellos, que como el sol, el agua, el viento y la tierra; han sido las fuentes de energía que mueven mi mundo cada día.

## **Agradecimientos** |

El más profundo agradecimiento de los autores A:

Nuestra directora Temática Rocío Andrea Miranda sanguino porque sin sus ideas y anotaciones intrépidas no se habría podido darle un cauce y un alcance a la investigación. Por esos deliciosos cafés y galletas compartidas en la cafetería que nos sacaba de nuestro ensimismamiento durante todo el periodo de exploración.

A la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, por facilitarnos los equipos, las herramientas, los laboratorios y todos los demás medios que resultaron imprescindibles para culminar con éxito nuestro trabajo de Investigación

A mis asesores Temáticos: La docente Yeni Lozano lopez, por ser tan clara y sencilla cuando no teníamos idea de cómo hacer o que hacer para empezar. Por afinar nuestras ideas cuando inevitablemente llegábamos a una encrucijada en la investigación.

A la docente Johana Ximena por ir con nosotros a campo para cerciorarse de que aprenderíamos a tomar correctamente muestras para análisis biológicos y microbiológicos. Por soportar nuestros frecuentes ataques en su oficina con preguntas de todo tipo que incluso iban más allá de su campo de acción y la hacían dudar de lo hacía.

Al Docente Diego L. Blanco, que en medio de sus ajetreos para culminar su maestría y las ocupaciones que le exigía su trabajo en la Universidad pontificia Bolivariana, sede Bucaramanga, apartó tiempo para enseñarnos a mirar más allá de lo que se ve a simple vista en las variables físico-químicas.

A Jonathan, nuestro analista químico, por hacer caso omiso a nuestras miradas de terror

+ + + + E + + + + 7+ + +eviso los  
 + optar por enseñarnos pasito a paso los procedimientos.

Al señor Alcides, por enseñarnos todo lo que sabía sobre trabajo de campo, por ayudarnos en secreto cuando no sabíamos cómo operar un equipo o por mantener siempre llena la reserva de agua destilada.

A la docente Diana que siempre se mostró calmada y dispuesta a ayudarnos cuando en medio de tanto trabajo casi la obligábamos a ayudarnos a interpretar resultados de metales. Por quedarse más tarde en el laboratorio para esperar que llegáramos con los equipos multi-paramétricos y ahorrarnos unas cuantas complicaciones.

Al Docente Ramón Lobo por dedicarnos más tiempo del que académicamente debía para explicarnos como si fuéramos estudiantes de su curso a realizar e interpretar todos los tipos de estadísticas que ahora ustedes tienen en sus manos.

Queremos dar un agradecimiento especial a nuestros jurados evaluadores, por su tacto y sensibilidad a la hora de calificar nuestro esfuerzo. Por no importarles que una investigación resulte extensa siempre y cuando sea buena.

A la señora Ana y todos los muchachos de la pensión por recordarnos que teníamos vida social.

Y a todos las demás personas que no siendo menos importante, no se mencionan en la lista para evitar su extensión, sin los aportes de todos ustedes muchos detalles de este trabajo no se habrían ajustado.

## Índice

<b>Capítulo 1: Título</b> .....	1
1.1. Planteamiento del Problema .....	1
1.2. Formulación del Problema.....	5
1.2.1. Pregunta de Investigación.....	5
1.3. Objetivos de Investigación.....	6
1.3.1. Objetivo General.....	6
1.3.2. Objetivos Específicos.....	6
1.4. Justificación .....	7
1.5. Formulación de la Hipótesis .....	11
1.5.1. Problema. ....	11
1.5.2. Pregunta .....	11
1.5.3. Objetivo simplificado.....	11
1.5.4. Hipótesis .....	12
1.6. Delimitaciones .....	12
1.6.1. Delimitación operativa.....	12
1.6.2. Delimitación conceptual .....	13
1.6.3. Delimitación geográfica.....	14
1.6.4. Extensión.....	15
1.6.5. Delimitación Espacial .....	16
1.6.6. Delimitación temporal .....	17

<b>Capítulo 2: Marco Referencial</b> .....	18
2.1. Marco Histórico .....	18
2.2. Marco Contextual.....	28
2.2.1. Contexto Ecológico del Area de estudio.....	31
2.2.2. Contexto Socio Ambiental y Económico escenarios de la Investigación--	
33	
2.2.3. Población afectada por el Problema de investigación.....	36
2.3. Marco Conceptual.....	37
2.3.1. Agua.....	37
2.3.2. Los problemas de Contaminación del Agua y sus efectos deteriorantes.	
-----	39
2.3.3. Criterios de Calidad del agua.....	41
2.3.4. Calidad Del Agua.....	43
2.3.5. Indicadores ecológicos de Calidad del Agua o Bio-indicador Ambiental.-----	
51	
2.3.6. Índices Biológicos de Calidad del Agua.....	56
2.3.7. Índices de contaminación del agua (ICO's).....	58
2.3.8. Software ICATEST V1.0.....	59
2.3.9. INDICE BMWP (biological monitoring working Party). Y ASPT (Average	
Store per Taxon). .....	61
2.4. Marco Teórico.....	62
2.4.1. Aspectos Generales de la Calidad del Agua .....	63

2.4.2.	Uso de Plaguicidas en 20 departamentos de Colombia. ....	69
2.5.	Marco Legal .....	71
2.5.1.	Normatividad Internacional. ....	74
2.5.2.	Marco Normativo Medioambiental de Colombia. ....	74
2.5.3.	Marco Institucional Colombiano. ....	76
2.5.4.	Marco Normativo Colombiano sobre la Calidad del agua.....	77
 <b>Capítulo 3: Metodología de la Investigación.....</b>		<b>78</b>
3.1.	Diseño Metodológico de la investigación.....	78
3.2.	Población Y muestra.....	80
3.2.1.	Población.....	80
3.2.2.	Muestra. ....	80
3.2.3.	Variables. ....	81
3.3.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de la Información.....	82
3.3.1.	Fase I. Recolección de la Información.....	82
3.3.2.	Método para el Reconocimiento de los sitios de Muestreo. ....	91
3.3.3.	Método para la Geo-referenciación de las estaciones a Monitorear	92
3.3.4.	Método para Aforar en las estaciones de Muestreo. ....	92
3.3.5.	Fase II. Métodos y Procedimientos para la toma de muestras para análisis Fisicoquímico.....	94

3.3.6.	Métodos y Procedimientos para la toma de Muestras Para Análisis Microbiológico.....	100
3.3.7.	Métodos y Procedimientos para el muestreo de Macro invertebrados bentónicos Ɔ.....	101
3.3.8.	Metodos para preservación de la Muestra Etiquetado y Transporte	104
3.3.9.	Fase III. Evaluación de Parámetros Fisicoquímicos y Grupos Biológicos en laboratorio Ɔ.....	106
3.4.	Fase IV. Análisis y Tratamiento de la Información.....	110
3.4.1.	Análisis de reporte de Resultados Fisicoquímicos y Bacteriológicos del Laboratorio .....	110
3.4.2.	Determinación de los ICO's (índices de contaminación) de importancia mundial .....	110
3.4.3.	Determinación de Indices de Calidad Biologica del Agua. ....	114
3.4.4.	Tratamiento Estadístico .....	116
<b>Capitulo 4: Fase V. Presentación de Resultados y Discusiones</b>		<b>118</b>
4.1.	Caracterización del Recurso Hídrico Superficial.....	118
4.1.1.	Caudal. ....	118
4.1.2.	Caracterización Organoléptica del agua. ....	122
4.1.3.	Reporte de Resultados Físico-Químicos.....	124
4.1.4.	Resultados de Análisis Microbiológicos.....	133
4.1.5.	Resultados de Plaguicidas en el Agua. ....	137

4.2. Determinación de los Índices de Contaminación.....	139
4.3. Diversidad de Macro invertebrados Acuáticos. ....	143
4.4. Índice BMWP/col y ASPT.....	147
4.5. Índice de Contaminación Biológica entre Estaciones (ICOBIO) .....	150
4.6. Relación Entre variables Fisicoquímicas y Biológicas.....	154
4.7. Resumen del Estado de Calidad Del Agua Actual Evaluada En Cinco Tramos Del Río Algodonal.....	158
<b>Capítulo 5: Conclusiones</b> .....	162
<b>Capítulo 6: Recomendaciones</b> .....	165
<b>Referencias</b> .....	168
<b>Referencias Electrónicas</b> .....	179
<b>Apéndices</b> .....	185

**Lista de Tablas**

Tabla 1. ....	15
Tabla 2. ....	29
Tabla 3. ....	40
Tabla 4. ....	59
Tabla 5. ....	88
Tabla 6. ....	89
Tabla 7. ....	97
Tabla 8. ....	107
Tabla 9. ....	109
Tabla 10. ....	111
Tabla 11. ....	113
Tabla 12. ....	114
Tabla 13. ....	116
Tabla 14. ....	118
Tabla 15. ....	119
Tabla 16. ....	119
Tabla 17. ....	124
Tabla 18. ....	126
Tabla 19. ....	133
Tabla 20. ....	137
Tabla 21. ....	139
Tabla 22. ....	140
Tabla 23. ....	140
Tabla 24. ....	144
Tabla 25. ....	145
Tabla 26. ....	147
Tabla 27. ....	148
Tabla 28. ....	150

## Lista de Figuras

Figura 1. Cuenca del Río Algodonal con Estaciones de Control.....	30
Figura 2. Representación de las estaciones de Muestreo definidas. ....	31
Figura 3. Pirámide de Kelsen.....	73
Figura 4. Esquema de perfiles de flujo a partir de Lecturas de Molinetes.....	93
Figura 5. Equipos de Recolección de Macro-invertebrados .....	104
Figura 6. Curva de dispersión para los caudales medidos en las cinco estaciones de más lluvia. .....	120
Figura 7. Curva de Dispersión para los caudales medidos en las cinco estaciones en periodo de menos lluvias. ....	120
Figura 8. Resultados físico-químicos evaluados en las cinco estaciones para temporada de más lluvia. ....	128
Figura 9. Comportamiento de las variables de menos lluvias. ....	129
Figura 10. Diagrama Box-Plot para coliformes fecales.....	134
Figura 11. Diagrama Box-Plot para E. coli.....	134
Figura 12. Grafica de concentraciones de compuestos organofosforados evaluadas en las estaciones durante periodos de muestreos de más y menos lluvias.....	138
Figura 13. Índices de contaminación en las cinco estaciones de estudios.....	141
Figura 14. Gráficos de familias más dominantes identificadas en las cinco estaciones de muestreo .....	146
Figura 15. Grafico del índice de contaminación Biótica entre estaciones y periodo de muestreo. .....	152
Figura 16. Grafica de diagrama de ordenación del análisis de correspondencia canónica mostrando la relación entre los taxas más significativos presente en el rio algodonal y las variables físico-químicas de mayor correlación. ....	154
Figura 17.dendrograma de similitud entre estaciones y periodos de muestreos.....	159

**Lista de Apéndices**

Apéndice A .....	185
Apendice B .....	190
Apendice C .....	194
Apendice D .....	196
Apendice E .....	199
Apendice F .....	203
Apendice G .....	205
Apéndices H .....	206
Apéndices I .....	208
Apéndices J .....	211

## Resumen Trabajo de Grado

Entre marzo y septiembre de 2016, temporadas de más y menos lluvias, se realizó un estudio limnológico en cinco estaciones del río algodónal, entre los municipios de Abrego y Ocaña: E1 (confluencias del río Oroque y río Frio) E2 (100 m aguas arriba de la laguna de oxidación de Abrego) e3 (100 m. aguas debajo de la laguna de oxidación) E4 (punto san Luis. aguas debajo de los vertimientos del corregimiento de la ermita y el municipio de la playa) E5 (aguas arriba de la torre de captación de ESPO S.A ESP). El objetivo fue evaluar la calidad del agua para consumo humano del río algodónal, a partir de la determinación de los índices de contaminación del agua (ICO/Col), el índice de calidad biológica Bmwp/Col y su ponderado ASPT que posteriormente, permitirían concluir si el río algodónal cumple con los estándares nacionales e internacionales de calidad estipulados (Decreto 1594 de 1984) y la OMS (1996) para destinación como recurso para el consumo humano.

La metodología empleada para la ejecución del trabajo tiene un enfoque cuantitativo con manipulación de variables cualitativas. Se tomaron muestras simples e integradas para la evaluación de parámetros fisicoquímicos, parámetros de plaguicidas (Carbamatos, organofosforados y Organoclorados) parámetros microbiológicos (Coliformes fecales y *e.coli*) y se realizaron aforos de caudal. el muestreo de macro invertebrados se llevó a cabo según el método sugerido por el IDEAM (2006), con algunas modificaciones extraídas de ceiba foundation for tropical conservation, (2013), para evitar la erosión de poblaciones de grupos bioindicadoras en el río. con los datos registrados se detrmínó el indice BMWP/COL y ASPT,

según roldán (2003). la correlación entre variables biológicas y fisicoquímicas se exploró con un análisis de correspondencia canónica (Acc). por último, se ilustró la similitud/disimilitud entre estaciones y periodos de muestreo con un análisis clúster.

Ninguno de los parámetros fisicoquímicos determinados estuvo por encima de los valores máximos permitidos en el decreto (1594 de 1984). Los resultados de plaguicidas basadas en los límites de detección reportados por el laboratorio determinó concentraciones a nivel de trazas de Carbamatos, órgano fosforados y órgano clorados en todas las estaciones evaluadas. No se superaron los valores máximos permisibles exigidos en la resolución 2115 de 2007 (de 0,1-0,001 mg/l) y la oms (1996) (0,5 µg/l).

No se determinó contaminación por mineralización (ICOMI) o por exceso de materia orgánica (ICOMO) en ninguna de las estaciones evaluadas. Se encontró baja afectación por sólidos suspendidos (ICOSUS) en las estaciones e1 y e2 en periodo de menos lluvias. Los resultados arrojados por el índice BMWP/Col indican que las estaciones (E1, E3 Y E5) presentaron una calidad del agua de clase II (aceptable) y las estaciones (E2) Y (E4), revelaron resultados de clase III

Con los resultados de parámetros fisicoquímicos y los índices bióticos se concluye que la fuente de agua del río algodonal, en los tramos evaluados, es apta para un tratamiento convencional de potabilización. Sin embargo, con base en lo expresado en el artículo 42°

(decreto 1594 de 1984) y los resultados de los análisis bacteriológicos, el río algodonal presenta restricciones para fines recreativos mediante contacto primario.

## Introduccion

El *Río Algodonal* que conforma la parte alta de la cuenca del Catatumbo, surte el 80% de la captación de agua para consumo Humano en el municipio de Ocaña y en el caso del Municipio de Abrego, es la única fuente abastecedora de agua potable. Así mismo, el río Algodonal se constituye como un modulador ecológico en un enclave de bosque subxerofítico dominado por pajonales, texturas franco-Arenosas, suelos erosivos y un sistema meteorológico con un régimen bajo de precipitaciones (CORPONOR, 2009). Esta propiedad, permite ofrecer diversidad en la matriz del paisaje y posibilitar el desarrollo de diferentes tipos de actividades económicas. Por las anteriores características, la fuente hídrica está categorizada por su importancia ecosistémica y valor ambiental a nivel nacional (IDEAM, 2004).

No obstante lo anterior, al Río algodonal afluyen escurrimientos de Residuos de agroquímicos provenientes de actividades agropecuarias aledañas, los vertimientos de aguas residuales sin tratamiento previo proveniente de las descargas domésticas, las actividades comerciales y las explotaciones de mineral aluvial ubicadas a lo largo del gradiente longitudinal del río que además de ejercer fuerte presión (demanda) sobre el recurso representan fuentes de contaminación cuyos aportes tienen naturaleza orgánica e inorgánica diferentes.

Tal vez, el aspecto de mayor relevancia y el agravante, sea la cantidad no caracterizada ni valorizada de plaguicidas (*compuestos órgano-fosforados, Órgano-clorados y carbamatos*). Además de la sedimentación de material soluble o en solución a lo largo del tiempo sin evaluar

los efectos negativos sobre la lámina de agua y los ecosistemas que lo integran. Además, es importante resaltar que el evento no deseado, ocurrido en el mes de agosto del año 2015, por el derramamiento de Hidrocarburo del Carro cisterna de Ecopetrol en el Rio Algodonal ocasionó una alteración en la composición físico-química, biológica y microbiológica de la calidad del Agua del Rio desencadenado severos impactos socios ambientales y sanitarios.

En respuesta a lo anterior, se pretende determinar el estado actual de la calidad del recurso hídrico en cinco (5) tramos del río algodonal, en sus componentes físico, Químico y biológico (incluyendo los microbiológicos) mediante la determinación de los índices de contaminación del agua (ICOs) propuesto por Ramírez & y Viña (1998) y la aplicación de dos (2) índices bióticos: BMWP/col (*Biological Monitoring Working Party*), su ponderado ASPT (*Average score per Taxon*) y el ICOBIO (*Índice de contaminación biótica*) basados en el número de taxones bioindicadores de Macro-invertebrados acuáticos identificados.

Con el desarrollo de esta investigación se busca obtener un criterio de calidad integral que mas que ubicar la clase de agua en un rango o una clase de calidad, permita evaluar la desagregación de los tipos de contaminación entre los segmentos de estudios y obtener un panorama de los problemas ambientales en el recurso hídrico y sus modificaciones atribuidas a los cambios intrínsecos y extrínsecos al cuerpo del río en un plano espacial y temporal (Fernandez y Solano 2014 , p. 7). De tal suerte, que los resultados publicados representen un insumo valioso para estudios posteriores orientados a plantear los objetivos de calidad que se desean lograr a futuro en el río algodonal.

Para lograr tales objetivos, se propone una metodología con un enfoque cuantitativo, que implica la manipulación de variables cualitativas ajustadas al alcance operativo, temporal, espacial, conceptual y geográfico que delimitan el proyecto. El fin último del proceso de investigación es acercar o bien, presentar la realidad objetiva sobre la calidad del agua del río algodonal a una sociedad civil en forma transversal.

El documento de manera general está organizado en tres secciones. A saber, el primero trata sobre Información general y proporciona las bases para entender el lenguaje y contexto en el que se desarrolla la investigación mediante el desarrollo del marco referencial (marco Histórico, Teórico, marco legal; conceptual y Marco contextual). El segundo apartado es el de la metodología de la investigación. De manera explícita se presenta el diseño metodológico con los métodos ajustados al alcance y límite del proyecto que permitirá alcanzar los objetivos propuestos. Seguidamente, se presentan en un tercer apartado para los resultados y las discusiones. Se busca en esta sección, exponer en forma objetiva y sencilla los hallazgos realizados a partir de los datos tomados en campo. Pero también, se responden preguntas como ¿Qué quieren decir los resultados? ¿Qué patrón o comportamiento sigue lo que se encontró? ¿Tienen alguna relación los resultados entre sí y con otros estudios? Con estas preguntas se pretende plantear el debate para afinar las ideas y en última estancia, sustentar el objetivo principal de dar a conocer un criterio integral de calidad del agua en el río algodonal. Finalmente, aparece un tercer apartado para las conclusiones y recomendaciones. Aquí el lector podrá enterarse de manera concreta el alcance de los hallazgos positivos y negativos encontrados. Más

adelante, se proponen medidas de mejoramiento orientadas a potencializar las debilidades que podrían convertirse en, mayores problemas ambientales.

De manera adicional, los autores consideran prudente aclarar que se encontraron restricciones temporales, económicas y operativas en el desarrollo de la investigación sin que estos afectaran directamente el logro de los objetivos propuestos. Más bien, proveyeron métodos más ingeniosos de llegar a los resultados. La invitación final de los autores es que se practique una lectura cuidadosa del documento e informar al lector interesado que el proceso de investigación puede continuar con una segunda etapa orientada a definir los usos y objetivos de calidad del agua en el río algodonal.

## Capítulo 1: Título

Evaluación y Valoración de la Calidad del agua para consumo Humano Del Río Algodonal entre los municipios de Abrego y Ocaña, Norte de Santander.

### 1.1. Planteamiento del Problema

El *Río Algodonal* conforma la parte alta de la cuenca del Catatumbo, es considerado como la principal y única fuente hídrica abastecedora de agua para consumo humano de los habitantes en los municipios de Abrego y Ocaña, norte de Santander. Así mismo, la fuente hídrica está categorizada por su importancia eco sistémica y valor ambiental a nivel nacional, con el código N° 1605 (IDEAM, 2004).

No obstante, el atributo ecológico más importante que hace al río algodonal indispensable para el sustento de las relaciones socio-ambientales, es el hecho de ser un modulador ecológico en un enclave de bosque subxerofítico dominado por pajonales, texturas franco-Arenosas, suelos erosivos y un sistema meteorológico con un régimen bajo de precipitaciones (CORPONOR, 2009) Es decir, que de acuerdo a las zonas de vida dadas según Holdridge (1972), se presentan a lo largo de la vertiente del Río Algodonal, en mayor proporción, formaciones de Bosque Húmedo Premontano (*bh PM*) (s.n, 2006), abarcando un área de 47.175,05 ha (63,2%) del área total, en menores proporciones, un Bosque Muy Húmedo Montano, (*BMh-M*), en las áreas de Páramo y sub-páramo de Jurisdicciones, que cabe resaltar,

es una zona de mayor importancia ecosistémica por el nacimiento de Río Oroque y Río Frío, los cuales confluyen aguas abajo y conforman el Río Algodonal. En menor proporción, se encuentra el Bosque Húmedo Montano (bh-M), el cual cubre un área de 2127,46 ha (2.9%). En consecuencia, La diversidad de formaciones vegetales y la matriz del paisaje posibilita el desarrollo de diferentes tipos de actividades económicas, por lo cual, todas las áreas antes descritas, se encuentran en diferentes grados de intervención, bajo presión constante de los sistemas productivos; como parte de la agricultura, sector primario económico más desarrollado de la provincia.

Los Sistemas productivos se desarrollan a partir de una agricultura migratoria caracterizada por la alta dependencia en el uso indiscriminado de productos químicos tóxicos (*agroquímicos, plaguicidas y productos veterinarios químicos*), por una fuerte presión (demanda) sobre el recurso agua para uso agropecuario; situación que alejada del concepto de sostenibilidad o el manejo integral de los recursos naturales, genera conflictos sociales, ambientales, con impactos de magnitud variables en la salud pública.

Tal vez, el aspecto de mayor relevancia y el agravante, sea la cantidad no caracterizada ni valorizada de las trazas de contaminantes de pesticidas (compuestos órgano-fosforados, Órgano-clorados y carbamatos). Además de la sedimentación de material soluble o en solución que se han producido a lo largo del tiempo en los escurrimientos agrícolas y vertimientos domésticos realizados en el *Río Algodonal* por productores campesinos, sin ningún tipo de pretratamiento.

Ocaña por su parte, al tener una concentración poblacional urbana mayor en relación con los demás municipios que dependen de la oferta hídrica del río, alcanza niveles de demanda Hídrica equivalentes para el sector doméstico y el agrícola, siendo estos los más representativos y los que más deben ser estudiados y monitoreados (Corporación Autónoma de la frontera Nororiental CORPONOR p.114).

Además, es importante resaltar que el evento no deseado, ocurrido en el mes de Agosto del año 2015, por el derramamiento de Hidrocarburo del Carro cisterna de Ecopetrol en el Rio Algodonal ocasionó una alteración en la composición físico-química, biológica y microbiológica de la calidad del Agua del Rio desencadenado severos impactos tipo socioambientales y sanitarios.

Factores que han modificado los aspectos físico-químicos, biológicos y no acuáticos del río Algodonal; Alterando como consecuencia, la composición, estructura y función de las poblaciones ecológicas que lo integran. Lo anterior, aunado, limita las condiciones de uso del río y suponen riesgos sanitarios.

En respuesta a lo anterior, se pretende determinar el estado actual de la calidad del recurso hídrico, considerando los aspectos, físico-Químicos, biológicos (incluyendo los microbiológicos) y no acuáticos mediante la determinación de los índices de contaminación del agua (ICOs) propuesto por Ramírez y Viña (1998) como estrategia objetiva para evaluar el recurso hídrico en

N F + + + + + + + + 7+ + + + + + +

l + + + + + + + + 9(Fernandez y Solano 2014 , p. 7).

Adicionalmente, por medio de la determinación de los índices BMWP/col (*Biological Monitoring Working Party*), con su subgregado, ETP (*Ephemeroptera, plechoptera y Trichoptera*), se busca realizar la evaluación de los cambios temporales y espaciales atribuidos a los factores intrínsecos y externos al sistema acuático del río algodonal. Se espera obtener resultados técnicos, fiables (estadísticamente tratados) precisos, (con rangos bajos en el análisis de incertidumbre de los datos) y documentados; que den a conocer el grado de calidad del agua con integralidad del río o que permitan definir el Rio algodonal como ecosistema.

Así mismo, se pretende analizar la evolución del sistema hídrico en el tiempo a través del análisis correlacional de los datos obtenidos, de manera que se determine relaciones de causalidad entre el medio físico social-Ambiental y los cambios ocasionados en la estructura biológica de las poblaciones. Con el fin de que a partir de una información actualizada se generen acciones preventivas y correctivas dirigidas a mantener la sostenibilidad del recurso Hídrico.

## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. Pregunta de Investigación.**

¿Los parámetros fisicoquímicos biológicos y microbiológicos actuales del agua del río Algodonal cumplen con los estándares internacionales y nacionales de calidad del agua para consumo humano y son suficientemente óptimos para mantener la integridad del ecosistema acuático?

A partir de este planteamiento de investigación se pretende dar a conocer la relación directa que tienen los aspectos fisicoquímicos, biológicos, microbiológicos en la dinámica natural del recurso hídrico evaluados con la determinación de los índices de contaminación del agua propuestos por (Ramírez y Viña, (1998), el Índice de calidad biológica IBA del río Algodonal; tal como lo confirman los estudios de Kolkwitz y Marsson (1909), al definir los distintos grados o etapas de recuperación de un río después de haber sufrido una contaminación orgánica y establecer el conocido tema de las saprobias Como sus impactos de alcance y permanencia variable sobre las actividades económicas de las comunidades. (Jalón, 1984 P.1).

### 1.3. Objetivos de Investigación

#### 1.3.1. Objetivo General.

Evaluar la Calidad del Agua para consumo Humano del Río Algodonal a partir de la determinación de los Índices de Contaminación del agua (ICOs), el Índice de calidad biológica BMWP/col y su ponderado ASPT en cinco (5) Tramos del río, entre los municipios de Abrego y Ocaña, Norte de Santander.

#### 1.3.2. Objetivos Específicos.

- ✓ cuantificar el grado de contaminación en cinco (5) tramos del río algodonal mediante la obtención de cinco (5) índices de contaminación del agua (ICOs) propuestos por (Ramírez y Viña (1998), como son: ICOMI (*Índice de Contaminación por Mineralización*), ICOMO (*índice de contaminación por materia orgánica*), ICOSUS (*índice de contaminación por sólidos Suspendidos*); ICO-pH (*índice de contaminación por pH*); para su valoración con los límites permisibles adaptados en la norma nacional y los estándares internacionales establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS)
  
- ✓ Evaluar la calidad ecológica del agua del río algodonal por medio de la aplicación de dos (2) índices bióticos: ICOBIO (*Índice de contaminación biótica*) y BMWP/col (*Biological Monitoring Working Party*), y su ponderado ASPT, basados en Macro-invertebrados Acuáticos.

- ✓ Establecer el grado de relación entre variables fisicoquímicas y biológicas evaluadas a través de un análisis de correlación canónica (ACC) para obtener una visión del funcionamiento del río como ecosistema.
  
- ✓ Documentar resultados estadísticamente tratados, con el fin de Publicar resultados precisos, fiables, técnicos, suficientes en lo referente a la calidad integral del agua del río algodonal, para que sean utilizados como insumo en la toma de estrategias de Gestión y futuras investigaciones.

#### **1.4. Justificación**

Conocer las condiciones biológicas, físico Químicas y microbiológicas actuales del Río algodonal es indispensable para comprender en primer estancia, el recurso Hídrico, como un ecosistema con relaciones interespecificas y dinámicas complejas que pueden arrojar luz sobre los efectos acumulados de la contaminación agrícola, doméstica sobre el río algodonal y, como este fenómeno, con cualquier otro tipo de evento no deseado, se refleja sobre sus componentes biológicos, hasta obtener una imagen objetiva del estado actual del funcionamiento del río como un sistema.

En segundo lugar, evaluar y valorar las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas del río algodonal a través de los índices de contaminación propuestos por Ramírez y viña (1998), permite desagregar los tipos de contaminación, por lo que observados en conjunto facilitan la visualización y el estudio de problemas particulares en un sistema Hídrico y evitan que unas variables o problemas de contaminación queden enmascarados en torno a otras variables. En

última estancia, Los índices de contaminación, reducen la necesidad de observar, interpretar y relacionar categorías gruesas de variables ambientales para establecer prioridades de gestión.

Siguiendo el orden de ideas anterior, desagregar la contaminación del sistema hídrico es necesario si se tiene el objetivo de determinar el estado de calidad para sus diferentes usos, requerimientos; específicamente, su aptitud para el consumo humano. Los posibles impactos por eventos no deseados o actividades de sustento (explotación de recursos Naturales de la cuenca,

+ 7+ 7+ + + 7+ + 47+ + +  
 forma secuencia a través del tiempo en sus área de influencia directa o su zona de amortiguación.

Es así como el proyecto entra a solucionar un problema inmediato en la región: la incertidumbre ante el desconocimiento sobre la calidad del agua con un enfoque de integralidad del río algodonal. Sobre todo, si se considera, no hay registros técnicamente serios sobre el estado de la calidad del agua del río algodonal después del último evento no deseado, el 29 de julio de 2015 (derrame de Hidrocarburos en el río algodonal). Y mucho menos, que efectos tuvieron sobre la estructura del ecosistema acuático de la cuenca o que restos persisten en formas de trazas.

No obstante lo anterior, También impera la necesidad de aplicar nuevas metodologías de evaluación de calidad de aguas naturales que incluya un análisis multi-variable de componentes principales en los monitoreos; de tal manera, que permitan, identificar tendencias tempranas y

problemas ambientales en el medio, la fuente; que de utilizar ICAs convencionales quedarían ocultos por la evaluación de escasas variables físico-Químicas sin considerar variables biológicas.

Considerando lo anterior, resultan ventajosos los efectos de corto mediano y largo plazo. Derivados de la investigación. Por describirlos, se argumenta que un diagnóstico de la calidad actual del agua del río algodonal conduce a plantear en posterioridad los objetivos de calidad de un recurso hídrico; es decir, establecer en la gestión que clase de río se quiere o se desea tener. En segundo lugar, está el enfoque de integralidad aportado por la investigación. Esto es, la determinación de la calidad del agua evaluada y valorada no solo desde la óptica común físico química y microbiológica, si no también ahora, biológica incluyendo el muestreo de algunos parámetros de plaguicidas (concepto hasta ahora inaplicable a anteriores estudios en la región). Aunado lo anterior, el desarrollo de esta investigación genera un suministro de información valioso para coordinar y planificar acciones dirigidas a prevenir, mitigar, compensar impactos negativos identificados; resolver temas de aptitud, disponibilidad y distribución del recurso con equidad; es decir, apuntar a la sostenibilidad del río algodonal.

Por otra parte, si al mediano o largo plazo se utilizan los resultados de la investigación como herramienta para entender el funcionamiento del río como ecosistema en la nueva etapa de reestructuración del POMACH del Río algodonal, se podrían desplegar acciones políticas, Económicas, sociales-culturales y ambientales que sean o bien de prevención sobre las amenazas y vulnerabilidades de la cuenca, o bien de potencializarían sobre las fortalezas encontradas.

Evaluado desde la perspectiva que pueda mantener o mejorar la calidad del agua del río algodonal.

En este marco, El tema de investigación, explícitamente introduce a los investigadores es dos conceptos relativamente nuevos: Por un lado, La evaluación de la calidad del agua mediante los parámetros requeridos por los Índices de contaminación propuestos por Ramírez y Viña (1999-2000); ahora, según Josue Fernandez Parada y Solano Ortega (2005), cada vez más en la mira del IDEAM como estrategia de evaluación de aguas naturales y la integración de un concepto de calidad en el que pesa en igual medida los resultados de una evaluación biológica, a través de grupos bioindicadores preseleccionados. Por otro lado, Las técnicas y los protocolos actualizados de investigación, monitoreo y evaluación aplicadas, serán valor agregado o conexos a los efectos sobre la población objetivo, que fortalezcan los conocimientos en el tema de evaluación y valoración de calidad de aguas naturales en posteriores estudios que realice la academia.

De manera resumida, La investigación pretende que a partir de la selección de cinco (5) estaciones de muestreo donde a simple vista se generan grandes afectaciones sobre la calidad de agua y composición de la biota aledaña al río, se realice una evaluación y valoración en forma objetiva. Con el propósito de contribuir al mejoramiento continuo, la conservación del recurso hídrico y su aprovechamiento sostenible. Conceptos claves para garantizar la disponibilidad del recurso y la aptitud para el consumo humano en las generaciones futuras.

## **1.5. Formulación de la Hipótesis**

### **1.5.1. Problema.**

El Río algodonal que representa el 80% de la captación de agua para consumo Humano en el municipio de Ocaña y en el caso del Municipio de Abrego, es la Única fuente abastecedora de agua potable, está contaminada por las descargas de las aguas residuales (Materia Orgánica) provenientes del desarrollo de actividades comerciales y habitacionales a lo largo del gradiente longitudinal del río. Así también, el río Algodonal está contaminado por los escurrimientos de Residuos Agroquímicos provenientes de actividades agropecuarias aledañas,

### **1.5.2.Pregunta.**

¿Los parámetros fisicoquímicos bilógicos y microbiológicos actuales del agua del rio algodonal cumplen con los estándares internacionales y nacionales de calidad del agua para consumo humano y son suficientemente óptimos para mantener la integridad ecosistémica acuática?

### **1.5.3.Objetivo simplificado.**

Evaluación y valoración de la calidad del agua para consumo humano del río algodonal entre los municipios de Ocaña y Abrego, norte de Santander.

#### **1.5.4. Hipótesis.**

Los resultados de la evaluación y valoración del Índice de calidad del agua para consumo humano actualmente determinados en el río algodonal, cambian significativamente si se realiza un nuevo estudio con integralidad donde se desagregue la contaminación en cinco tramos del río algodonal entre los municipios de Abrego y Ocaña, y se incluya la evaluación de parámetros biológicos, y trazas de agroquímicos adicionales.

### **1.6.Delimitaciones**

#### **1.6.1. Delimitación operativa.**

Durante la realización de este proyecto se realizaran varias técnicas, procesos, Procedimientos, muestreos, programas; ajustadas a las actividades propuestas en las fases ejecución del cronograma y que tienen como finalidad, el logro de los objetivos. Para esto se tomara como soporte, ayudas como:

- ✓ Reconocimiento del lugar.
- ✓ Georreferenciación del Sitio a monitorear
- ✓ Desarrollo de Cartografía
- ✓ Taller de socialización con los actores involucrados al proyecto
- ✓ Aforo de Caudales
- ✓ Muestreos de Agua cruda, Grupos Bio-indicadores

- ✓ Análisis de muestras biológicas y microbiológicas en laboratorio
- ✓ Desarrollo de cultivos Bacterianos, Fungos y algales
- ✓ Desarrollo de Matrices
- ✓ Formulaciones estadísticas, cualitativas y cuantitativas
- ✓ Presentaciones gráficas, de la calidad del río algodonal.

### **1.6.2. Delimitación conceptual.**

Para la elaboración de este proyecto se tendrán en cuenta los conceptos que al juicio de los investigadores, se consideran de Vanguardia, necesarios, suficientes, pertinentes; para la contextualización, el soporte de la investigación, el respaldo de la metodología propuesta y el entendimiento del lector. Cabe decir, que los conceptos se argumentan desde diferentes puntos de vista de autores y, por la estrategia metodológica, solo se resaltan los aspectos que más justifican la investigación. (*Ver marco Conceptual*)\_ serian:

- ✓ Agua
- ✓ Calidad del agua
- ✓ Contaminación del Agua
- ✓ Gestión Integral del recurso Hídrico
- ✓ Residuos Agro-tóxicos en el agua
- ✓ Evaluación de La calidad del agua
- ✓ Criterios de Calidad del Agua

- ✓ Índices de Contaminación del Agua (ICA-ICOs)
- ✓ ICATEST V.1.0.0.44
- ✓ Correspondencia Canónica
- ✓ Índice BMWP/ col.
- ✓ Índice ASPT.
- ✓ índices de Calidad Biológica del Agua (ICOBIO)
- ✓ Métodos de Muestreos
- ✓ Bio-indicadores y Bio-indicación
- ✓ Bacterias y Protozoos
- ✓ Perifiton
- ✓ Macro-invertebrados Bentónicos

### **1.6.3. Delimitación geográfica.**

El AID (área de Influencia directa del Proyecto) corresponde a un sector en la parte media de la cuenca del río algodónal, entre los municipios de Abrego y Ocaña. No obstante la unidad de análisis y muestreo, está inmersa en la cuenca del río algodónal la cual se encuentra localizada en el flanco oriental de la cordillera oriental, al occidente del departamento de norte de Santander. Al norte limita con la cuencas de los ríos Catatumbo y río de oro (departamento del cesar), al sur y occidente limita con las cuencas del río Lebrija regidor, la cuenca de río de oro y

la del río san Alberto, estas dos últimas en el área de jurisdicción del departamento del Cesar. Al oriente limita con la cuenca del río tarra, Tal como se muestra en la Tabla. Es importante señalar que la cuenca del río algodonal incluye territorio del departamento del Cesar, específicamente de los ríos de Gonzales y Río de oro. (Organización Promotora Medio Ambiental 2008, p. 19).

**Tabla 1.**  
**Coordenada de la cuenca del río algodonal**

Delimitación	Planas		Geográficas	
	X	Y	Latitud	Longitud
Norte	108 3090	142 1230	08° 24' 26",10563	76° 19' 35",41165
Sur	109 4355	135 9565	07° 50' 58",35814	73° 13' 31",48436
Este	107 3670	140 2000	08° 14' 00",76747	73° 24' 44",36086
Oeste	110 2965	137 2465	07° 57' 57",60893	73° 08' 49",52800

**Nota.** Fuente: Organización Promotora Medioambiental, (2008). *Publicado En:* Monitoreo de la Caidad y cantidad del agua del Río Algodonal, Tejo y Frío. Ocaña. *Informe Final* de Contratos de Servicios No. 275.

#### 1.6.4. Extensión.

La unidad de análisis en términos cualitativos, comprende desde el punto de conformación del río algodonal, en la confluencia del Río Frío y Río Oroque, ubicado en el extremo sur de la cuenca a 3.680 m.s.n.m en el sector denominado Páramo de Jurisdicciones; Siguiendo el curso del río algodonal, involucrando la ronda hídrica, hasta alcanzar el último lugar de muestreo aguas arriba de la Torre de captación y conducción a la planta potabilizadora del Municipio de Ocaña, norte de Santander.

En términos generales, El área total de la cuenca del río algodonal es de 74.639,8 hectáreas (has), correspondiente al 0,34 % del territorio del departamento Norte de Santander; su longitud es de 62.7 kilómetros y su forma es alargada. Se encuentra entre los 950 metros sobre el nivel del mar, en la confluencia Ríos Tejo y Algodonal, y los 3.680 m.s.n.m. en el extremo sur de la cuenca en el sector denominado Páramo de Jurisdicciones.

#### **1.6.5. Delimitación Espacial.**

De la Unidad de Análisis Se seleccionan estratégicamente (5) estaciones de muestreo ubicadas a distancias aleatorias en el gradiente longitudinal del río algodonal. Desde la Confluencia de Río Frío y Río Oroque hasta Aguas arriba de la planta de Tratamiento de Agua Potable de ESPO (Empresa de Servicios Público de Ocaña).

Las Unidades de muestreo son las siguientes:

**E<sub>1</sub>:** Confluencia de Río Frío y Río Oroque, Río algodonal

**E<sub>2</sub>:** Hasta (100) metros aguas arriba de la laguna de Estabilización del municipio de Abrego.

**E<sub>3</sub>:** Hasta (100) metros aguas debajo de la laguna de Estabilización del Municipio de Abrego.

**E4** Punto san Luis. Hasta Cien (100) metros Aguas debajo de la confluencia de los efluentes del corregimiento de la ermita y el municipio de la playa.

**E5:** Hasta (100) metros Aguas arriba de la torre de Captación, de la empresa de servicios Públicos de Ocaña, sede algodonal.

En Cada Unidad de muestreo, se delimita un transepto de 400m x 20m (800 m<sup>2</sup>) cada uno, las cuales, dentro del protocolo de campo, se contempla aplicar las mismas técnicas de muestreo dependiendo la naturaleza del serotipo a recolectar.

La cuenca del Río Algodonal está delimitada por los divorcios topográficos y por el límite departamental en algunos sectores del occidente, correspondientes a los límites de los municipios de Ábrego y Ocaña. (POMCH., 2010).

#### **1.6.6. Delimitación temporal.**

Este proyecto de investigación se caracteriza por ser de tipo longitudinal, establecida de acuerdo al cronograma de actividades, en un tiempo de ejecución de 10 meses, contados a partir del mes de octubre de 2015, fecha en la que se planifica la aprobación de la propuesta de investigación, hasta Octubre 2016 donde se espera la publicación y sustentación del documento final. En el trayecto, Se analizarán los parámetros de calidad del agua con una frecuencia trimestral por monitoreo en cada uno de los puntos estratégicos definidos a lo largo del río algodonal.

## Capítulo 2: Marco Referencial

### 2.1. Marco Histórico

Todos los cuerpos de agua están interconectados desde la atmósfera hasta los océanos a través del ciclo hidrológico. Al mismo tiempo, todos los cuerpos de agua se pueden caracterizar analizando básicamente tres componentes: Su hidrología, sus características fisicoquímicas y la parte biológica. Es decir, que para llevar a cabo un análisis y evaluación completa de calidad del agua es necesario monitorear estos tres componentes. No obstante, también significa que cualquier cambio en alguno de sus características, modifica en consecuencia, el concepto de calidad. Dado que el uso y aprovechamiento del recurso Hídrico siempre ha estado vinculado con el desarrollo de las civilizaciones a lo largo de los estadios de la evolución humana, un mejor tema a definir en contexto, sería rastrear los primeros indicios de las acciones realizadas para, de alguna forma, determinar la calidad de agua en los tres aspectos que evalúa el documento y, como el concepto ha evolucionado en el tiempo.

No obstante, Antes de la evaluación de la calidad del agua, se hacían controles sanitarios con objetivos estéticos, es así como de alguna forma, parece bien ampliar algunos flecos de la historia de la desinfección. De acuerdo a esto, existe evidencia de que la desinfección para el agua potable se practicó en los primeros días que registra la historia. La ley persa antigua requería que el agua potable, antes del uso de almacenara en vasijas de cobre brillante o plata. A través de las escrituras, se encuentran evidencias de prácticas similares en otras civilizaciones.

Los egipcios, emplearon la filtración para purificar el agua potable en el año 100 A.C; Los trabajos de Aristóteles indican que también se utilizaron vasijas de porcelana no vitrificada. Sin embargo, el primer registro de interés que se tenga por evaluar la calidad del agua que data desde el año 1854, con la epidemia de cólera aparecida en Londres asociada con el pozo de la calle Broad. (Weber J. y Felxas, 2003) Es la primera observación registrada de una amplia transmisión de enfermedad por suministro de agua pública.

John Snow y John York, secretario e inspector respectivamente del comité de investigación del Cólera de Londres, llevaron a cabo un cuidadoso estudio del foco epidémico, y los resultados obtenidos concluyeron de forma contundente, que la epidemia de cólera asiática de la calle Broad estaba asociada con la contaminación del suministro de agua del pozo del distrito. De acuerdo con Weber J. Y Felxas (2003), 38 años más tarde, en Hamburgo Alemania, se demostró de forma definitiva la relación en la transición de enfermedades con el estado de calidad del

9S 7+ + + + P 7+ + + + + + + + + + DC=+  
 <B9 ; ; + + + + + 7+ + + B 9 > <432).

En el año de 1872 apareció una epidemia de fiebre tifoidea en Lausana, Suiza, que se extendió durante más de 25 años y procedía de la contaminación de los suministros de agua publicada en 1885, aparecieron varias epidemias severas en Plymouth, Pennsylvania. Asociadas con la contaminación de los suministros de agua. Otros registros que se deben citar en cuanto a los hechos que llevaron a la necesidad de construir índices que evaluaran la calidad del agua en diferentes aspectos son: (Lawrence y Lowell, Massachusetts, en 1890-1891) en Chicago, Illinois,

años 1890-1892, en Ashland Wisconsin, en 1893-1894, en Mankato, Minnesota, en 1908 y en Lincoln, Inglaterra a principios del siglo XXI.

Como se ha visto y tal como lo dice Torres P, y Cruz (2009), Los intentos para lograr construir un índice que permita calificar la calidad del agua tienen bastante historia, (Torres, Cruz, y Patillo, 2009). Existe información de que en Alemania en 1848, a raíz de los focos de epidemias que por la época se estaban dando en diferentes lugares, empezaron a realizarse algunos intentos por relacionar la presencia de organismos biológicos con la pureza del agua. En los últimos 130 años, varios países europeos han desarrollado y aplicado diferentes sistemas para clasificar la calidad de las aguas; sin embargo, El desarrollo de Índices de calidad del agua (ICA's), basado en el empleo de valores numéricos para asignar un nivel de calidad en una escala prácticamente continua son relativamente recientes. (Ott, 1978).

Según Horton, (1995), Rodríguez propuso el uso del ICA para estimar patrones o condiciones de contaminación acuática y son pioneros en la generación de una metodología unificada para su cálculo. Sin embargo, el desarrollo e implementación de un ICA de manera formal y demostrada lo hicieron (Brown y et.al) allí con el apoyo de NSF, basándose en la estructura del índice de Horton y el método Delphi para definir los parámetros, pesos ponderados, subíndices y clasificación a ser empleados en el cálculo. (Horton, Torres, Cruz, y

7-11-49 + + +as características que debe presentar la fuente de  
+ + + + + (s.n), 2006). Y a pesar de que el índice

fue desarrollado en el Estado Unidos es ampliamente utilizado en el mundo y ha sido validado o adoptado en diferentes estudios.

En España, Queralt en el año de 1982 desarrolló el índice simplificado de Calidad del agua (ISQA) para evaluar las cuencas de Cataluña, el cual se basó en cinco (5) parámetros fisicoquímicos y planteó una clasificación de la calidad del agua para seis (6) usos específicos del recurso, entre los cuales se destaca el abastecimiento para consumo humano.

Por otra parte, Dinius planteó un ICA conformado por 12 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, el cual también se basó en el método Delphi, pero a diferencia del ICA NSF, cuya clasificación está orientada a las aguas con potencial de uso para consumo humano, considera cinco (5) usos del recurso: Consumo humano, agricultura, pesca y vida acuática, industrial y recreación. (Torres, Cruz, y Patillo, 2003).

Los ICA más recientes, cuyo objetivo fundamental se orienta a la evaluación de la calidad del agua para consumo humano, previo al tratamiento, incluyen dentro de su estructura parámetros fisicoquímicos y microbiológicos directamente relacionados con el nivel de riesgo sanitario presente en el agua. En Jalisco, México, Montoya y Contreras (1997) plantearon un ICA conformado por 18 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos agrupados en 4 categorías:

N + materia orgánica, materia bacteriológica presente, características físicas y materia

(Montoya y Contreras Garcia, 1997) Este índice considera nueve (9) usos, dentro de los cuales se destaca el abastecimiento público para consumo humano.

Según (Torres et al, 2003). En el ámbito internacional, el ICA desarrollado por el EPA desarrolló un ICA orientado inicialmente a la evaluación de la calidad ecológica de las aguas basado en la comparación de los valores de cada parámetro con un punto de referencia, el cual generalmente es obtenido de una norma o guía de calidad del agua. Debido a que el ICA es flexible en los parámetros y usa directrices para la protección de la vida acuática, el índice permite evaluar la calidad de las aguas destinadas a consumo humano. (p.83)

Para el año 2002, en Brasil, la compañía de tecnología de saneamiento ambiental desarrolló e implementó un ICA de agua cruda para valorar el potencial de aprovechamiento hídrico como fuentes de abastecimiento en respuesta al aumento en la complejidad de los contaminantes vertidos en las fuentes de agua; el cálculo se realiza mediante la ponderación de los resultados del cálculo del conocido IQA (adaptado a partir del ICA de NSF mencionado) y el índice de sustancias tóxicas ISTO-, que complementa el IQA de tal manera que garantiza una evaluación integral del agua a ser destinada al abastecimiento público previo al tratamiento. Los Parámetros que desarrolló el Índice de sustancias tóxicas-ISTO fueron clasificados en tóxicos y organolépticos, y dado el amplio uso de cuerpos con presencia de cianobacterias, incluye el número de células de cianobacterias, además se incluyó en el índice una prueba genética, el Test de Ames. (p.84).

La UNEP, en adelante, Programa de las naciones unidas para el medio ambiente, presentó la primera versión de un ICA mundial (Drinking Water Quality Index-DWQI) que se aplica a las fuentes de abastecimiento de agua potable,, aunque fue desarrollado en respuesta a la necesidad

de evaluar la situación actual a nivel mundial de las fuentes de captación. La estructura de la ecuación para el desarrollo del Cálculo es la de ICACCME (índice del consejo canadiense) los parámetros de referencia se basan en las guías de agua potable publicadas por la OMS (Organización mundial de la salud). (UNEP, Global Drinking Water Quality Index Development and Sensitivity Analysis report, 2007). En Europa, año 2010 *Boyaciglou* desarrolló el UWQI (Universal Water Quality Index) conformado por once (11) parámetros fisicoquímicos y uno (1) microbiológico, con el objetivo de proporcionar un método más práctico y sencillo para describir la calidad de las aguas superficiales utilizadas para el abastecimiento de agua de consumo humano. El cálculo está se adapta a las directivas normativas y requisitos legales aplicables al agua de consumo humano de los países que conforman la UE (unión europea) de manera que pueda usarse como metodología general evaluación y valoración en los países conformantes.

En cuanto al desarrollo de índices para evaluar la calidad biológica de las aguas destinadas para consumo humano, en el contexto internacional, se tiene evidencia de que Inicialmente los índices biológicos solo se utilizaban por la ventaja de obtener un diagnóstico rápido de la situación en un curso de agua, utilizando bioindicadores e índices bióticos, Tarcedor y Sánchez (1988), como es el caso de macro invertebrados acuáticos (peces), gracias al bajo costo en comparación con los costosos análisis químicos o de toxicidad, así como por la posibilidad que ofrece su uso para detectar procesos en los ecosistemas acuáticos debido a que las poblaciones de animales, algas, bacterias y plantas, acumulan información que los análisis fisicoquímicos no develan.

Una forma de medición que ha alcanzado gran aceptación a nivel mundial es el índice BMWP (*biological Monitoring Working Party*) establecido en Inglaterra en 1970 como un método sencillo que utiliza macro invertebrados como bioindicadores de los cuales aproximadamente el 50% son insectos que tienen diferentes grados de tolerancia a la contaminación (Roldán 2003). Este método, muestra flexibilidad taxonómica, porque solo requiere el reconocimiento o identificación de los macro invertebrados hasta el nivel de Familia. Uno de los primeros en utilizar este método para medir la calidad biológica del agua fue Hellawell (1978) en España, donde observó que este índice tenía un comportamiento parecido a los índices de diversidad conocidos. Sin embargo para la época, la tabla de familias con sus puntajes era reducida, lo que supuso un factor limitante en su empleo. Por lo tanto, se hizo la primera adaptación de la tabla para la península Ibérica (Tercedor y Sanchez, 1987).

El empleo de los índices ASPT (average Score Per Taxon) y ETP son de reciente aplicación, puesto que, en secuencia, el primero surge de dividir el BMWP por el número de taxones involucrados en el cálculo (Walley y Hawkes, 1997) Y el segundo, calculado sobre el Número de especies de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (Klemm et al., 1990). Así aparecen estudios como el realizado por H. R, (2002), Quienes determinaron el ASPT, el EPT, el BMWP en un río Subtropical Tucumán, Argentina.

En el ámbito Nacional, se han desarrollado diferentes investigaciones dirigidas a adoptar y desarrollar ICA's conforme a las características propias de cada corriente superficial en evaluación. Es así que mientras rojas, (Rojas, 1991) adaptó el ICA-NSF a las condiciones específicas del Río Cauca, reduciendo los parámetros que lo conformaban con base en un análisis

de su comportamiento en el tiempo y el nivel de importancia estadística para la zona. Ramírez y Viña desarrollaron los índices de contaminación ICO- a partir del análisis de componentes fisicoquímicos, resultantes de diferentes estudios limnológicos relacionados con la industria colombiana de petróleos. Actualmente, existen nueve (9) ICO's entre los cuales se destacan: Índice de contaminación por materia Orgánica ICOMO-, índice de contaminación por mineralización-ICOMI-; y el índice de contaminación por sólidos-ICOSUS-. (Ramírez y Viña, 1998).

En el mismo contexto nacional, la corporación autónoma regional del valle del Cauca- CVC- y la universidad del valle, ((s.n), CVC, UNIVALLE, caracterizacion y modelacion matematica del rio cauca pmc fase II. identificacion de parametros criticos en el rio y sus principales rios tributarios, tramo salvajina- virginia, 2007) aunaron recursos y lograron adaptar el ICAUCA a las condiciones ambientales del río cauca en tramo Salvajina- La Virginia, a partir de la observación directa del comportamiento de la calidad del agua del río en este tramo y en la revisión de diferentes ICA's de aplicación mundial; a partir de los cuales, se definieron 17 parámetros de evaluación fisicoquímica y microbiológica, se desarrollaron los subíndices y ecuaciones que actualmente lo conforman.

Para garantizar la calidad del agua para consumo humano, el instituto nacional de salud, el ministerio de salud y protección social, desarrollaron en forma conjunta el índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano-IRCA y su red de reporte en el sistema SIVICAP (sistema de vigilancia de la calidad del agua potable), el cual mide el nivel de riesgo de

ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua requeridas para el consumo humano, después de que el agua cruda haya sido sometida a tratamiento que garantizan su potabilidad (INS 2014, como se citó en Patricia Torres, 2009, P. 85).

Actualmente en Colombia se han propuesto la utilización del índice llamado ICACOSU (índice de calidad del agua para corrientes superficiales). Este IQA, de acuerdo a la publicación oficial del IDEAM, (2010). Fue publicado en agosto de 2009 por el Instituto de Hidrología meteorología y estudios ambientales de Colombia (IDEAM) como herramienta institucional para evaluar el recurso Hídrico en Colombia; este a su vez, fue aprobado por el ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial en sus estudios de consolidación del diagnóstico de la calidad del recurso Hídrico, en el caso de la formulación de la política hídrica nacional y el plan hídrico presentado en el 2010.

Por otra parte, Para La evaluación de la calidad biológica del agua para consumo humano, En Colombia, se tienen registros de estudios e investigaciones en las que se emplean los macro invertebrados acuáticos como grupos bioindicadores de calidad. Las primeras evidencias, se remontan a los años setenta (Roldán, 2003).

Aparecen dos estudios realizados en el Río Medellín, un primero realizado por Morales (1984), donde se evaluó los aspectos biológicos del Río Medellín utilizando solo macroinvertebrados bentónicos, por un lado. También está el estudio realizado por la universidad

de Antioquia en la cual se determinó el IBA como parte del ICA (índice de calidad del agua) del Río Medellín.

En el ámbito regional, A través de la secretaria de salud de norte de Santander, las instituciones de educación superior, y la Corporación Autónoma de la frontera nororiental- CORPONOR- se han empleado y adaptado diferentes índices para la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano. En el municipio de Pamplona por ejemplo, Alberto Ramírez, (2005), aplicó los índices de contaminación propuestos por Ramírez y Viña (1999), citados anteriormente, como fueron: índice de Contaminación por materia orgánica- ICOMO- , el - ICOSUS- (índice de contaminación por sólidos suspendidos) y el ICOpH (índice de Contaminación por pH). Para el desarrollo de los índices, fue necesario el muestreo y determinación de ocho (8) variables fisicoquímicas, tal como se puede encontrar en Alberto Ramírez (2005). Sánchez (2005), realizó una modificación del BMWP para el cauce del Rio Pamplonita en Norte de Santander, explicando con esto la importancia de tener un índice que dé cuenta de las características específicas de un ecosistema teniendo en cuenta que su clima, suelo y biodiversidad pueden variar de una zona del país a otra.

En el ámbito local, El Grupo de investigación GIADS (2007), como se citó en Granadillo, (2013) realizó estudios de la calidad del agua del rio algodonal en el tramo comprendido entre el Batallón de infantería N° 15 y la confluencia del Rio Tejo con el Rio Algodonal, empleando el índice biológico-BMWP- para la obtención de datos sobre el estado del agua y el ecosistema aledaño. Así también, la Asociación Promotora Medioambiental, (2008) utilizó el ICA, ICOMO

y el ICOSUS, sin adaptaciones locales, para evaluar la calidad y cantidad de agua de los ríos Algodonal, Tejo y río frío.

A la vanguardia del tema de empleo de Índices de Calidad de agua para consumo humano, son más los trabajos que le apuntan al desarrollo de una integralidad en la evaluación de calidad y cantidad del agua. Así por ejemplo, se publicaron los resultados de los estudios realizados por (MONTROYA M, 2011 y et al.). Donde se determinaron el ICA, los índices BMWP y ASPT en el Río Negro y sus principales tributarios, obteniendo resultados alarmantes en la estructura de las poblaciones ecológicas, contaminación por coliformes fecales y en general, resultados relativos a los físico-Químicos realizados, para concluir con la publicación de resultados de calidad del agua con integralidad. Dentro de este nuevo enfoque, aparecen también los resultados de Arango C., (2008) quien utilizó bioindicadores microbiológicos y determinaron el ETP, relacionando los resultados con los físicoquímicos.

## **2.2. Marco Contextual**

La investigación planteada en este documento se realiza en el marco de investigación académica de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Se trata de un trabajo de grado adscrito a la línea de investigación asuntos ambientales y urbanos del programa de ingeniería ambiental, a su vez, anexa a la facultad de ciencias Agrarias y del ambiente. El polígono que constituye el área de influencia directa del proyecto, se construye sobre cinco (5) estaciones de control y monitoreo ubicadas en el gradiente del río Algodonal, separadas en la

medida que la geología del terreno y las condiciones de acceso al punto lo permitan, a distancias equidistantes. Tal como lo muestra la *figura 1*

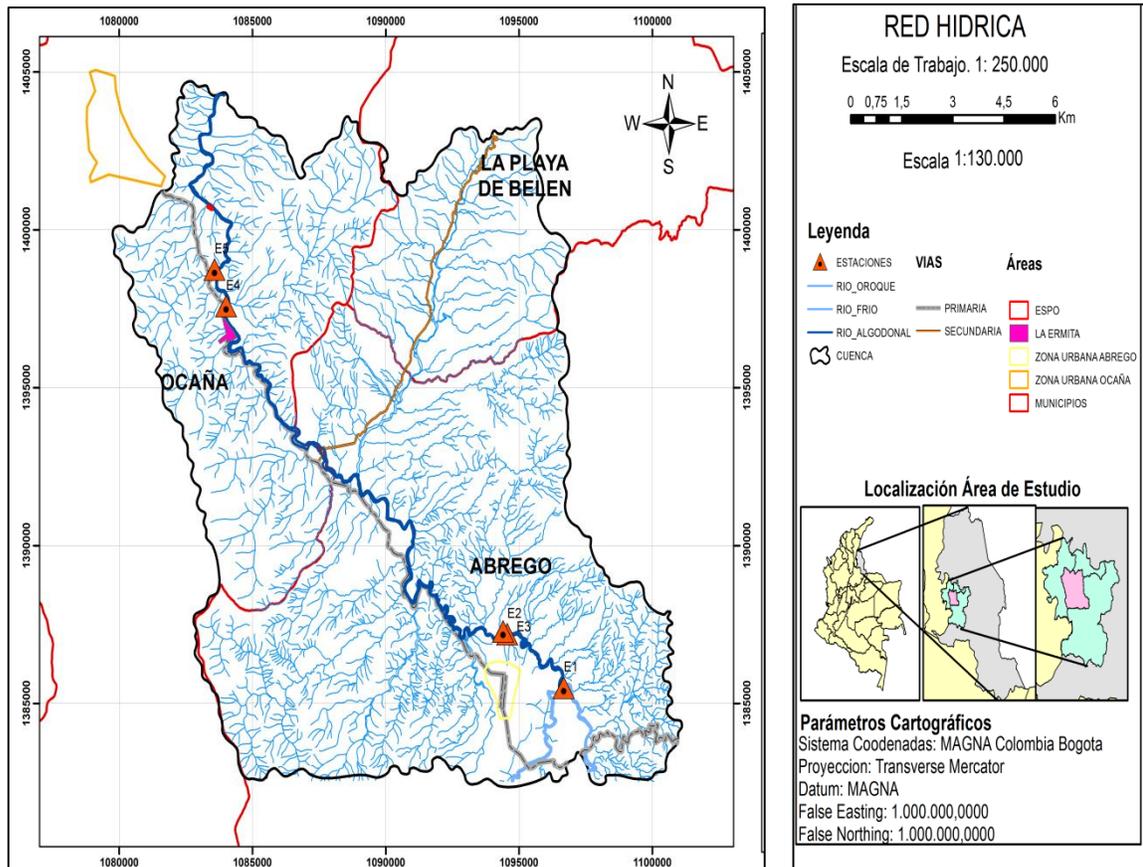
**Tabla 2.**

*Tabla de atributo de las estaciones de muestreo*

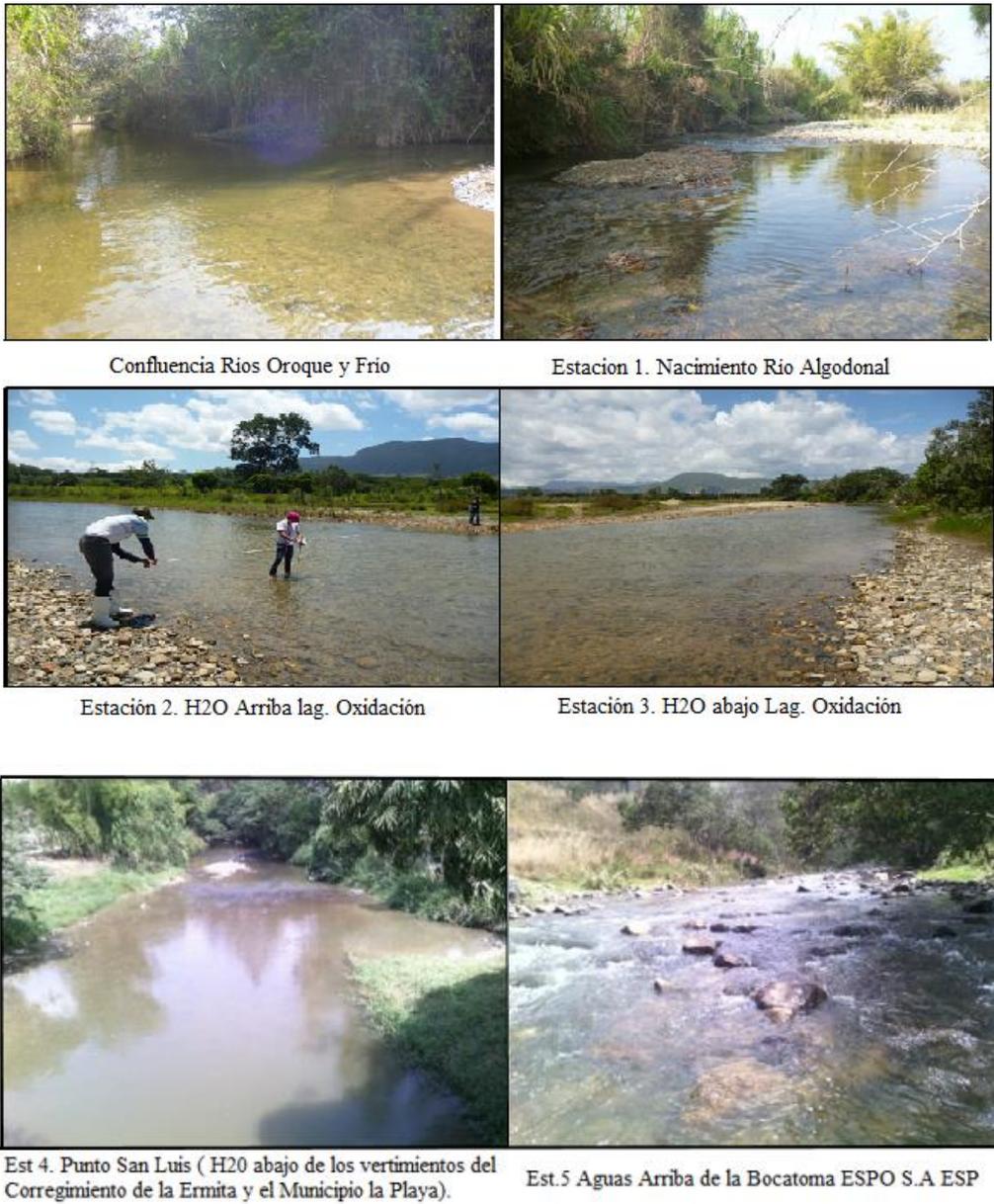
Estación	L (+)	W(-)	Z	Distancia entre estaciones (Km)	
1	C? <C	B> <=; =?	1373	(1-2)	3,69
2	C ?B	B> < < ?	1337		
3	C ?>?	B> < < ?	1357	(2-3)	0,56
4	C << =A?	B> <C ??	1239	(3-4)	25,5
5	C <=; ?	B> <D; C	1231	(4-5)	1,52

**Nota.** En la tabla 2 se muestran La georreferenciación en coordenadas Geográficas de la Cinco (5) estaciones de monitoreo y las distancias en Kilometros (km) entre cada una de ellas.

**Fuente:** Grupo de Investigación con base a los datos tomados en campo



**Figura 1. Cuenca del Río Algodonal con Estaciones de Control**  
Fuente: Grupo de Investigación



**Figura 2. Representación de las estaciones de Muestreo definidas.**

**Fuente:** Grupo de Investigación.

### **2.2.1. Contexto Ecológico del Area de estudio.**

El Área de influencia directa de la investigación que aquí se documenta está enmarcada en las jurisdicciones territoriales de los municipios de Abrego y Ocaña, Norte de Santander; ubicada en el Flanco nororiental de la cordillera oriental del país, a una elevación aproximada de 1398 y 1230 msnm respectivamente. Los modelos de simulación meteorológicos, estimado por la estación más cercana, como Weather wunderground y accuweather (2016), señala que el clima presenta variaciones ligeras. Si bien la temperatura media anual para ambos municipios es de 21-22°C, la precipitación apenas alcanza 110 mm anuales en el municipio de Abrego mientras que para el municipio de Ocaña el rango oscila 100- 1500 mm anuales.

Aunque estas oscilaciones no introducen cambios notables en el paisaje, se resalta el efecto regulador microlimático del río Algodonal sobre las poblaciones ecológicas que lo integran. Estos datos según las clasificaciones climáticas del IDEAM (1991) y Espinal-T (1997), ubican el polígono de área del proyecto es un piso bioclimático meso térmico. Además presenta dos periodos de lluvias bien definidos, uno entre febrero y junio y otro entre septiembre y diciembre. Según los sistemas de vida de L.R Holdridge (1967), el Bosque estudiado se clasifica como bosque seco pre montano (Bs-PM). Sin embargo, haciendo una aproximación a los aspectos generales de la vegetación en Colombia dados por Cuatrecasas (1958), se trata de un enclave de bosque seco sub-andino característico de la provincia de Ocaña, norte de Santander. (Como se citó en Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales, 2013).

Realizando una descripción más detallada de la vegetación encontrada en ambos márgenes del río en las cinco (5) estaciones de muestreo, a simple vista el sotobosque es abundante (estructura arbustiva y herbácea) aunque la estructura arbustiva es la más dominante. El avistamiento de algunas especies de plantas propias de bosque subandino, sugiere que el bosque es una zona de ecotonía entre un bosque pre montano y uno montano andino. El tallo de los árboles inclinado, el tamaño mediano de las hojas y la presencia Moderada de epifitismos demuestra que efectivamente el área de estudio se desarrolla en un fragmento de bosque subandino. Tal como se puede apreciar en la siguiente *figura 2*.

### **2.2.2. Contexto Socio Ambiental y Económico escenarios de la Investigación.**

La provincia de Ocaña, está experimentando un proceso acelerado de urbanismo. El afán por construir ciudades y fábricas, de mejorar la calidad de vida, de utilizar tierras para cultivar, para criar todo tipo de ganado, ha generado una fuerte presión sobre los sistemas naturales: Tala indiscriminada de bosques sobre las taludes del río algodonal, con su efecto inmediato, el desplazamiento de especies vegetales y animales. (Plan de desarrollo territorial del municipio de Ocaña, 2008- 2011). Los efectos se hacen visibles, Así es la situación para los caudales del río algodonal que a simple vista parecen disminuir con cada década, como también es la situación de los resultados de inventarios taxonómicos que se realizan en las áreas que aún no están protegidas, los cuales también estadísticamente van en detrimento.

Siguiendo el orden de ideas anterior, el sistema económico de la Provincia de Ocaña se basa en la producción agropecuaria, la cual es convencional o migratoria, sustentada en malas prácticas agrícolas, donde domina el uso desmedido de agroquímicos (abonos sintéticos y plaguicidas) sin valorar los impactos ambientales generados al recurso Hídrico a través de los escurrimientos agrícolas que llegan por gravedad gracias a las pendientes típicas del paisaje o por infiltración en los suelos desprovistos de cobertura vegetal, porosos franco arenosos que por efecto de capilaridad afluyen a través de las venas subterráneas en los tributarios del río y de allí, al río algodonal.

Tal vez, desde una perspectiva sanitaria, el aspecto más relevante al contexto de investigación sea que el cuerpo de agua del río algodonal desempeñe el rol de cloaca porque en el afluyen todas las descargas de aguas residuales domésticas sin previo tratamiento generadas por las comunidades de Abrego, la playa de Belén, el corregimiento de la Ermita, Ocaña y demás veredas aledañas. Tales procesos de contaminación suponen cambios físico-Químicos y desestabiliza la dinámica natural del río al poner en prueba su capacidad de autodepuración.

De acuerdo a lo anterior, en la medida que se pierden atributos de calidad del recurso, se generan riesgos sanitarios y ocupacionales que puede terminar en incremento de costos de potabilización, fugas esporádicas de aguas mal potabilizadas que aún lejos de ser persistentes como para ocasionar epidemias públicas, pero posibles de generar brotes aislados de enfermedades subsecuentes, lo que hacen es propugnar los supuestos de la población sobre los *efectos y consecuencias negativas a la salud pública de los Ocañeros y abreguenses debido al*

*consumo de agua mal tratada o con agroquímicos del río algodónal”* como a bien tienen insistir en el calificativo.

De acuerdo a Miranda Sanguino (2015), Algunos de los supuestos Negativos sobre la salud pública que se tienen por los Ocañeros y Abreguenses, que constituyen motivos de investigación detallada médica y ambiental concertada en un futuro, son:

- ✓ Incrementos de casos de enfermedades Gastrointestinales de acuerdo a los reportes anuales del Hospital Emiro Quintero Cañizares.
- ✓ Casos de Malformaciones en Neonatos, sobre todo en el municipio de Abrego. (supuestamente por alta presencia de agroquímicos en el agua del río algodónal.
- ✓ Incremento de perfil epidemiológico a nivel rural en el municipio de Abrego por la contaminación del sistema sanguíneo debido a la presencia de trazas de Organofosforados y Carbamatos, según reportes de pruebas de colinesterasa aplicadas a campesinos en el municipio de Abrego
- ✓ Alto índice de cáncer gastrointestinal reportado por los hospitales de los municipios de Abrego y Ocaña.

Para Miranda Sanguino (2015) Las causas desencadenadas por la anterior problemática son las siguientes:

- ✓ Responsabilidad social de la comunidad asentada en la cuenca alta del Catatumbo, en el uso ocupación y aprovechamiento de los recursos naturales.
- ✓ Deficientes metodologías de identificación de estas sustancias de carácter muta génicas, teratogénicas y cancerígenas.
- ✓ Uso Indiscriminado de Agroquímicos y Pesticidas por los campesinos en el sector agropecuario (p. 6).
- ✓ Estudios publicados en el Plan Territorial en Salud; (2011) + + + + + +  
 evaluación, seguimiento y control de la calidad del recurso Hídrico (Río Algodonal por parte de las autoridades competentes del orden local, departamental y nacional (CORPONOR, el Instituto O + + + + + + 4 3 949 + + + 9+

### 2.2.3. Población afectada por el Problema de investigación

La población humana asentada al interior de la Cuenca Alta del Rio Algodonal de los municipios de Ocaña y Abrego las cuales se abastecen de este recurso. Para el caso del municipio de Ocaña, de acuerdo al PBOT (2007), se cuenta con un número de 97.479 habitantes de los cuales el 70% de la población se ve afectada por esta problemática (68235 habitantes) y para el caso de Abrego, según el censo del DANE (2005) es de 34.492 habitantes incluyendo la población rural.

Al margen de la discusión bioética del eco tipos como seres vivos con derechos, la fauna y la flora que integran los ecosistemas del área de influencia directa al proyecto, se mantienen con este recurso. Por tanto, también se ven afectados.

### **2.3. Marco Conceptual**

Para tener un conocimiento más a fondo de lo que se quiere Estudiar, y llegar a entender los conceptos en forma clara, a continuación en forma sucinta, se explican los términos comunes que enmarcan el tema de investigación. Es Indispensable que el lector perciba diferentes puntos de vista sobre una misma noción, para que sea capaz de deducir la dinámica en la evolución de la investigación. Así mismo para que comprendiendo el campo de estudio y la implicación de lo que se quiere lograr, analice sistemáticamente la metodología propuesta para lograrlo. De manera que en un futuro pueda desarrollar ideas que continúen con el proceso de producción de nuevos conocimientos.

#### **2.3.1. Agua.**

El agua es uno de los compuestos más abundantes de la naturaleza ya que cubre aproximadamente tres cuartas partes de la superficie total de la tierra, sin embargo, a pesar de esta aparente abundancia, existen diferentes factores que limitan la cantidad de agua disponible para consumo humano. Cerca del 97% total de agua se encuentra en los océanos y otros cuerpos de agua salina y no se puede utilizar para diversos propósitos. Del 3% restante, casi el dos se

encuentra distribuida en los témpanos de hielos glaciares, en la atmosfera o mezclada con el suelo, por lo que no es accesible

Para poder definir la contaminación del agua, calidad de agua, es necesario conocer primero cuales son los parámetros físico-químicos que la definen para su uso y para los procesos de tratamientos de agua y aguas residuales, lo que resulta de gran importancia para el estudio de ingeniería ambiental.

***Parámetros físicos de la calidad del agua.*** Estos parámetros físicos son aquellos que responden a los sentidos de la vista, del tacto, el gusto, y el olfato, de los cuales podemos mencionar los sólidos suspendidos, turbiedad, color, sabor, olor, y temperatura.

***Parámetros químicos de la calidad del agua.*** Estos parámetros están relacionados con la capacidad del agua para disolver, como lo son, solidos disueltos totales, alcalinidad, dureza, fluoruros, metales, materia orgánica, y nutrientes.

***Parámetros biológicos de la calidad del agua.*** El rango de los organismos acuáticos en tamaño y complejidad va desde el más pequeño microorganismo unicelular hasta el pez de mayor tamaño. Todos estos miembros de la comunidad biológica son en algún sentido parámetros de calidad del agua, dado que su presencia y ausencia pueden indicar la situación en que se encuentra un cuerpo de agua.

Los biólogos a menudo utilizan la diversidad de especies como un parámetro cualitativo en ríos y lagos. Un cuerpo de agua con una gran cantidad de especies en proporción balanceada se puede considerar como un sistema saludable, dada esta situación, con base en nuestro conocimiento de los diferentes contaminantes, ciertos organismos se pueden utilizar como indicadores de la presencia de algún contaminante. (E., 2011)

### **2.3.2. Los problemas de Contaminación del Agua y sus efectos deteriorantes.**

Se entiende por contaminación la presencia de aquellos organismos extraños en una fuente o cuerpo de agua en tal cantidad y con tales características que impiden la utilización para algún propósito determinado, la contaminación puede ser de manera natural o antropogénica; ambas implican una alteración perjudicial de la calidad del agua en relación con los usos posteriores o con su función ecológica (Gallego 2000, p.35).

Enlazando el concepto anterior, la FAO (1993), afirma que las categorías de contaminación que impactan a los recursos hídricos se derivan de fuentes puntuales y no puntuales; y, aunque estas afectan y alteran las características naturales de los recursos hídricos, ocasionalmente se dan por actividades naturales, en su mayoría el mayor de los impactos es de carácter antropogénico (FAO 1993).

Para concluir, Sagardoy (1993), complementa el argumento diciendo que dado que el agua muy rara vez se encuentra en estado puro, la noción de contaminante del agua comprende

cualquier organismo vivo, mineral o compuesto químico cuya concentración impida los usos benéficos del agua.

***Tipos de contaminación.*** Existen dos (2) tipos, tales son: *contaminación puntual* lo cual es aquella que descarga sus aguas en cauce natural, que proviene de una fuente específica, como suele ser un tubo o dique, aquí en este punto el agua puede ser tratada y controlada. Y la otra es la *contaminación difusa*, que es el tipo de contaminación producida en área abierta, sin ninguna fuente específica este tipo de contaminación está relacionada con actividades como agricultura, urbanizaciones, pastoreo y practicas forestales.

A lo que se refiere la contaminación puntual permite eliminar fácilmente esos elementos, si en caso tal se encuentra con los medios para almacenar el agua que es vertida, contaminada y tratada, por lo general en este caso se utilizan tanques de sedimentación donde se depositan los sedimentos en el fondo, y luego se trata con químicos, este sedimento que queda en el fondo se utiliza como abono orgánico y se estabiliza en un lugar seguro, por lo contrario la contaminación difusa es más difícil de controlar debido a su naturaleza intermitente y su mayor cobertura.

**Tabla 3.**

*Problemas de contaminación, sus efectos y variables asociadas con la calidad del agua*

<b>Aparición del Problema</b>	<b>Interferencia</b>	<b>Problemas</b>	<b>Variables</b>
1-Mortalidad de Peces. -Olores ofensivos-H <sub>2</sub> S -Organismos desagradables -Cambio Radical en el ecosistema.	Pesca Recreación Salud ecológica	Oxígeno Disuelto (O.D) bajo	DBO NH <sub>3</sub> , N.org. Sólidos Orgánicos Fitoplancton OD

Aparición del Problema	Interferencia	Problemas	Variables
2-Transmisión de enfermedades. -Trastornos gastrointestinales, -irritación de los ojos	-Abasto de agua -recreación	Niveles altos de Bacterias	Coliformes Totales <i>E.coli</i> Estreptococos Virus
3-Sabor y Olor -Algas Azules-Verdes -Eutrofización -Disturbios en el ecosistema	Abasto de agua -recreación Salud ecológica	Crecimiento excesivo de plantas (eutroficación)	Nitrógeno Fosforo Fitoplancton
4-Carcinógeno en el Agua -Niveles altos de toxicidad -Mortalidad, reproducción impedida -Pesca cerrada.	Abastecimiento de Agua Pesca salud ecológica	Niveles altos de Toxicidad	Metales pesados Sustancias radioactivas Plaguicidas Herbicidas

**Nota.** La tabla indica las variables asociadas con los principales problemas de contaminación del agua. Fuente: Grupo de Investigación con base en información recuperada de Calidad del agua. Evaluación y Diagnóstico. Ramírez C. A., (2011).

### 2.3.3. Criterios de Calidad del agua.

Ramírez C. A., (2011) Afirma:

Se entiende por criterio de calidad del agua una determinada concentración de un parámetro que, si se logra, se espera que se pueda dar al cuerpo del agua un determinado uso Benéfico. Concluyendo, los criterios son aplicables a la calidad del agua de un recurso hídrico y no a los efluentes o descargas de aguas residuales.

La utilización de los criterios de calidad del agua permiten hacer fundamentalmente, dos tipos de estudios: a) El diagnóstico de la calidad actual del agua b) definir los objetivos de calidad de un recurso hídrico. (p.137)

**Diagnóstico de la calidad Actual del agua.** No existe un método estandarizado que permita definir los usos del agua. Es decir, cada caso se puede considerar una situación particular; Sin embargo es común que la primera actividad por realizar es la segmentación de la corriente en tramos. Para tal efecto se aplican criterios como los siguientes.

- ✓ Los segmentos corresponden a tramos de la corriente en los cuales el caudal, la sección, la pendiente y la calidad del agua permanecen aproximadamente constantes.
- ✓ No necesariamente, las distancias deben ser uniformes. Cuando un vertimiento o tributario se considera que puede afectar la calidad del agua de la corriente principal, se debe establecer un nuevo segmento.
- ✓ Puntos de vertimiento, cambios de caudal, cambios de sección, cambios de pendiente, cambios de calidad, etc. ameritan la creación de un nuevo segmento. (Ramírez, 2011, p.140).

El segundo paso de acuerdo a Ramírez (2011), será establecer categorías o convenciones según su uso. Una vez establecidas deberán establecerse los parámetros y las concentraciones que se miden en cada tramo y graficar los resultados. (p.143).

**Objetivos de Calidad.** Es el trabajo posterior una vez se tenga el insumo del diagnóstico de la calidad actual del recurso hídrico. Se refiere a planificar los objetivos de calidad que se desea lograr a un futuro. Es decir, se establece que clase de río se quiere o se desea tener. Un ejemplo práctico será subir de categoría algunos tramos seleccionados y aumentando calidad en algunos segmentos. (Ramírez C. A., 2011, pp- 143-144).

#### **2.3.4. Calidad Del Agua.**

La definición de la calidad del agua es muy compleja dada la cantidad de variables utilizadas para describir el estado de los cuerpos de agua en términos cuantitativos. Ramírez C. A., (2011) propone los siguientes conceptos:

Una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas. También puede ser La Composición y estado de la biota acuática presente en el cuerpo de agua (p.47).

Por otro lado según la ONU la calidad del agua se determina comparando cada una de las características físicas y químicas de una muestra de agua teniendo en cuenta directrices y estándares establecidos, estas normas están basadas normalmente en unos niveles de toxicidad científicamente aceptable tanto para los humanos como para los organismos acuáticos.

La descripción de la calidad del agua puede básicamente realizarse en dos formas. Midiendo variables físicas, químicas, y biológicas, y la otra sería utilizando un índice de calidad de agua. (Alberto S.F). De acuerdo a esto, se puede analizar el agua de acuerdo con su estado.

Para ello, se hace distinción entre agua cruda (Superficial, subterránea y marina, etc.), aguas residuales, y agua tratada o potable.

***Agua Cruda o en Estado natural, sin Tratamiento.*** El término de agua cruda se refiere al agua que se encuentra en el ambiente (lluvia superficial, subterránea, océanos, etc.) que no ha recibido ningún tratamiento ni modificación en su estado natural.

Desde el punto de vista del abastecimiento de una comunidad de una fuente Hídrica, se puede afirmar que la calidad de agua que se encuentre en forma natural dependerá de la posición geográfica, origen (mar, subterránea, superficial) y los hábitos de los pobladores. Las fuentes principales de abastecimiento de agua en nuestro medio son las aguas superficiales y las aguas subterráneas.

Las aguas superficiales están constituidas por quebradas, ríos, lagos, embalses etc. según su origen, los ríos que nacen cerca de las zonas mineras, son por lo general, aguas acidas y los ríos montañosos tienen aguas con temperaturas más + + + + + + + 93 4+P + conclusión, se puede decir que las aguas superficiales presentan condiciones que varían de una cuenca a otra, los ríos tienen características de calidad diferentes a la de los embalses y, además, la calidad de agua de las fuentes superficiales es variable con el tiempo.

En cuanto a las aguas subterráneas, estas presentan condiciones de calidad más uniformes y distintas que las de las fuentes superficiales, generalmente son más claras pero mineralizadas. (Ramírez C. A., 2011, p.48).

*Análisis para la evaluación de la calidad del agua.* Según Sáenz (1999); La realización de un análisis del agua revela la presencia de gases, elementos minerales, elementos orgánicos en solución o suspensión y lo que son los microorganismos patógenos. Los primeros tienen origen natural, los segundos son procedentes de las actividades de producción y de consumo humano.

La evaluación de la calidad del agua, se realiza mediante una serie de análisis en laboratorio que son dirigidos a conocer cualitativa y cuantitativamente las características teniendo en cuenta las condiciones físicas (transparentes, inodora, e insípida), Condiciones químicas (disolver bien el jabón sin formas grumos), Y condiciones biológicas (libre de organismos patógenos). Tales características determinan el tipo y grado de tratamiento que es requerido para un adecuado acondicionamiento. Los análisis de laboratorio, las técnicas y cada procedimiento deben de ser cuidadosamente evaluados y desarrollados.

### ***Parámetros Indicadores de la Calidad Del Agua.***

***Parámetros físicos. Color.*** Terminan la presencia de sustancias orgánicas, iones metálicos como hierro y magnesio, plancton y hierba, pueden ser el resultado de apariencia de color en el agua. Para determinación se pueden definir dos clases de color.

**Color verdadero.** Es el color del agua cuando la turbidez de esta se ha eliminado, para la eliminación de la turbidez es recomendable la centrifugación.

**Color aparente.** Incluye no solo el color de la solución sino el de la materia suspendida; hay métodos que se han establecidos para la determinación del color, el método por comparación visual que es aplicable a todas las muestras de agua potable y el método espectrofotométrico que permite calcular un único valor representativo de la muestra.

**Sabor.** Son sensaciones gustativas de tipo amargo. Salado. Acido o dulce, que resulta de la estimulación química de los sensores situados en la lengua. Las muestras de agua dentro de la boca, para el análisis sensorial de la lengua siempre producen un sabor a través del gusto, olor o sensación en la boca que puede ser predominante dependiendo de las sustancias químicas que se encuentren presentes.

**Olor.** El olor, como el gusto, depende del contacto de una sustancia estimulante de naturaleza química, por ello se puede decir que el olfato y el gusto son sentidos químicos el olor se da conocer como un factor de calidad que afecta a la aceptabilidad del agua potable para consumo humano.

**Turbiedad.** La turbiedad es una expresión de propiedades ópticas que causa la luz al ser dispersada y absorbida, en lugar de la transmitida sin cambios en la dirección o nivel de flujo a

través de la muestra, la turbiedad del agua es producida por materias en suspensión, como arcillas o materia orgánicas e inorgánicas.

**Conductividad.** Es una medida de la capacidad de transportar una corriente eléctrica en una disolución acuosa, varía en el tipo y la cantidad de iones que contenga, y depende de la temperatura. El agua pura prácticamente no conduce la electricidad; por lo tanto la conductividad que podamos medir será consecuencia de las impurezas presentes en el agua. Es por lo tanto un parámetro físico bastante bueno para medir la calidad de un agua, pero deben darse tres condiciones fundamentales para que sea representativa.

- ✓ No se trate de contaminación orgánica por sustancias no ionizables.
- ✓ Las mediciones se realicen a la misma temperatura.
- ✓ La composición del agua se mantenga relativamente constante.

**Temperatura.** Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, ya que incluye en el retardo o aceleración de alguna actividad biológica, en la precipitación de compuestos, en la desinfección, floculación, sedimentación y filtración.

**Parámetros químicos. pH.** La medida del pH es una de las más importantes y frecuentes pruebas usadas en el agua, el pH es utilizado en medidas de alcalinidad, dióxido de carbono y muchos otros equilibrios ácido-base. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 6 y 8.

**Alcalinidad.** La alcalinidad es una medida de neutralizar ácidos. Contribuyen, principalmente, a la alcalinidad de una solución acuosa los iones bicarbonato ( $\text{CO}_3\text{H}^-$ ), carbonato ( $\text{CO}_3^{=}$ ), y oxidrilo ( $\text{OH}^-$ ), pero también los fosfatos, ácido silícico u otros ácidos de carácter débil. Su presencia en el agua puede producir  $\text{CO}_2$  en el vapor de calderas que es muy corrosivo y también puede producir espumas, arrastre de sólidos con el vapor de calderas, etc.

**Sólidos disueltos.** Los sólidos disueltos o salinidad total, es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua. Para las aguas potables se fija un valor máximo deseable de 500 ppm, este dato por sí sólo no es suficiente para catalogar la bondad del agua.

**Sólidos en suspensión.** Se suelen separar por filtración y decantación. Son sólidos sedimentables, no disueltos, que pueden ser retenidos por filtración. Las aguas subterráneas suelen tener menos de 1 ppm, las superficiales pueden tener mucho más dependiendo del origen y forma de captación.

**Cloruros.** El ion cloruro es uno de los iones inorgánicos que más se encuentra en mayor cantidad en aguas. En agua potable, el sabor salado producido por la concentración de cloruros es variable. Las aguas dulces contienen entre 10 y 250 ppm de cloruros, pero también se encuentran valores muy superiores fácilmente.

**Sulfatos.** El ion sulfato ( $\text{SO}_4^{=}$ ), corresponde a sales de moderadamente solubles a muy solubles. Las aguas dulces contienen entre 2 y 250 ppm y el agua de mar alrededor de 3.000

ppm. El agua pura se satura de  $\text{SO}_4\text{Ca}$  a unas 1.500 ppm, lo que ocurre es que la presencia de otras sales de calcio aumenta la solubilidad. En cantidades bajas no perjudica seriamente al agua pero algunos centenares de ppm pueden perjudicar seriamente la resistencia del hormigón.

**Nitritos.** El nitrito aparece como un estado intermedio de la oxidación de descomposición biológica de compuestos que contiene nitrógeno orgánico. El nitrito es producido por la oxidación de nitrógeno, mientras el nitrato se produce por medio de oxidación de  $(\text{NH}_3)$ . La presencia de nitrito afecta la potabilidad del agua, debido a que su presencia indica una contaminación y existencia de microorganismos patógenos.

**Fosfatos.** El ion fosfato ( $\text{PO}_4\text{-3}$ ) en general forma sales muy poco solubles y precipita fácilmente como fosfato cálcico. Como procede de un ácido débil contribuye, como ya hemos visto, a la alcalinidad del agua. No suele haber en el agua más de 1 ppm, salvo en los casos de contaminación por fertilizantes.

**Sodio.** El ion sodio, es el primero de los componentes catiónicos que vamos tratar corresponde a sales de solubilidad muy elevada y muy difíciles de precipitar; suele estar asociado con el ion cloruro. El contenido en aguas dulces está entre 1 y 150 ppm, pero se pueden encontrar casos de hasta varios miles de ppm.

**Magnesio.** El ion magnesio, tiene propiedades muy similares a las del ion calcio, aunque sus sales son un poco más solubles y difíciles de precipitar. El hidróxido de magnesio es, sin

embargo, menos soluble. Las aguas dulces suelen contener entre 1 y 100 ppm. El agua de mar contiene alrededor de 1.300 ppm. Su aparición en el agua potable con varios centenares de ppm provoca un sabor amargo y efectos laxantes.

**Hierro.** En muestras de agua el hierro puede estar en forma de solución auténtica, en estado coloidal, o en partículas suspendidas relativamente gruesas. El hierro total es aquel que está presente tanto en suspensión como en solución en una muestra de agua.

***Demanda biológica de oxígeno (DBO).*** Mide la cantidad de oxígeno consumido en la eliminación de la materia orgánica del agua mediante procesos biológicos aerobios, se suele referir al consumo en 5 días (DBO5), también suele emplearse, pero menos el (DBO21) de 21 días. Se mide en ppm de O<sub>2</sub> que se consume. Las aguas subterráneas suelen contener menos de 1 ppm, un contenido superior es sinónimo de contaminación por infiltración freática. En las aguas superficiales es muy variable y dependerá de las fuentes contaminantes aguas arriba.

***Demanda química de oxígeno (DQO).*** Mide la capacidad de consumo de un oxidante químico, Dicromato, permanganato, por el total de materias oxidables orgánicas e inorgánicas. Es un parámetro más rápido que el anterior ya que es de medición casi inmediata, la unidad de medida son ppm de O<sub>2</sub>, las aguas no contaminadas tienen valores de DQO de 1 a 5 ppm.

Hay un índice que nos indicara el tipo de vertido, aguas arriba que tenemos, en el agua que estamos analizando y es la relación de (DQO-DBO) si es menor de 0.2 el vertido será de tipo inorgánico y si es mayor de 0.6 tenemos un vertido orgánico.

**Carbono orgánico total.** El COT es una medida del contenido de materia orgánica del agua. Es especialmente utilizable en pequeñas concentraciones. En presencia de un catalizador, el carbón orgánico se oxida a CO<sub>2</sub>; últimamente se está popularizando por la rapidez en la realización del análisis. (Onofre, 2012)

**Parámetros Bacteriológicos, Coliformes Totales.** La presencia de coliformes totales indica que el cuerpo de agua ha sido o está contaminado con materia orgánica de origen fecal, ya sea por humanos o por animales.

**Coliformes Fecales.** Es un indicador indirecto del riesgo potencial de contaminación con bacterias de tipo *Escherichia coli* o un virus de carácter patógeno, ya que las coliformes fecales siempre están presentes en las heces humanas y las de los animales.

### **2.3.5. Indicadores ecológicos de Calidad del Agua o Bio-indicador Ambiental.**

Este concepto está relacionado con la detección de cambios en un estado ambiental específico por un grupo de Organismos que al menos una de sus etapas de ciclo de vida está de continuo en el agua. Por tanto, son sensibles a los parámetros ambientales, relativamente

observables y cuantificables, de comportamiento predictivo. Tales características les permiten acumular información valiosa de los cambios que suceden en el caudal ambiental de río con el paso del tiempo.

El concepto de bioindicador aplicado a la evaluación de calidad de agua es definido por Johnson *et al.* (1993), como una especie o una población o comunidad indicadora, que tienen requerimientos específicos con relación a un conjunto de variables físicas o químicas conocidas, cuyos cambios en la presencia o ausencia, número de individuos o morfología, fisiología o comportamiento de esta taxa, indican que las variables fisicoquímicas dadas están fuera de sus límites preferidos. (Cantera Kindz, Carvajal E, y Castro H, 2009 p. 176).

El Indicador ideal es aquel que tiene tolerancias ambientales estrechas y de manera antagónica, aquellos organismos y poblaciones que tienen amplias tolerancias para diferentes condiciones ambientales y cuyos patrones de distribución o abundancias se afectan poco por variaciones del habitat, se consideran pobres indicadores de calidad ambiental.

***Aplicación de la Bioindicación de la Calidad del Agua.*** La principal aplicación de la bioindicación está relacionada con la evaluación del impacto de la contaminación. Especialmente, la referida al enriquecimiento de la carga orgánica residual y su consecuente déficit de oxígeno en corrientes superficiales de agua. Además de esto, existen factores ambientales, como las alteraciones del régimen hidrológico, cuyo impacto también pueden ser medidos con base en bioindicadores. 3 4El principio se basa en que los factores de perturbación ambiental contribuyen a crear traumas y transformaciones de naturaleza física, química y biológica en los ambientes acuáticos ecológicamente balanceados. En consecuencia,



hasta el nivel de especie y los patrones de distribución junto a su información auto ecológica están bien definidas. No es el caso para los países de clima tropical, incluida Colombia, donde este conocimiento es incipiente y en cuanto a la taxonomía la mayoría de los casos se alcanza el nivel de familia y el nivel genérico; solo en casos excepcionales, el específico. (Cantera Kindz, et al., 2009 p.178).

***Los Macroinvertebrados como Bioindicadores de Calidad del Agua.*** El grupo de macroinvertebrados acuáticos está constituido principalmente por formas bentónicas que se pueden observar a simple vista. De acuerdo a Roldán (2003) Pertenecen a los siguientes taxa: Insecta, mollusca, oligochaeta, hirudinae y crustáceaprincipalmente. Algunas desarrollan toda su vida en el medio acuático (oligochaeta y mollusca). otros, por el contrario, tienen una fase de su ciclo aéreo. (Gómez Duque, 2013, p. 45)

La mayor parte de los investigadores consideran los macroinvertebrados acuáticos como los mejores indicadores ecológicos de la calidad del agua. Rosenberg & Resh (1993), resume las mas importantes ventajas con relación al uso de esta comunidad. Entre las que se citan:

***Ventajas.***

- ✓ presencia en prácticamente todos los ecosistemas acuáticos continentales, lo cual posibilita realizar estudios comparativos

- ✓ su naturaleza sedentaria, la que permite un análisis espacial de los efectos de las perturbaciones en el ambiente.
- ✓ Los muestreos cuantitativos y análisis de las muestras pueden ser realizados con equipos simples y de bajo costo.
- ✓ la disponibilidad de métodos e índices para el análisis de datos, los que han sido validados en diferentes ríos del mundo. (Figueroa, Valdovinos, y Oscar, 2003 p.275).

**Bacterias.** En las aguas destinadas al consumo doméstico, uno de los factores más importantes a tener en cuenta es su estado sanitario, reflejado en los organismos que contiene. En este caso es necesario utilizar índices bacteriológicos que consideran la proporción de organismos indicadores de contaminación fecal presentes en las aguas a través de conteos directo de las poblaciones de coliformes (especialmente *Escherichia coli*) y de estreptococos, y a veces también de otras especies de virus, sulfabacterias, ferrobacterias.

Uno de los mayores problemas empleando índices bacteriológicos es el tiempo que necesitan para obtener resultados, puede tardar varios días y hasta una semana o más antes de obtener los grupos de organismos buscados, asimismo los resultados son difíciles de interpretar.<sup>3</sup> 4 Similar problema existe cuando se emplean conteos directos del número de células bacterianas ya que es difícil y solo posible con técnicas avanzadas y costosas para distinguir entre células bacterianas viables o inviables o partículas del mismo tamaño. (Arce Omar, 2006 p. 6).

### 2.3.6. Índices Biológicos de Calidad del Agua.

Los Índices Biológicos informan de la situación tanto momentánea como de lo acontecido algún tiempo antes de la toma de muestras; es decir, utilizando bioindicadores permiten tener información del presente y pasado de lo que está sucediendo en las aguas. (Alba-Tercedor y Sánchez, 1988).

Los índices Bióticos son altamente especializados para un tipo particular de contaminación para determinado grupo taxonómico y para diferentes ecorregiones. De acuerdo a Washington (1984) y De la Lanza (2000), la mayoría del enfoque de los índices bióticos se orienta a evaluar la calidad del agua con base a la diversidad biológica que se presenta en el sitio. (..) Algunos de los índices que se emplean exclusivamente para la evaluación de la calidad del agua son:

- ✓ Índice Sapróbico (1901)
- ✓ Índice Biótico de Beck (1954)
- ✓ Índice secuencia de Comparación (1971)
- ✓ Índice Estadístico de Pielou (1975)
- ✓ Índice de Hilsenhoff (1977)
- ✓ Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) (1978)
- ✓ Índice de Macroinvertebrados Bénticos (1988)

Todos los Anteriores permiten realizar diagnósticos rápidos y económicos de calidad de agua. (Vazquez S, Castro M, IGonzales M, Perez R, y Castro B, 2006 pp 45-46).

***Indices BMWP (Biological Monitoring Working Party). Y ASPT (Average Store per Taxon).*** El Biological Monitoring Working Party (BMWP) fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando los Macroinvertebrados como bioindicadores (Roldán 2003). Este método es de fácil utilización ya que la Identificación de los Macroinvertebrados a nivel de familia no requiere de mucho esfuerzo taxonómico, de dinero y de tiempo y por el contrario, es mucha la información que se obtiene sobre la calidad biológica del agua.

La inclusión de la aplicación del BMWP soluciona en parte este problema, ya que los macroinvertebrados, al habitar permanentemente en el sistema acuático, reflejan las condiciones del medio incluyendo el efecto de las sustancias mencionadas. El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica. Las familias más sensibles como Perlidae y Oligoneuriidae reciben un puntaje de 10; en cambio, las más tolerantes a la contaminación, por ejemplo, Tubificidae, reciben una puntuación de 1. La suma de todos los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP.

El puntaje promedio por taxón conocido como ASPT (Average Store per Taxón) esto es, el puntaje total para la evaluación del sitio. Los valores ASPT van de 0 a 10; un valor bajo de ASPT asociado a un puntaje bajo de BMWP indicará condiciones graves de contaminación, los

valores de puntaje para las familias individuales reflejan su tolerancia a la contaminación con base en el conocimiento de la distribución y la abundancia. (MONTROYA M. Yimmy, 2011).

### **2.3.7. Índices de contaminación del agua (ICO's).**

Según Samboni, Carvajal y Reyes, este indicador fue desarrollado a partir de estudios fisicoquímicos, microbiológicos y limnológicos realizados en la industria petrolera para condiciones de ríos de Colombia. Utiliza las variables de DBO5, coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno: las dos primeras reflejan fuentes diversas de contaminación orgánica y la tercera expresa la respuesta ambiental del cuerpo a este tipo de polución. Ramírez, Restrepo, y Viña desarrollaban cuatro indicadores de contaminación para la caracterización de aguas continentales argumentando que algunas de las variables incluidas en el Ica no deberían ser tenidas en cuenta; es el caso de la temperatura, ya que puede variar naturalmente con la altitud, Ramírez et al. Establecen que el procedimiento seguido en la formulación de los ico fue similar al empleado en el desarrollo de los ICA:

- ✓ Selección de variables físicas y químicas.
- ✓ Asignación de valores de calidad (0-1) a diferentes concentraciones de las variables o establecimiento de una relación (ecuación) entre índice-variable teniendo en cuenta parámetros definidos por varios autores sobre el uso del agua.

Como resultado de estos análisis, se obtuvo el Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI), el Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO), el Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS) y el Índice de Contaminación Tráfico (ICOTRO). (Castro, Almeida, Ferrer, & Diaz, 2014)

**Tabla 4.**

*Parámetros evaluados por los índices de contaminación de Ramírez y Viña (1997)*

PARÁMETROS EVALUADOS	ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN
Conductividad, Dureza, Alcalinidad	ICOMI
DBO <sub>5</sub> , Col. Totales, % saturación Oxígeno	ICOMO
Temperaturas del Agua y del Vertimiento	ICOTemp
Unidades de pH	ICOpH
Sólidos Suspendidos	ICOSUS

**Nota:** Estos son uno de los parámetros usados para el cálculo de índices de contaminación.

**Fuente.** Grupo de Investigación con base en información adaptada de Rodriguez B. y Fontecha A., (2011)

### 2.3.8. Software ICATEST V1.0.

A partir de cómo identificar cada uno de estos índices de contaminación, existe un software que permite calcular de una manera más precisa los datos que se quieren obtener. ICATEST V1.0 fue programado en Microsoft Visual Basic 6.0, a partir de una metodología de desarrollo orientada a componentes. Cada uno de los índices fue programado y perfeccionado por separado, en consideración a la escasa homogeneidad en lo que a sus diferentes formas de cálculo y tipo de

información disponible se refiere. Los componentes fueron posteriormente ensamblados en un solo paquete de software capaz de utilizar éstas rutinas de diferente manera, como el cálculo separado de los índices o la ejecución de cálculos comparativos. A parte también permite al usuario seleccionar entre un conjunto de índices organizados por países, según su origen, lo que hará más fácil, obtener un resultado con mayor confiabilidad.

Al ingresar los parámetros determinados en el laboratorio de análisis, en forma directa se puede obtener la representación gráfica en cada índice, lo que permite observar el comportamiento comparativo de los valores de calidad, ICATEST permite guardar los datos respectivos a la muestra y cada una de las variables ingresadas en cada sesión en formato Excel, en un reporte o en un historial discriminado por índice, al igual se pueden elegir la cantidad de estaciones y de muestreos para analizar el comportamiento espacio -temporal de la calidad de agua respecto de cada formulación.

Una vez mostrado el cálculo por estación y muestreo, el usuario puede realizar multiplicidad de graficas respecto de cada índice por estación o por muestreo, de tal manera que puede visualizar de forma comparativa el comportamiento de la calidad del agua según las necesidades del usuario, ICATEST V. 1.0 contiene las formulaciones colombianas desarrolladas a partir estudios de monitoreo en la industria del petróleo desarrolladas por Ramírez ( 1997-1999), como son Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI), Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO), Índice de Contaminación por Temperatura (ICOTEMP), Índice de Contaminación por pH (ICOPH), Índice de Contaminación por Sólidos

Suspendidos, (ICOSUS), Índice de Contaminación Biológico (ICOBIO), Índice de Contaminación por Toxicidad (ICOTOX). (Fernandez, Ramos, y Solano, *(s,f)*).

### **2.3.9. INDICE BMWP (biological monitoring working Party). Y ASPT (Average Store per Taxon).**

El Biological Monitoring Working Party (BMWP) fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando los Macroinvertebrados como bioindicadores (Roldán 2003). Este método es de fácil utilización ya que la Identificación de los Macroinvertebrados a nivel de familia no requiere de mucho esfuerzo taxonómico, de dinero y de tiempo y por el contrario, es mucha la información que se obtiene sobre la calidad biológica del agua. Los aspectos biológicos han adquirido una creciente importancia en el estudio de los sistemas acuáticos, debido a que las variables fisicoquímicas no determinan con precisión la calidad de las aguas y sólo dan una idea puntual sobre ella. La utilización de las comunidades de bioindicadores permite emplearlas como testigos biológicos del nivel de deterioro ambiental de las corrientes superficiales y evidenciar las condiciones y los cambios ecológicos.

La inclusión de la aplicación del BMWP soluciona en parte este problema, ya que los macro invertebrados, al habitar permanentemente en el sistema acuático, reflejan las condiciones del medio incluyendo el efecto de las sustancias mencionadas. El puntaje va de 1 a10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica. Las familias más

sensibles como Perlidae y Oligoneuriidae reciben un puntaje de 10; en cambio, las más tolerantes a la contaminación, por ejemplo, Tubificidae, reciben una puntuación de 1. La suma de todos los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP.

El puntaje promedio por taxón conocido como ASPT (Average Score per Taxón) esto es, el puntaje total para la evaluación del sitio. Los valores ASPT van de 0 a 10; un valor bajo de ASPT asociado a un puntaje bajo de BMWP indicará condiciones graves de contaminación, los valores de puntaje para las familias individuales reflejan su tolerancia a la contaminación con base en el conocimiento de la distribución y la abundancia. (MONTROYA M. Yimmy, 2011).

#### **2.4. Marco Teórico**

En este Apartado, se abordan aspectos teóricos que proporcionarán al lector una visión amplia del contexto o panorama en la cual se ubica el tema de la evaluación y valoración de la calidad del agua, Objeto de investigación. Cabe anotar, que por la extensión de la información disponible de consulta frente a los límites espaciales del documento, solo se traerá a citación, información relevante a juicio de los investigadores, que contribuyan a la resolución de los objetivos planteados. Es decir, que sustenten teóricamente la metodología e Hipótesis propuesta para la ejecución de la investigación. Esto implica, investigaciones, ideas de vanguardia, descubrimientos recientes en el campo, Tecnologías aplicadas, perspectivas o enfoques válidos para el encuadre del plan estratégico propuesto. A continuación se desarrollan en una secuencia

lógica las ideas, deseando que el lector, motivado a la lectura, amplíe en forma independiente, flecos del tópico estudiado.

#### **2.4.1. Aspectos Generales de la Calidad del Agua**

Aunque el (70%) del planeta está formado por agua, podría afirmarse que es tanto un bien escaso como mal distribuido. El (97%) del agua es salada y Sólo el tres (3) % del agua es dulce. De allí, el dos (2%) es agua congelada en los glaciares del polo norte y el polo sur, y el uno (1%) es agua líquida. Corresponde a los lagos, ríos y lo que está a poca profundidad del suelo. Del uno (1%) nombrado, el (70%) es agua subterránea y el (30%) es agua superficial disponible para el consumo Humano. La renovación es posible a partir de las lluvias y las nevadas. A esta situación de distribución, hay que agregar que mientras algunas regiones del planeta fueron favorecidas con abundante agua, otras carecen de ella casi en su totalidad, lo que hace que sea un bien hidrobiológico escaso para casi la mitad de la humanidad; y de acuerdo al informe sobre disponibilidad y calidad del agua publicado por la Defensoría del Pueblo, (2007),p. 6. El agua será un recurso aún mas escaso porque el crecimiento de la población, va de la mano con el aumento del consumo de agua, el factor agravante en todos los casos, será siempre y cuando, se relacione en el mismo plano mayor población con mayo contaminación y menor calidad y mayor incidencias de enfermedades. Las diferencias entre los distintos continentes se hará mas evidentes y se reflejarán en el desarrollo de las poblaciones y en la calidad del vida.

El agua representa un recurso tan valioso que ya se conoce como el oro Azul. Su importancia y los intereses que se mueven a su alrededor, se equiparan con los que generó el petróleo en el siglo pasado, o la fiebre del oro en el siglo XIX. (CARMELO, 2015 P. 5). Es así que la supervivencia de las personas en todo el mundo está condicionada no solo a la preservación del recurso Hídrico, sino también a su disponibilidad, accesibilidad y calidad.

*Situación de la calidad del agua En Colombia.* La demanda de agua Crece exponencialmente. Sin embargo, la oferta y la calidad cada vez es menor, razón por la cual urge la implementación de acciones que permitan mantener un suministro permanente de agua de buena Calidad para toda la Población y para preservar las funciones de los ecosistemas. (Contraloría General de la República, 2007-2008)

Según el Libro blanco del agua en España, publicado por el Ministerio de ambiente, Medio rural y marino de España (2000), la calidad natural de las aguas es una variable descriptora fundamental del medio hídrico, tanto desde el punto de vista de su caracterización ambiental, como desde la perspectiva de la planificación y gestión Hidrológica, ya que delimita la aptitud del agua para mantener los ecosistemas y atender las diferentes demandas.

En este sentido, RAMÍREZ, (2011), argumenta que la calidad de un ambiente acuático se puede definir como una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas; y la composición o estado de la biota acuática presente en el cuerpo de agua. La calidad presenta variaciones espaciales y temporales debido a factores

externos e internos al cuerpo de agua. Para establecer los Parámetros que permiten clasificar el agua según su calidad, es necesario definir el uso predominante que se la dará a ella.

En la lista de las principales causas del deterioro de la calidad del agua publicada en la CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA, (2007-2008), están asociados:

- ✓ El deterioro de Cuencas como consecuencia de la deforestación.
- ✓ La contaminación de las fuentes por vertimientos de residuos líquidos y sólidos, ARD (Aguas residuales domésticas) ARI (agua residuales Industriales), lixiviados y basuras.
- ✓ El desconocimiento de información del recurso Hídrico que considere elementos como la capacidad de asimilación del cuerpo receptor y el efecto nocivo de los vertimientos.
- ✓ Los fenómenos de Urbanización sobre zonas de ronda de las fuentes Hídricas
- ✓ La desecación de los humedales
- ✓ La poca cultura ciudadana frente a la protección del recurso Hídrico.
- ✓ El uso ineficiente del agua potable, evidenciado por altos niveles de pérdidas de agua (acueducto, riego o industria).

Del panorama anterior, se hace necesario introducir el tema de la contaminación como factor de tipo mayor<sup>1</sup> que disminuye la calidad del agua. A este concepto Ramírez, (2011), p. 47. Se refiere como la introducción por el hombre directa o indirectamente de sustancias o energía lo

---

<sup>1</sup> Ampliación del concepto de contaminación del agua en marco conceptual

cual resulta en problemas como: Daños en los organismos vivos, efectos sobre la salud de los humanos, impedimentos de actividades acuáticas e interferencia sobre las actividades económicas, como el riego, el abastecimiento de agua para la industria etc.

Uno de los mayores contaminantes de las fuentes Hídricas naturales lo constituyen las aguas residuales de los sectores urbanos. Según el análisis hecho por la superintendencia de servicios públicos domiciliarios (2006), los sistemas de tratamiento con que cuentan las empresas prestadoras del servicio público de alcantarillado en las grandes ciudades (Bogotá, Medellín Cali), permiten tratar solo el 32% de las aguas residuales que se vierten en los cuerpos Hídricos.

Aún más preocupante, resulta el hecho de que ciudades como Barranquilla, Bucaramanga e Ibagué, tengan porcentaje de tratamiento de 17%, 26% y 11% respectivamente, en tanto que ciudades como Cartagena, Cúcuta, Pereira, Manizales, Neiva, Pasto, Valledupar, Popayán, Palmira, Florencia, Sincelejo, Buenaventura, Piedecuesta, Tuluá, Armenia, Tunja, Rio Negro, Cartago, Sogamoso y Girardot, no realicen ningún tipo de tratamiento de las aguas residuales, conforme al estudio de 2006. (Superintendencia de Servicios Públicos y Domiciliarios, como se citó en Contraloría General de la República, 2007-2008, p. 180).

Como resultado del deterioro de la calidad del agua y de las cuencas abastecedoras, la baja cobertura, capacidad y mantenimiento de las plantas de tratamiento de agua, así como la falta de control, seguimiento y monitoreo e la calidad de agua, hay 17'736.687 Colombianos que no

recibieron agua apta para consumo Humano durante el primer trimestre de 2007. (Defensoría del Pueblo, 2007).

***Calidad del Recurso Hídrico Superficial Colombiano.*** La metodología de evaluación de la calidad del agua en fuentes superficiales del ENA (estudio nacional del agua) publicados en forma conjunta por el Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales-IDEAM, Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible- MADS-, (2015) incluyen el análisis de las variables: DBO<sub>5</sub> (Materia Orgánica Biodegradable en un periodo de evaluación de 5 días), y Materia Orgánica No biodegradable (DBO-DQO), SST (Sólidos Suspendidos Totales), Nutrientes (NT,PT); Sustancias Peligrosas (Uso del mercurios derivado del beneficio del Oro y la Plata, el Uso de Agroquímicos en etapas de cultivos y la cantidad de químicos Usados en la transformación de Coca). Sin embargo, Para EL ENA (2015), se incluyó una variable adicional, con respecto al ENA (2010). A saber, la Relación NT/PT (Nitrógeno Total Fósforo Total); esta variable da cuenta de los estados de balance de nutrientes en lo ecosistemas para el buen desarrollo de los organismos vivos que pueden ser afectados por cargas provenientes de la agricultura y los vertimiento de aguas servidas.

***Resultados del ICA de acuerdo al Monitoreo de 2013 Publicados por el ENA 2015.*** De acuerdo con los datos resultados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales & el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, (2015) a manera general se obtuvieron los siguientes comportamientos.

En el alto magdalena el valor mínimo del ICA de los muestreos puntuales del año de referencia, se han visto altamente influenciado por el *descriptor malo* debido a valores altos de SST y conductividad eléctrica de la corriente Bogotá a la altura de los municipios de Si bate y Girardot.

La baja condición de Calidad superficial (*ICA mínimo*) en el medio magdalena, refleja su aceptación por valores altos en la DQO y los SST debido a la actividad económica asentada, principalmente en los departamentos de Boyacá y Santander en la corriente chica mocha a su paso por los municipios de Covarachia y Nobsa, Lebrija en los municipios de Girón y Sabana de Torres, Minero en el municipio de San pablo de Borbur, Opon a la altura del Municipio de Barrancabermeja, Sogamoso, en el Municipio de Puerto Wilches, Alicante en el municipio de Yondo en Punte Nacional y Cararé en Puerto Parra.

En el bajo magdalena las corrientes San Jorge, Cauca, Magdalena, Magdalena (Mompox) a la altura de los municipios de Monte-Líbano, San Jacinto, Regidos, Córdoba, Santa Ana, el Banco y el Plato, Muestra una afectación en su estado debido a la ganadería, vertimientos municipales y minería de oro.

P + +      +N      + +      + +N+      + +      + + +      + +

Popayán, Yumbo y la victoria (Valle), en la corriente Chinchiná (municipio de Palestina, Caldas); la corriente de calo (Cali) y la corriente de Guacha en Palmira valle.

En el Oriente colombiano, la afectación de evidencia principalmente en las corrientes meta (puerto López), Casanare (Cravo Norte, Cusiana) Ariari (Puerto Rico, Meta), Guejar (vista Hermosa), Ocoa (Villavicencio), Guayuriba (Villavienio). El *Descriptor malo*, obedece a vertimientos municipales y ganaderos, en Puerto López, Pajarito, Maní y Cravo Norte; Las corrientes mencionadas pertenecen a las cinco (5) Zonas Hidrográficas: Río Metica, Ríos Guayuriba y Yucao, Ríos Pauto, Río Casanare.

#### **2.4.2. Uso de Plaguicidas en 20 departamentos de Colombia.**

De acuerdo a Ongley (2005), Los plaguicidas pueden llegar a los cuerpos de agua por escurrimientos de residuos agrícolas, infiltración y erosión de los suelos en los lugares donde se han aplicado. También, pueden movilizarse Así en virtud de la cinética del viento como por las escorrentías agrícolas durante el riego o las lluvias. De esta manera, se transportan hacia cuerpos de agua, tanto superficiales como por infiltración los acuíferos hasta contaminar agua y sedimentos (Hernández-Antonio y Hansen, 2011).

De acuerdo a Van Dyk et al, (2011) se conocen tres (3) de los principales grupos de plaguicidas que están asociados con efectos sobre la salud: los Órgano-clorados, los organofosforados y los Carbamatos. Debido a toxicidad intrínseca, más no a su selectividad, los plaguicidas pueden poner en riesgo a cualquier organismo vivo. (Como se citó en IDEAM y MADS, 2015)

A nivel Mundial Se han realizado estudios para evaluar la contaminación por plaguicidas en aguas superficiales. Goolsby y Pererira, (1995), estudiaron los pesticidas agrícolas presentes en el río Mississippi encontrando en su mayoría Antracinas y Benzoatos; Dana W. Kolpin, (2002) estudiaron contaminantes orgánicos de las aguas residuales en U.S Streams. Ambos concluyeron que aunque los efectos sobre la agricultura de sar plaguicidas son ventajosos, su liberación en el medio ambiente trae graves consecuencias ambientales debido a que pueden contaminar los suelos, agua, sedimentos aire.

Por otra parte, LeBaron, McFarland, & Burnside, (2008), estudiaron los herbicidas de trizina en los (50) años de revolución agrícola de los estados Unidos, su forma de dispersión en el agua y sus incidencias sobre la salud humana. Así mismo, Gilliom (2007), estudio las consecuencias potenciales en la salud humana provocadas por las presencia de contaminantes Orgánicos sintéticos en las fuentes de agua para consumo Humano. Los anteriores estudios Detectaron una lista de lesiones agudas y crónicas en la salud Humana.

En colombia son relativamente escasos los estudios dirigidos a evaluar la afectación en los cuerpos de aguas superficiales por el uso de plaguicidas organoclorados y organofosforados en las zonas agrícolas de Colombia. NIVIA (2004), rastrea el origen de la industria de plaguicidas en 1962, inició con el proceso de formulación y posteriormente la síntesis de algunos ingredientes activos. 30 años después, las formulaciones de plaguicidas registradas en el ICA (instituto Colombiano Agropecuario), Prácticamente se duplicaron, pasando de 770 Productos en 1974 (formulados con base en 186 Ingredientes activos) a 1370 en el 2003, formulados con

base en 400 ingredientes activos. De estos, 28 ingredientes activos (123 formulaciones comerciales) pertenecen a las categorías de Ia e Ib.<sup>2</sup> En la clasificación de la OMS, (2015) para los plaguicidas con Importante toxicidad aguda y se encuentran entre los agro tóxicos más utilizados en Colombia y América Latina. (IDEAM y MADS p. 271).

## **2.5. Marco Legal**

En este apartado, se dará a conocer el esquema del marco jurídico internacional, así como los aspectos generales de normatividad colombiano que desarrollan, regulan la evaluación y monitoreo de la calidad del recurso Hídrico en fuentes superficiales y subterráneas.

En términos generales, la gestión integral del recurso Hídrico Superficial y Subterráneo implica considerar sus aspectos relacionados con su conservación, recuperación, uso eficiente, demanda y amenazas, requiriendo la coordinación de actividades dentro de una visión holística, que vincule el desarrollo económico y social con la protección de ecosistemas naturales, ecosistemas naturales. Es por tanto, que el marco regulatorio deberá, en la medida de lo posible abarcar estos temas. (Contraloría General de la República, 2007-2008)

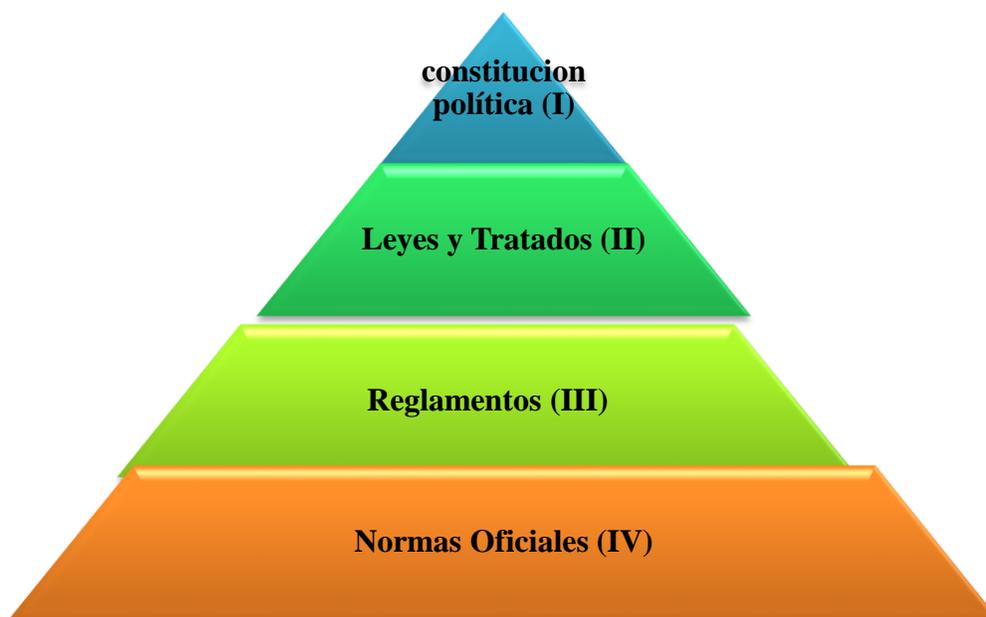
---

<sup>2</sup> En la clasificación de la OMS para los plaguicidas con importante toxicidad aguda Ia: se identifica con una banda de Color rojo, Discriminado como Producto Sumamente Peligroso, Con clasificación de Peligro muy Toxico. Ib: Se identifica con banda de Color Rojo, Discriminado como producto muy Peligroso. La clasificación del peligro: Tóxico.

De acuerdo a Gonzales (2004), Abogado especialista en derecho público, Colombia es hoy la cuarta nación más rica en recurso hídrico en la Tierra después de Canadá, Rusia y Brasil. Sin embargo la nuestra no escapa a las angustias de su población por garantizar más y mayores fuentes de agua consumible. Por ello la necesidad de conocer, aplicar con mayor rigor y seriedad y revisar la normatividad vigente aplicable frente a las necesidades de acceder al agua. Y hoy es más urgente hacerlo, pues además de las tradicionales causas de deterioro del recurso hídrico, tales como la tala indiscriminada de bosques especialmente en áreas de nacederos, la colonización desordenada muchas veces propiciada por el deseo de expandir la frontera agrícola o para cultivos ilícitos, la urbanización causada por fenómenos de desplazamiento por violencia o fenómenos culturales, el aumento de vertimientos sin control o tratamiento, el aumento de residuos sólidos, entre otros, ahora se avecina una nueva era de explosión demográfica que algunos predicen acabará con el mundo civilizado poco después del año 2100

En ocasiones, la inclusión de nuevos artículos en la ley correspondiente y la aparición de nuevas normas, obedece a situaciones de tipo social, político y en ocasiones a los avances tecnológicos. En América Latina, la legislación en materia de protección ambiental obedece a la jerarquía jurídica que se maneja en la pirámide de Kelsen. En este sentido, la protección ambiental distribuida en la pirámide de Kelsen inicia con la constitución política de Colombia, de sus artículos, se derivan las leyes específicas; en este mismo nivel se encuentran los tratados internacionales que el país firme con algún organismo internacional, como las naciones Unidas. De las leyes se derivan los reglamentos, que tratan de manera más específica algunos temas como la protección ambiental. En la parte final de la pirámide, se encuentran las Normas

oficiales de Colombia, que de manera puntual dan cumplimiento a situaciones particulares de alguna disciplina específica, dentro del contexto temático de calidad del agua, (Javier Arellano Diaz., 2011). En la *Figura 3*. Se muestra el orden gravativo de las leyes.



**Figura 3. Pirámide de Kelsen**  
**Fuente:** Grupo de Investigación

### **2.5.1. Normatividad Internacional.**

- ✓ Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio climático (*aprobada por ley 24295*).
  
- ✓ Convención de las Naciones Unidas sobre la protección del patrimonio Mundial, Cultural y Natural (*Aprobada por ley 21836*)
  
- ✓ Acuerdo Marco sobre medio ambiente del MERCOSUR (*Aprobado por ley 25841*)
  
- ✓ Convención de las Naciones Unidas sobre Diversidad Biológica (*Aprobada por ley 24375*)

### **2.5.2. Marco Normativo Medioambiental de Colombia.**

Tal como dice (Javier Arellano Diaz, (2011), p.170. La constitución Política de Colombia de 1991 elevó a norma constitucional la consideración y conservación de los recursos naturales y el medio ambiente, a través de los siguientes principios Fundamentales:

***Principios y Valores de la Constitución Política en materia de Protección de los recursos Naturales.*** Se incluyen los derechos y deberes del estado y de los particulares en relación con el medio ambiente.

- ✓ *Artículo 1* Colombia es un estado social de derecho, fundada en el respeto de la dignidad Humana, en el trabajo y la solidaridad de las personas que lo integran.
  
- ✓ *Artículo 2.* Son fines esenciales del estado: Servir a la comunidad, Garantizar la efectividad de los principios, derechos, deberes y facilitar la participación de todos en las decisiones que los afecta.
  
- ✓ *Artículo 6.* Sobre la responsabilidad de cumplimiento de la ley para los particulares y servidores públicos.
  
- ✓ *Artículo 7.* El Estado reconoce y protege la diversidad étnica y cultural de la nación Colombiana.
  
- ✓ *Artículo 8.* Obligación Conjunta Estado-Comunidad en la protección de las riquezas naturales y culturales de la nación.

***Derechos Garantías y Deberes.*** Javier Arellano Díaz (2011), relaciona los siguientes:

- ✓ *Artículos 20 y 23.* Plantean el derecho de las comunidades a estar bien informadas.
  
- ✓ *Artículo 40, Numeral 6. Derechos Fundamentales.* Todo ciudadano tiene derecho a Interponer acciones públicas en defensa de la constitución y la ley (Congreso de la República, 2015).

- ✓ *Artículo 49.* La atención de la salud y el saneamiento ambiental son servicios públicos a cargo del estado.
  
- ✓ *Artículo 58.* Garantía de la función ecológica de la propiedad. El Estado promoverá y protegerá las formas asociativas y solidarias de la propiedad. (P. 171)

***Derecho a un ambiente sano. Artículo 79.*** + + + 9 + +  
 personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que la afectan. Es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines 9(Congreso de la República, 2015).

De acuerdo a Javier Arellano Diaz, (2011)<sup>7</sup> esta norma puede interpretarse de manera solidaria con el principio fundamental del derecho a la vida, ya que este sólo se podría garantizar bajo condiciones en las cuales la vida solo puede disfrutarse con calidad .

### **2.5.3. Marco Institucional Colombiano.**

En Colombia los organismos responsables de la gestión de recursos Hídricos involucran a entidades del orden nacional, regional y local. (*Ver en Apéndice A*).

#### 2.5.4. Marco Normativo Colombiano sobre la Calidad del agua.

Colombia cuenta con una extensa normatividad para manejar de forma racional el recurso Hídrico. No obstante, debido a la gran relevancia que se le ha dado al tema de agua potable y saneamiento básico, es necesario realizar un análisis con la normatividad vigente dentro del contexto de la protección y conservación del recurso Hídrico. Específicamente, lo que se enmarca en el conjunto de actividades necesarias para conocer y valorar la calidad del agua. Tal como se desarrolla en la tabla 2 (*ver en apéndice B*).

P +                    7+ +                    + +                    + +                    + +                    7+ + + +

+ +                    7Se debe anotar que, si bien por ahora las normas para usos de las aguas marinas y no marinas casi están unificadas, no sucede así con las que se refieren a la calidad del recurso hídrico dada la multiplicidad de ministerios y entidades relacionadas con dicha problemática. Normalmente entonces se confunden las normas propiamente ambientales con las de salud pública. No en vano, cuando en Colombia las normas medioambientales seguían una visión antropocéntrica, iban por un lado las ambientales (Código y sus reglamentarias) y por otro las de salud (Código Sanitario Nacional o Ley 9 de 1979). (Gonzales, 2004, p. 18).

## Capítulo 3: Metodología de la Investigación

### 3.1. Diseño Metodológico de la investigación

El Tipo de Investigación que se pretende desarrollar es Básica, pura, teórica o dogmática. Porque Mediante el desarrollo de los marcos referenciales, en una secuencia lógica establecida, se busca entregar a la sociedad civil un soporte técnico, fidedigno sobre la calidad del agua del río algodonal, de manera que se modifiquen o incrementen los conocimientos que se tienen sobre el fenómeno estudiado.

Las ideas que enmarcan el proyecto de investigación, van enfocadas a resolver el problema del desconocimiento sobre el estado actual de la calidad del agua del río algodonal, corregir la subjetividad colectiva sobre el tema mediante el aporte de nuevos conocimientos, generar interrogantes que conlleven a nuevas investigaciones. El fin último del proceso de investigación, observado desde la óptica metodológica, es acercar o bien, presentar la realidad objetiva sobre la calidad del agua del río algodonal a una sociedad civil integral en forma transversal.

En consecuencia a lo anterior, el enfoque de la investigación ha de ser cuantitativo, donde la delimitación del problema de investigación, la formulación de la hipótesis junto al planteamiento de la pregunta, cuando la solución sea mediante la observación y la medición, la verificación de los resultados, el tratamiento estadístico de los mismos, conforme los criterios de investigación.

El Proceso de Investigación implica afinar las ideas mediante el desarrollo secuencial de las fases de investigación. Implica la revisión de fuentes, la construcción de los marcos, la triangulación de datos, la verificación antes del Producto final, que sirvan como medio de evaluación de las deficiencias en el conocimiento del Problema.

EL alcance de la investigación es explicativa. Dependiendo de la perspectiva del estudio en el orden secuencial de investigación, y de los objetivos planteados, requiere antecedentes de una fase exploratoria, porque se necesita investigar un fenómeno poco estudiado en la región desde una perspectiva innovadora donde se considere el cuerpo de agua como ecosistema. Donde se identifiquen conceptos que generen preguntas y preparen el terreno para nuevos estudios. También requiere de una fase Descriptiva antepuesta a la explicativa, porque es necesario considerar el fenómeno subjetivo de + + + + + consumo humano , especificar sus propiedades, características que puedan afectarlo y someterlo a un análisis con el fin de desenmarañar la realidad objetiva.

Junto a lo anterior, se busca con esta fase Medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los parámetros, variables y conceptos identificados, sin caer en la correlación. En síntesis, Al integrar al alcance de la investigación, elementos de las dos fases antes mencionadas, se aterriza a una fase explicativa, que es la esencia de la investigación, desde donde se expone por qué de los resultados Objetivos encontrados y las condiciones encontradas que determinan la causa de que el ICACOSU (Índice de calidad del agua para corrientes superficiales) se presente así. Con todo, los investigadores buscan con este enfoque explicativo,

generar un sentido de entendimiento a partir de la presentación de un producto de investigación técnica, objetiva, Fidedigna, verificable y sumamente Estructurada.

### **3.2. Población Y muestra**

#### **3.2.1. Población.**

*Cuerpo de Agua.* Río Algodonal.

Todos los morfo tipos indicadores presentes en las cinco estaciones de muestreo seleccionadas en el río algodonal. Comprenden: Bacterias, Macro-invertebrados Acuáticos.

#### **3.2.2. Muestra.**

Un Subgrupo seleccionado aleatoria o mecánicamente de la población presente en las cinco (5) unidades de análisis. A saber son:

**E<sub>1</sub>:** Confluencia de Río Frío y Río Oroque, Río algodonal.

**E<sub>2</sub>:** cien (100) metros aguas abajo de la laguna de Estabilización del municipio de Abrego.

**E<sub>3</sub>:** Cien (100) metros Aguas arriba de la laguna de estabilización del Municipio de Abrego.

**E4:** Cien (100) metros Aguas debajo de la confluencia de los efluentes de la ermita y la playa

**E5:** Cien metros Aguas arriba de la torre de Captación.

Determinación de una muestra aleatoria en zona de influencia con el río algodonal de las actividades Agropecuarias desarrolladas por campesinos productores asentados en el municipio de Abrego. (Para efectos de la evaluación de Impactos socio-Ambientales generados a la calidad del agua debido al desarrollo de actividades agropecuarias.

### **3.2.3. Variables.**

Volumen de la muestra, Tipo de hábitat, Tiempo de preservación de la muestra, Volumen de reactivos aplicados, Familias de macro invertebrados acuáticos, composición de una muestra de agua (clasificación Taxonómica), Temperatura de conservación de muestras biológicas y Físico-Químicas, cantidad de parámetros a evaluar, valores de los parámetros evaluados, índices de contaminación del agua, ubicación de las unidades de muestreo, distancias entre unidades de muestreo.

**Variable Independiente.** Volumen de la muestra, Tipo hábitat, Tamaño poblacional de macro invertebrados acuáticos, ubicación de las unidades de muestreo, distancias entre unidades de muestreo, cantidad de parámetros a evaluar.

***Variables dependientes.*** Tiempo de preservación de la muestra, Volumen de reactivos aplicados, composición de una muestra de agua (grupos, clasificación Taxonómica), valores de los parámetros evaluados, índices de contaminación, número de familias de macro invertebrados encontrados.

***Variables Cualitativas.*** Tipo de hábitat en la que se hacer el muestreo, composición de una muestra de agua (clasificación Taxonómica de macro invertebrados), ubicación de las unidades de muestreo.

***Variables Cuantitativas.*** ICO's, Volumen de la muestra, Tiempo de preservación de la muestra, Volumen de reactivos aplicados, número de familias de macro invertebrados, cantidad de parámetros a evaluar, valores de los parámetros evaluados, distancias entre unidades de muestreo.

### **3.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de la Información.**

Este apartado se desarrolla por Fases de Ejecución planeadas en el cronograma de investigación.

#### **3.3.1. Fase I. Recolección de la Información.**

***Fuentes de Información Secundaria.*** Las Fuentes de información secundaria son:

la primera edición de Calidad del Agua de Sierra (2011), evaluación y diagnóstico, donde se trata a profundidad los índices de calidad de agua, y *la tercera edición de Rojas (2009) basada en la aplicación de procedimientos para el análisis bacteriológicos con criterios de calidad*, indispensables a tener en cuenta para concluir los resultados.

La primera edición de Caudal Ambiental. Conceptos, Experiencias y desafíos de Cantera Kindz, Carvajal E, y Castro H, (2009) donde se exponen de manera integral y con un nivel de detalle suficiente, las interacciones de los componentes de un caudal ecológico para el normal desarrollo de la biota acuática. Además el capítulo once, presenta estudios de casos colombianos desde diferentes enfoques y con diversas metodologías, pero todos con el objetivo de ilustrar el punto de partida para el desarrollo de investigaciones involucradas con el sector hídrico.

De igual forma, para las aguas superficiales dulces existe el manual de *W.R, (1978) de la EPA*, Así como el manual de métodos para el desarrollo de inventarios de Biodiversidad, de Villarreal H. & *et all.* (2004), los trabajos del Instituto mi Río, (1997) en el río Medellín y los libros de ecología de Margalef, (1994). Además de la revisión del estudio realizado por la Organización Promotora Medio Ambiental (2008), al río Algodonal y al río Tejo.

El manual: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 22th. 2012 + + + + + + + + + +  
 métodos y técnicas estandarizadas para evaluar calidad del agua para consumo humano, los

parámetros a considerar, los métodos de ensayo en laboratorio y una lista con las normas permisibles de comparación de resultados.

El manual para análisis Básicos de calidad del agua de bebida publicado por la Organización Panamericana de la Salud y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS, 2004). Este documento aporta información Valiosa sobre Técnicas de Muestreo y Procedimientos en laboratorios.

El libro: T + N + N + L + + + + Fernandez Parada y Fredy Solano (2005); quienes en tres capítulos ofrecen una visión panorámica de los aspectos principales de la valoración de la calidad del agua a través de indicadores de calidad y contaminación, a la vez que presentan en el mismo sentido, un análisis comparativo de los ICOs e ICAs de importancia mundial, sobre la base de su estructura matemática, similitud de parámetros y comportamiento interno frente a grupos de datos iguales.

El manual titulado: Métodos de Colecta, Identificación y análisis de comunidades biológicas: Plancton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú, (2014) la cual es una publicación conjunta del Ministerio de ambiente y la Universidad Mayor de San Marcos donde se exponen los métodos de evaluación de las comunidades biológicas en diversos ecosistemas acuáticos de gran parte del Perú. Esta fuente es útil para adelantar el componente biológico de la investigación.

Los Resultados del Análisis y la Valoración del índice de calidad de agua ICA de la NSF: Casos Ríos Cali y Meléndez, editados por BEHAR Roberto Q., (2003), en el cual se presenta una evaluación similar a la que aquí se desarrolla porque recolectaron información sobre la calidad fisico-Química y biológica de estos ríos en distintos sitios que fueron seleccionados desde puntos altos, cerca de su nacimiento, hasta la desembocadura en el río Cauca.

Además de la publicación de Hernández (2012), en la Revista de Historia regional y local, donde se estudian las intervenciones realizadas por parte de la Sociedad de Mejoras Públicas de Medellín y la Administración Municipal de Medellín en el río Medellín, las gestiones para diseñar las obras de canalización y vías de comunicación, y las dificultades que afrontaron para ejecutarlas. La publicación de Zuluaga, (2011) en la revista Caldasía donde comparó los resultados obtenidos en el estudio del río Negro llevados a cabo en el 2002 con los del 2007, empleando el BMWP/Col, el ASPT, el índice de diversidad (H') y el índice ICA. Por último está la enciclopedia de la ecología y la salud de Valtueña, (2002).

Los Resultados publicados en la revista interamericana de contaminación del Medio ambiente acerca del uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación del agua y sedimentos. Los cuales midieron parámetros Órgano-Fosforados, Órgano-Clorados, carbamatos y su incidencia en la integridad acuática.

La primera edición del libro Estadística con SPSS v.23 escrita por el licenciado Quezada Lucio (2014), donde se exponen en forma sucinta métodos para el manejo de los datos a

través de estadísticas descriptivas, el manejo de variables, la realización de pruebas no paramétricas y la realización de los gráficos útiles para el manejo estadístico de la información cualitativa y cuantitativa que se presenta en la investigación.

***Fuentes de Información Institucional. CORPONOR.*** Estudios de caracterización y Diagnóstico del recurso hídrico realizados en la cuenca del Río Algodonal. Fase de Diagnóstico del Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca del Alto Catatumbo. Cartografía básica y temática.

**IDEAM.** Metodología propuesta en la guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas en el decreto 3100 de 2003 (recolección y análisis de la información relacionada con hidrometría). Registros promedio de la Estación hidrológica permanente La Cabaña.

**UFPSO.** Estudios Relacionados con la Calidad y cantidad del Agua realizados en la Cuenca del Río Algodonal y el Río Tejo.

**ESPO S.A ESP.** Registro de Análisis fisicoquímicos y microbiológicos del Agua del Río Algodonal Realizados por La Empresa.

Con La información recolectada, se realizó una confrontación o triangulación de los resultados obtenidos en cada punto de monitoreo y por época de muestreo con la información

levantada en campo con el desarrollo de esta investigación Por medio de graficas estadísticas, sin caer en un análisis comparativo de resultados.

***Fuentes de Investigación Primaria.*** Recolección de la Información Primaria:

- ✓ Observación in situ
- ✓ Trabajo de Campo
- ✓ Registro de Hojas de campo para cálculos
- ✓ Aforo de Caudales
- ✓ Toma de Muestras para análisis Biológico, Microbiológico y Físico Químico
- ✓ Análisis y tratamiento de la Información.

***Instrumentos Utilizados para la Recolección de la Información.*** Se discriminan en la tabla los instrumentos utilizados para el desarrollo de las actividades propuestas en el cronograma de investigación para la ejecución de la técnica que hace posible la recolección de la información.

**Tabla 5.**  
*Equipos y Herramientas para Trabajo en Campo*

Actividad ejecutada	Equipos y Herramientas
<b>Georreferenciación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ficha de Campo para Geolocalización</li> <li>✓ GPS Garmin ETREX 10</li> <li>✓ Cámara Digital</li> <li>✓ Decámetro</li> </ul>
<b>Aforo de Caudales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Decámetro</li> <li>✓ Hoja de campo para datos de Caudal</li> <li>✓ Termómetro Ambiental</li> <li>✓ Correntómetro con molinete</li> </ul>
<b>Muestreo de Macro-invertebrados bentónicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Red de Mano</li> <li>✓ Marco D-net</li> <li>✓ Bandejas plásticas de Icopor</li> <li>✓ Frascos recolectores de vidrio Transparente (500 ml)</li> <li>✓ Cinta de Rotular resistente al agua.</li> <li>✓ Equipo Multiparamétrico</li> </ul>
<b>Conservación de Muestras Biológicas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Placas refrigerantes con gel de congelación de fusión Eutéctica</li> <li>✓ Alcohol etílico al 70%</li> <li>✓ Papel Aluminio como sello y aislante de muestras</li> <li>✓ Cinta Indicadora Universal</li> <li>✓ Papel periódico como aislante térmico y embalaje de protección en el transporte.</li> <li>✓ Cavas de icopor con capacidad de 50 litros</li> <li>✓</li> </ul>
<b>Muestreo de Parámetros Físico-Químicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Equipo Multiparamétrico</li> <li>✓ Bitácora de Campo</li> <li>✓ Frascos de Vidrio Ámbar 1000 ml</li> <li>✓ Frascos de Vidrio transparente boca ancha tapa Rosca 500 ml</li> <li>✓ Botellas plásticas 1000 y 2000 ml</li> <li>✓ Bolsas Whirl Pack para Analisis Bacteriológico</li> <li>✓ Botellas Winkler</li> <li>✓ Balde plástico para muestras integradas</li> <li>✓ Varilla de Agitación</li> </ul>

Actividad ejecutada	Equipos y Herramientas
Conservación y Transporte de Muestras Físico-Químicas	✓ Cinta Indicadora Universal
	✓ Cajas de Refrigeración 50 litros
	✓ Pipetas Pasteur
	✓ Cinta de rotular resistente a la Humedad
	✓ Cinta de Embalar
	✓ Papel periódico de Embalaje
	✓ Placas refrigerantes con gel de congelación de fusión Eutéctica

**Nota.** La tabla discrimina los equipos y Herramientas utilizados para la toma de datos en campo. La Mayoría de equipos, materiales que se relacionan fueron proporcionados por los Laboratorios de calidad del agua, biología, química e Ictiología de la UFPSO para desarrollo de la investigación. Fuente: Grupo de Investigación (2016).

**Tabla 6.**

*Equipos materiales y reactivos utilizados en el laboratorio para el análisis de Parámetros físico-Químicos y Microbiológicos*

Actividad Ejecutada	Materiales	Equipos	Reactivos
<b>Reconocimiento e Identificación Macroinvertebrados Acuáticos</b>	Claves de identificación Taxonómica para Macroinvertebrados acuáticos	Estereoscopios Cámara Fotográfica	-
<b>Determinación de Col. Fecales, <i>E. coli</i> y aerobios mesófilos</b>	Cajas Petri. Pipetas graduadas. Asa de Drigalski. Erlenmeyer. Tubos de ensayos de vidrio tapa rosca Algodón y malla de lana.	Pipetiador. Cámara de Bioseguridad. Autoclave.	Caldo LMX fluorocoult
<b>Determinación de Parámetros Físico-Químicos</b>	Pipetas graduadas y Gravimétricas. probetas graduadas. Buretas graduadas de 25 ml.	Equipo multiparamétrico Espectrofotómetro Aparato de destilación	HNO3 (ácido Nítrico) H2SO4 (ácido Sulfúrico)

Actividad Ejecutada	Materiales	Equipos	Reactivos
	Tubos de ensayos. Pipeta Pasteur. Vasos de precipitados. Erlenmeyer. Vidrio reloj. Capsulas de porcelana. Vasos buchi. Cucharitas servidoras. Embudo de separación. Balón volumétrico. Embudo de vidrio. Agitadores magnéticos. Varillas de agitación. Peachimetro. Papel de filtro de fibra de vidrio Whatman GF/C de 47 mm. Pinzas para manipular los filtros. Balón aforado. Tubos de boro silicato para Termoreactor HACH de 16X 10 mm. Fibra de Vidrio	con destilador Graham Cámara de bioseguridad. Cámara extractora de gases. Balanza de precisión sartorius BP 211D, 210g Balanza analítica. Placa de calentamiento Estufas. Horno WTB Binder a 103-105 0C. Bomba de vacío y equipo de filtración. Desecadores.	Azida de Sodio Sulfato Manganoso Sulfato de Magnesio Carbonato de Sodio Dicromato de Potasio Cromato de Potasio al 5% Solución Indicadora de Ferroina Bifalato de Potasio Sulfato Ferroso Amoniacal (FAS). Nitrato de Plata Cloruro de Sodio Solución Buffer de Fosfatos Cloruro de Calcio Cloruro Ferrico Tiosulfato de Sodio Hidróxido de Sodio Solución de Almidón Biyodato de Potasio Yoduro de Potasio Acido Glutámico-Glucosa Azul de Metileno Fenolftaleína Cloroformo

**Nota:** los materiales, equipos y reactivos que relaciona la tabla fueron extraídos en su generalidad del *Standard Methods for examination of water and wastewater. 22th* (2012). Solo se relacionan los reactivos mas importantes utilizados en laboratorio.

la cantidad de Herramientas Equipos y reactivos necesitados para el análisis de parámetros fisicoquímicos se cubrieron en su totalidad por el laboratorio de Estudios ambientales de la - UPB- Universidad Pontificia Bolivariana, sede Bucaramanga, en el marco de movilidad académica P + + + + .

Los requerimientos para el análisis microbiológico fueron cubiertos en su mayoría por los laboratorios de biología general, y calidad de aguas de la UFPSO.

**Fuente:** Grupo de Investigación.

### 3.3.2. Método para el Reconocimiento de los sitios de Muestreo.

Como se mencionó en apartados anteriores, se seleccionaron estratégicamente (5) estaciones de referencia, ubicadas a distancias aleatorias en el gradiente del río algodonal. Desde la Confluencia de los Ríos Frío y Río Oroque hasta Aguas arriba de la planta de Tratamiento de Agua Potable de la Empresa de Servicios Público de Ocaña ESPO-.

Para distribuir las distancias entre estaciones se siguió la metodología propuesta por el IDEAM, (2006) el cual dice que entre estaciones a monitorear grupos bio-indicadores procurarse en la medida de lo posible distancias similares, excepto cuando las condiciones topográficas o de otra índole no lo permitan. No obstante, se consideró también el argumento de Ramírez C. A., (2011) quien afirma que para establecer y distribuir el numero de segmentos con el propósito de hacer un diagnóstico de la calidad del agua actual debe tenerse en cuenta:

N + + ++ + considera que puede afectar la calidad del agua de  
 + + 7+ + + + + 93 92; 4

Para efectos del muestreo biológico, en cada estación se definió un transepto de 400m x 20m (800 m<sup>2</sup>) cada uno. Dentro del protocolo de campo, se contempló aplicar las mismas técnicas de muestreo de los grupos bioindicadores seleccionados, en todos los puntos de censo.

Por otra parte, en la bitácora de Campo, se registraron los detalles más relevantes percatados del entorno (estado de la cobertura vegetal, estructura del paisaje, topografía y estado del suelo, actividades y funciones realizadas en el área de influencia Directa- AID).

### **3.3.3. Método para la Geo-referenciación de las estaciones a Monitorear.**

En las cinco (5) estaciones se identificaron los puntos más convenientes para referenciar. Para tal efecto, se utilizó el GPS GARMIN ETREX 10.

En forma seguida, tal como lo sugiere la Universidad Naional de Costa Rica, (2015), se deben tomar las coordenadas de los puntos, vigilando un margen de error de 1-5 para una lectura Confiable . (p.27).

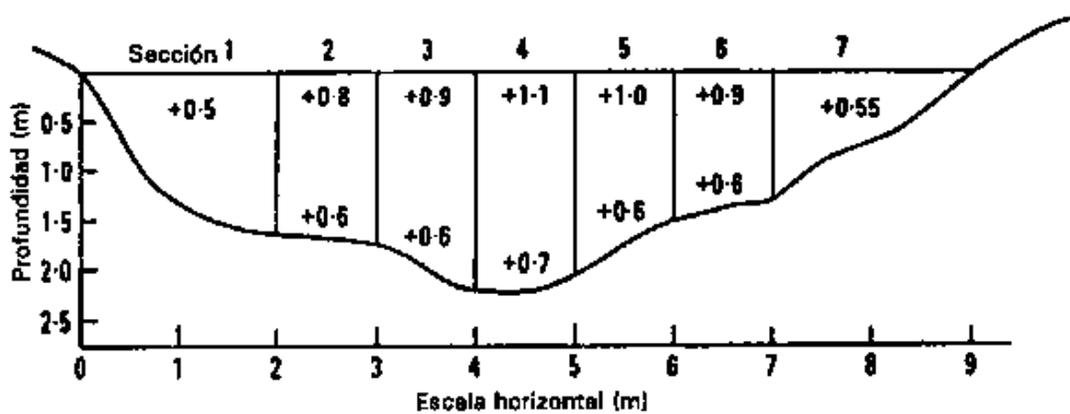
### **3.3.4. Método para Aforar en las estaciones de Muestreo.**

La técnica de aforo que se utilizó es la que aprovecha las diferencias de Velocidad en una sección transversal entre dos puntos con magnitud conocida, Usando un molinete o micro molinete.

En virtud de la topografía del terreno, se tomaron diferentes profundidades en diferentes secciones; en cada punto se midieron la distancia a la margen izquierda, margen derecha y la distancia desde el Fondo; es decir, que en una misma sección y sobre un mismo, se sumergió el

molinete a diferentes profundidades para determinar velocidad promedio en m/s (metros por segundo).

Con los datos anteriores, se graficaron los perfiles de flujo sobre una hoja de cálculo Milimetrada, representando las líneas de profundidad en vertical y la velocidad de la corriente en Horizontal. Tal como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 4. Esquema de perfiles de flujo a partir de Lecturas de Molinetes**

**Fuente:** FAO. (2015). Métodos de Determinación de Caudales.

Una vez se obtuvieron los perfiles de flujo del Río por el correntómetro, se calcularon las áreas de las secciones transversales, se promedió la velocidad y se reemplazaron los datos en la ecuación:  $Q = V_x A$ ; método que permitió corregir las variaciones en las velocidades de las corrientes en un tiro de profundidad que no se puede por otras técnicas.

### 3.3.5. Fase II. Métodos y Procedimientos para la toma de muestras para análisis Fisicoquímico.

Este Procedimiento se adelantó de acuerdo al plan de muestreo propuesto por el laboratorio de estudios Ambientales de la UPB-sede Bucaramanga, vinculado al desarrollo de la investigación, el *Instituto Nacional de Salud*, (2011) y considerando los procedimientos estandarizados por la *American Public Health Association*.

La tabla de preservación de muestras establecida en *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 22th, Edition, (2012)*, indican el parámetro, el volumen mínimo de la muestra, si lleva o no cabeza de aire el tipo de muestra (simple o integrada) y la técnica de preservación. No obstante, se extraen algunos apartados, que a nuestro juicio, resultan indispensables para garantizar un correcto muestreo.

En primer lugar, como se trata de un muestreo sobre un cuerpo de agua lotico sin muestrear vertimientos puntuales, los tipos de muestras que se tomaron en las unidades de análisis fueron:

***Muestra Simple o puntual.*** Es la muestra tomada en una sección del río, a una profundidad aproximada de 50 % de la altura total, en un tiempo específico. Esta muestra se obtiene al llenar, de manera inmediata, la totalidad de la capacidad del recipiente de volumen seleccionado destinado a la conformación de la muestra puntual. Para efectos de interferencias, debe evitar la formación de burbujas y que el agua golpee en las paredes o en el fondo con fuerza 9El (IDEAM, 1997, p. 1).

***Muestra Integrada.*** Este tipo de muestra se compone recolectado Alícuotas de igual

+ + + + + + + + + + + + + + + +

homogenizan las alícuotas en un mismo recipiente y se extrae el volumen de la muestra que irá al

93 4(Rodier, 1981).

Este tipo de muestra se realizó en la estación 1 donde las variaciones locales en composición son percibidas a simple vista por las confluencias del río Oroque y río frío

***Plan de Muestreo para Análisis Físico-Químico y Microbiológico.*** Se realizó un muestreo trimestral a partir de marzo de 2016 durante cuatro (4) Meses, tomando un muestreo aleatorio en las cinco (5) estaciones definidas para las temporadas estacionales de más lluvias y menos lluvias típicas de la región. Desde la confluencia de “río Frio” y “Río Oroque” hasta aguas arriba de la planta de tratamiento PTAP, teniendo en cuenta las zonas de intercambio de aguas del río algodonal con sus principales afluentes, sean estos naturales o resultantes de proceso de canalización, se tomaron muestras representativas del estado actual del recurso hídrico para análisis de parámetros físico-Químicos, microbiológicos y biológicos.

Para realizar el muestreo fisicoquímico las muestras fueron colectadas siguiendo el procedimiento establecido por la EPA versión (2005), el cual estandariza el siguiente procedimiento para Ríos, lagos, reservas, muelles, arroyos o aguas poco profundas . (Como se citó en Instituto Nacional de Salud, 2011).

- ✓ Utilizar un frasco preferentemente de Vidrio neutro no tóxico, esterilizable, de aproximadamente 500 ml y de boca ancha para facilitar la toma. En su defecto, el método permite usar encases de plástico estériles o botellas de agua mineral limpias (enjuagadas con agua destilada y 2-3 veces con el agua de la misma muestra a analizar) (*ver plan de muestreo en tabla 7*)
  
- ✓ Si no hay corriente, se debe quitar el tapón con una mano, y con la otra se sumerge rápidamente el frasco con la boca hacia abajo unos 30 cm, formando un ángulo de (45°), en sentido de la corriente; esperar que se llene y botar un poco; solo cuando lleve cabeza de aire. El objetivo de la cabeza de aire es dejar una cámara que mantenga la actividad aerobia dentro del frasco y que facilite la agitación del agua antes del examen.
  
- ✓ En los sitios de gran corriente de agua, la boca del frasco debe dirigirse en contracorriente, para evitar que se introduzcan bacterias o contaminantes procedentes de los dedos de la mano.
  
- ✓ Para garantizar las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas de las muestras, las muestras se refrigeran en cavas de Icopor con hielo o placas de congelación eutéctica a una temperatura media de aproximadamente de 4 °C hasta su entrega al laboratorio, en un periodo no superior a 24 horas.
  
- ✓ Para definir el punto óptimo de muestreo, debe revisarse si la corriente de agua presente en la unidad de análisis cumple con los requisitos de mezcla y velocidad, los cuales evitan la sedimentación, acumulación de sólidos y liberación de gases. De no ser así, es necesario cambiar o trasladar varios metros la unidad de análisis. (Organización Promotora Medio Ambiental, 2008, p.23).

Para garantizar la calidad de la muestra, se preparó el plan de muestreo con las técnicas de recolección, preservación. Tal como lo muestra la siguiente tabla.

**Tabla 7.**

*Plan de Muestreo para análisis físico-químicos y Microbiológico*

| Preservación | Parámetro                   | Cabeza de Aire | Puntual | Volumen de la Muestra recolectada | Tipo de Recipiente    | Tempo Máximo de Almacenamiento |
|--------------|-----------------------------|----------------|---------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Refrigerados | Sólidos Suspendidos         |                |         | 1000 mL                           | plástico              | 7 días                         |
|              | Sólidos Totales             |                |         |                                   |                       |                                |
|              | Sólidos Suspendidos Totales | si             |         |                                   |                       |                                |
|              | Nitratos                    |                |         | 500 ml                            |                       | 48 horas                       |
|              | Nitritos                    |                | si      |                                   |                       | Analizar lo más pronto         |
|              | Alcalinidad Total           | no             |         | 200 ml                            | Vidrio Fluoropolímero | 24 horas                       |
|              | Cloruros                    |                |         |                                   |                       | Analizar lo más pronto         |
|              | Fluoruros                   |                |         | 2000 ml                           | Plástico              | 24 horas                       |
|              | Sulfatos                    |                |         |                                   |                       | 28 días                        |

| Preservación                 | Parámetro           | Cabeza de Aire | Puntual | Volumen de la Muestra recolectada | Tipo de Recipiente    | Tempo Máximo de Almacenamiento                  |
|------------------------------|---------------------|----------------|---------|-----------------------------------|-----------------------|---|
|                              | Color Real          |                |         |                                   |                       | 48 horas  |
|                              | Detergentes         |                |         |                                   |                       | 48 horas  |
|                              | Plaguicidas         |                |         |                                   | Vidrio Ámbar          |   |
|                              | Organoclorados      | si             | si      | 1000 ml                           | y Tapa metálica       | 7 días  |
|                              | Detergentes         |                |         | 250 ml                            | Vidrio Fluoropolímero |   |
|                              | DBO5                | no             | si      | 1000 ml                           | Plástico              |   |
|                              | Coliformes Fecales  |                |         | 100 ml                            |                       |   |
|                              | Coliformes Totales  | si             | si      | 100 ml                            | Bolsas whirl Pack     | 6 horas   |
|                              | Aerobios Mesófilos  |                |         | 100 ml                            |                       |   |
| <b>acidificación</b>         | Oxígeno Disuelto    | no             | si      | 300 ml                            | botella winkler       | Realizar titulación si se realizó acidificación |
| <b>Preservados con H2SO4</b> | Nitrógeno Amoniacal | si             | si      | 1000 ml                           | Plástico              | 1-2 días  |
|                              | Nitrógeno Total     |                |         |                                   |                       | 7 días  |

Tabla 7 Continuación”

| Preservación                                       | Parámetro        | Cabeza de Aire | Puntual | Volumen de la Muestra recolectada | Tipo de Recipiente              | Tempo Máximo de Almacenamiento            |
|--|------------------|----------------|---------|-----------------------------------|---------------------------------|---|
|  | Dureza           | si             | si      |                                   | Plásticos o Vidrio fluopolímero | 6 meses                                   |
|  | DQO              | si             | si      | 1000 ml                           | Vidrio Ámbar                    | 7 días                                    |
|  | Fenoles          |                |         |                                   | Vidrio Ambar                    | Conservado y Refrigerado                  |
| <b>Preservados con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b> | Fosforo Total    | si             | si      | 1000 ml                           | Vidrio Fluoropolímer o u Ambar  | hasta su análisis en menor tiempo posible |
|  | Aceites y grasas |                | si      | 1000 ml                           | Vidrio Boca Ancha               | 28 días                                   |
|  | Hidrocarburos    | si             | si      | 1000 ml                           | Vidrio Ámbar                    |   |
| <b>Preservación con HNO<sub>3</sub></b>            | Metales          | si             | si      | 1000 ml                           | Vidrio Ámbar                    | 6 meses                                   |
| <b>Preservación con NaOH</b>                       | Sulfuros         | no             | si      | 100 ml                            | Vidrio Fluopolímero             | 28 días                                   |
| <b>TOTAL</b>                                       | <b>28</b>        |                |         | <b>12560ml</b><br><b>12,65 L</b>  |                                 |   |

**Nota.** La tabla muestra el plan de muestreo en campo según los parámetros seleccionados para analizar. Los volúmenes presentados corresponden a un agrupamiento paramétrico para una única muestra colectada en un recipiente cuando las similitudes de muestreo y cadena de custodia entre los parámetros a evaluar lo hagan posible. **Nota específica.** Los recipientes que se

utilizan para la preservación deben estar debidamente etiquetados. De acuerdo a la tabla, se colectaron aproximadamente 12,65 L de agua cruda, distribuida en: 4-5 recipientes de plástico, 4 recipientes de vidrio tapa azul en Rosca, 5 recipientes de vidrio Ámbar, 2 recipientes de vidrio boca ancha; 1 botella winkler y 3 bolsas Whirl Pack por estación de muestreo. Fuente: Grupo de investigación con base en información extraída del Instituto Nacional de Salud, (2011), pp.73-86.

### **3.3.6. Métodos y Procedimientos para la toma de Muestras Para Análisis Microbiológico.**

Para efectos del Análisis Microbiológico, en cada estación las muestras se colectaron de forma puntual en la mitad de la sección del río en bolsas Whirl Pack estériles y aforadas. Una vez en el punto medio del río se retiró el cierre hermético de la bolsa y se introdujo en la lámina de agua. Sólo dentro del flujo se abrió y llenó la bolsa hasta la línea de aforo. Posteriormente, se procedió a sellar las costuras de la varilla y a doblar las bandas de cierre tres veces con un giro hacia atrás para asegurar la muestra.

Esta técnica de muestreo garantiza un volumen suficiente que permite el análisis o la posible identificación de los siguientes grupos microbiológicos propuestos:

- ✓ Coliformes Totales, *E-coli*.
  
- ✓ Recuento de Heterótrofos: En profundidad, en superficie y filtración por membrana

- ✓ Identificación de Géneros de *Streptococcus sp.*, *Enterococos fecales*
  
- ✓ *Vibrio cholerae*, *Pseudomonas aeruginosa*
  
- ✓ Identificación de Microorganismos de la familia Enterobacteriaceae,. (Organización Mundial de la Salud-OMS-, 2012, p.117).

### **3.3.7. Métodos y Procedimientos para el muestreo de Macro invertebrados bentónicos.**

Se realizó un muestreo trimestral en las mismas estaciones al muestreo físico-químico para mayor representatividad de las condiciones ecológicas existentes al tiempo y espacio a partir de marzo del año 2016 durante seis (4) Meses.

La intensidad del muestreo, tal como lo establece Montoya., *et al* (2007) se planeó de 30 minutos por cada estación. Tomando registros fotográficos a cada hábitat identificado.

Para la colección de macro invertebrados en sustratos pedregosos, se utilizaron redes especializadas tipo D-net con malla de 300  $\mu$ , una red de pantalla de 1m<sup>2</sup>, Red surber con un tejido cónico menor o igual a 0,5 mm. Además de una recolección manual.

El procedimiento de colecta de macro invertebrados aplicado en las cinco estaciones fue el sugerido por el IDEAM (2006), con algunas modificaciones extraídas de Ceiba Foundation for

Tropical Conservation, (2013), para evitar la erosión de poblaciones de grupos bioindicadoras en el río.

Para formar una muestra representativa de macro invertebrados destinados efectos de Cálculo del BMWP/col se tomaron (3) sub-muestras colectadas en diferentes hábitats del río para cada estación a monitorear. Hay que tener en cuenta que cuando se hace colecta en los rápidos, es necesario coleccionar en ambos lados del rápido. Es decir, corriente abajo y corriente arriba de la sección. Juntos harán una sub-muestra.

Para coleccionar en un rápido, la persona deberá situarse corriente abajo y moverse río arriba, colocando la red al fondo del río. Con ayuda del pie se debe agitar el fondo del sustrato y con las manos, fregar las piedras para remover los macro invertebrados. Este procedimiento deberá ejercerse en ambas secciones del rápido por dos minutos cada uno. El contenido de la red para una sub-muestra, deberá colocarse en el recipiente o bandeja de colección.

En las Habitas de Orillas sobre colgadas la red debe raspar a lo largo de la orilla para remover los macro invertebrados. Este procedimiento se debe repetir al menos veinte (20) veces para obtener una sub-muestra. Si se utiliza la red Nyal deberá usarse la técnica de pesca en orillas de sustratos. El contenido de la red con la sub-muestra deberá depositarse en la bandeja de colección.

En los sustratos fungosos, por lo general, ricos en materia orgánica en descomposición, por lo que a menudo pueden ocurrir bajas de Oxígeno restringiendo la vida presente, se debe

muestrear haciendo un barrido con un cernidor o coladera, separando las larvas para su conteo e identificación (Pérez, 2008, p.21).

Los troncos salientes comunes en las márgenes del río, constituyen otro tipo de hábitats donde los macro-invertebrados pueden adherirse a él. Se usa la red o la coladera para raspar por debajo del tronco y frotarlo al menos veinte (20) veces por debajo de la parte inferior para coleccionar una sub-muestra de *bentos*. Igual que las ocasiones anteriores, el contenido de la red deberá llevarse al recipiente.

Para muestrear en los hábitats formados por hojarasca flotante basta con colocar la red río abajo de la Hojarasca y luego mover las hojas para que la mayoría entre en la red. Una vez hecho esto, se deposita el contenido en un recipiente para seleccionar los macro invertebrados coleccionados antes de combinarlos en el recipiente con las demás sub-muestras. (streams., 2013).



(A) Red D-net



(B) Tamizador Manual



(C) Red Pantalla

### **Figura 5. Equipos de Recolección de Macro-invertebrados**

**Fuente:** Identificación y análisis de comunidades biológicas: (macroinvertebrados) en aguas continentales del Perú. [Imagen].

#### **3.3.8. Metodos para preservación de la Muestra Etiquetado y Transporte.**

Las placas deberán refrigerarse durante el tiempo de traslado de la muestra del sitio de muestreo al laboratorio mediante una refrigeración usando placas de gel con congelación eutéctica en un refrigerador de Icopor, de tal manera que mantenga un Temperatura constante de

conservación a 4° C. Esta práctica siempre es útil e indispensable, pues la refrigeración inhibe un considerable número de procesos naturales.

Para evitar filtraciones todas las muestras se envolvieron en su parte superior con cinta de enmascarar, cinta transparente y tapas herméticas en los recipientes. Como consejo adicional, En campo, las neveras en Icopor deben mantenerse generalmente en la sombra para permitir una mayor conservación de la temperatura. (Ministerio de Ambiente del Perú , 2014, p.84). Todas las muestras se etiquetaron para facilitar su identificación, En el papel resistente al agua se diligenciaron los siguientes datos .

- ✓ Coordinadas de referenciación de la estación, Colector, Fecha y Hora de la Colecta, Tipo de muestra (cualitativa-Cuantitativa) Tipo de Grupo bioindicador, Método de colecta , Datos de la localidad, La cuenca, Tipo de sustrato. Lo mismos Datos se anotarán en la libreta de Campo. (*Ver Anexo H*)

***Métodos de preservación de Muestras de Macroinvertebrados Bentónicos.*** Las muestras extraídas se colocaron en una bandeja blanca, de allí con la ayuda de pinzas y lupas se pasan los organismos a frascos con alcohol etílico al 70%, para su posterior identificación en el laboratorio. Cabe anotar que la cantidad del preservante debe ser la suficiente para que cubra toda la muestra colectada. (Roldan,G., 1988).

*Métodos de preservación de Muestras para Análisis Microbiológico de bacterias.* De acuerdo a la Environmental Protection Agency, (1974), La refrigeración a temperaturas cercanas al punto de congelación (4°C ) es la mejor técnica de conservación de las muestras. Actúa como inhibidor bacteriano. El tiempo máximo recomendable para análisis de las pruebas en laboratorios es de 24 horas.

### **3.3.9. Fase III. Evaluación de Parámetros Físicoquímicos y Grupos Biológicos en laboratorio.**

*Evaluación de Parámetros Físico-Químicos, Microbiológicos.* El manual de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2012), normaliza los métodos de evaluación para cada variable físico-química y microbiológica evaluada. En el apéndice C.

*Macroinvertebrados Bentónicos.* Identificación en el laboratorio de Biología con la ayuda de estereoscopios y de claves de identificación taxonómicas. Se registraron datos hasta el nivel taxonómico de familia, asignando la puntuación del grado de tolerancia ver tabla 12 y tabla 8.

**Tabla 8.**

*Claves de identificación taxonómicas utilizadas para la identificación de grupos Bioindicadores*

---

**Macroinvertebrados Bentónicos**

---

ID-TAX - Macro-invertebrados. (Software) (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España, 2016)

Clave Dicotómica para la identificación de Macroinvertebrados de la cuenca del Ebro. (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2011)

Guía para la identificación de Invertebrados Acuáticos. (**Palma, 2013**)

River Key. Citizen-based Water Monitoring Network. ( **University of Wisconsin, 2016**)

---

**Nota.** La tabla relaciona las fuentes más importantes de consulta utilizadas para la identificación de Macro invertebrados bentónicos. Fuente. Grupo de Investigación.

***Identificación de Coliformes Totales y E.coli.*** Para hacer la identificación y recuento de Coliformes totales y E.coli en el laboratorio de calidad del agua de la UFPSO se trabajó con la técnica de tubos múltiples de fermentación (numero mas probable-NMP), sustrato definido y el Test de Mackenzie recomendado por el Ministerio de Salud (1984), el cual reduce el tiempo de prueba a 24 horas.

Basicamente el procedimiento es preparar en tubos de ensayo con tapa rosca nueve (9) ml caldo LMX- fluorocult para un (1) ml de la muestra. Se debe hacer tres (3) diluciones

decrecientes, la primera 1 mL, 0,1 mL y 0,01 mL para la tercera dilución por cada muestra de cada estación. Cada dilución se hará por triplicado. Es decir, nueve (9) tubos preparados por cada estación. Una vez preparados los tubos, se debe agitar suavemente y llevarse a incubar a 37°C durante 24 horas.

La presencia de coliformes totales o resultado positivo se percibirá por el cambio de color de un amarillo claro a un verde azulado. Para la identificación de *E.coli* se realizará el TEST de Mackenzie cuyo resultado final para una muestra positiva será la observación de una fluorescencia luego de haber colocado los tubos bajo una lampara de Luz UV y un Halo cereza en la parte superior del tubo de ensayo que indica presencia de indol por reacción con el reactivo Kovac lo cual es indicador de la presencia de *E. coli*. (Cabrera y Garcia, 2006, p. 39).

**Reporte de Resultados.** La densidad de coliformes se expresa como el número más

+ +            3    4+    +; +    + +    93    4+ +    + +    + +    +            +

de acuerdo con un código formado por la combinación de los tubos positivos y negativos obtenidos Tal como lo establece el Ministerio de Salud y el IDEAM. El reporte de aerobios mesófilos se hará en UFC/100 mL. como se muestra a continuación.

**Tabla 9.**

*Tabla de reporte de resultados par coliformes totales y E. coli (NMP/100Ml)*

| Numero de tubos que dan reacción positiva en la serie de tres tubos<br>inoculados con: |      |        | NMP/100 |
|--|------|--------|---------|
| 10 mL  | 1 mL | 0.1 mL |         |
| 0  | 0    | 1      | 3       |
| 0  | 1    | 0      | 3       |
| 1  | 0    | 0      | 4       |
| 1  | 0    | 1      | 7       |
| 1  | 1    | 0      | 7       |
| 1  | 1    | 1      | 11      |
| 1  | 2    | 0      | 11      |
| 2  | 0    | 0      | 9       |
| 2  | 0    | 1      | 14      |
| 2  | 1    | 0      | 15      |
| 2  | 1    | 1      | 20      |
| 2  | 2    | 0      | 21      |
| 2  | 2    | 1      | 28      |
| 3  | 0    | 0      | 23      |
| 3  | 0    | 1      | 39      |
| 3  | 0    | 2      | 64      |
| 3  | 1    | 0      | 43      |
| 3  | 1    | 1      | 75      |
| 3  | 1    | 2      | 120     |
| 3  | 2    | 0      | 93      |
| 3  | 2    | 1      | 150     |
| 3  | 2    | 2      | 210     |
| 3  | 3    | 0      | 240     |
| 3  | 3    | 1      | 460     |
| 3  | 3    | 2      | 1100    |
| 3  | 3    | 3      | >1100   |

**Nota.** Fuente: Instituto Nacional de Salud, modificado en NTC 4939 (2011)

### **3.4. Fase IV. Análisis y Tratamiento de la Información**

#### **3.4.1. Análisis de reporte de Resultados Físicoquímicos y Bacteriológicos del Laboratorio.**

En el *apéndice D* se establecen los estándares nacionales con los límites permisibles fijados de acuerdo al decreto 1594 (1984) para la destinación del recurso para consumo humano y la resolución 2115/2007 (criterios de agua potable) expedida por el Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, (2007) y los estándares internacionales expedidos por la OMS (1996).

#### **3.4.2. Determinación de los ICO's (índices de contaminación).**

Se implementó el Software ICATEST V1.0 Fernández et al., (2004), por medio del cual fue posible llevar a cabo un análisis comparativo entre estaciones y periodos de muestreo a partir de la aplicación de los índices de contaminación propuestos por Ramírez y Viña (1998-1999), como fueron: ICOMO (índice de Contaminación por Materia Orgánica), ICOMI (Índice de Contaminación por mineralización); ICOSUS (Índice de Contaminación por Sólidos suspendidos), ICOpH (Índice de Contaminación por pH) e ICOTEMP (índice de contaminación por temperatura. Este último solo se determinó en la estación 3 (aguas debajo de la laguna de oxidación) con base a la temperatura del vertimiento de la laguna de estabilización de Abrego reportado en los estudios del Instituto Colombiano del Petróleo, (2011).

**Tabla 10.**

*Método de Determinación de los Índices de contaminación propuestos por Ramírez y viña (1997) evaluados en el río Algodonal*

| <b>Ecuación del indicador</b>  | <b>Descripción</b>   |
|--|--|
| $ICOMI = \frac{1}{3}(I. \text{conductividad} + I. \text{Dureza} + I. \text{Alcalinidad})$                                  | ICOMI= Índice de contaminación por mineralización.   |
| Calculo del subíndice del indicador ICOMI  |  |
| $I. \text{Conductividad} = \text{Log}_{10} I. \text{Conductividad} = 3.26 + 1.34 \text{Log}_{10} \text{Conductividad} (.)$ | Conductividades mayores a 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$ tienen un índice de conductividad =1   |
| $I. \text{Conductividad} = 10^{\log I. \text{Conductividad}}$  |  |
| $I. \text{Dureza} = \text{Log}_{10} I. \text{Dureza} = -9.09 + 4.40 \text{Log}_{10} \text{Dureza} (mg/l)$                  | Durezas mayores a 110 mg/l tienen un índice =1.  |
| $I. \text{Dureza} = 10^{\log I. \text{Dureza}}$  | Durezas menores a 30 mg/l tienen un índice =0  |
| $I. \text{Alcalinidad} = -0.25 + 0.005 \text{Alcalinidad} (mg/l)$  | Alcalinidades mayores a 250 mg/l tienen un índice de 1.<br>Alcalinidades menores a 50 mg/l tienen un índice de 0.  |
| $ICOMO = \frac{1}{3}(I. \text{DBO} + I. \text{Coliformes} + I. \text{Oxígeno } \%)$  | ICOMO= índice de contaminación por materia orgánica.<br>Conformado por demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno. |
| Calculo del subíndice del indicador ICOMO  |  |
| $I. \text{DBO} = -0.05 + 0.70 \text{Log}_{10} \text{DBO} (mg/L)$   | DBO > 30 ( mg/l) =1  |

|  |   |
|--|---|
|  | DB0<2 ( mg/l) =0  |
| $I. coliformes\ totales = -1.44 + 0.56 \log_{10} Col.Tol$<br>(NMP/100ml) | Coliformes totales >20.000<br>(NMP/100ml)=1<br>Coliformes totales <500 (NMP/100ml)=0  |
| %  | Oxígenos (%)> a 100% tienen un índice de oxígeno de =0.<br><br>Para sistemas lenticos con eutrofización y porcentajes de saturación > al 100% se sugiere reemplazar la ecuación por:<br>$I.Oxigeno\ \% = 0.01\ oxigeno\ \% - 1$ |
| $ICOSUS = -0.02 + 0.0003\ solidos\ suspendidos(mg/L)$                    | ICOSUS= índice de contaminación por solidos suspendidos<br><br>Solidos suspendidos > a 340 mg/l tienen un ICOSUS =1.<br><br>Solidos suspendidos < a 10 mg/l tienen un ICOSUS =0.  |
| $ICOTEMP = -0.49 + 1.27 \log( Temp.vertimiento - Temp.cursoreceptor)$    | ICOTEMP= índice de contaminación por temperatura.<br><br>Si la diferencia de temperatura es menor a 2.5°C (275.5°K), ICOTEMP=0<br><br>Si la diferencia de temperatura es mayor a 15.0°C (288.5°K), ICOTEMP=1                    |
| $ICOpH = e^{-31.08+3.45pH} / 1 + e^{-31.08+3.45pH}$                      | ICOpH= índice de contaminación por pH   |

**Nota.** La tabla relaciona la información necesaria para el cálculo de cinco (5) índices de contaminación propuestos por Ramírez y Viña (1997) evaluados en las estaciones definidas en el río algodonál.

**Fuente.** Grupo de Investigación con base en información adaptada del Capitulo III. Índices de calidad (ICAs) y de Contaminación (ICOs) del agua de Importancia mundial. Del libro Índices de Calidad y Contaminación del agua. Fernandez Parada y Fredy, (2005)

Los resultados de los índices se comparan en una tabla con puntos de corte la cual asigna un rango numérico de cero (0) a uno (1). El grado de contaminación del agua se clasificará en orden ascendente en una de las cinco categorías, tal como se muestra a continuación.

**Tabla 11.**

*Significancia de los índices de contaminación ICOs*

| ICO      | Grado de contaminación | Escala de color   |
|----------|------------------------|---|
| 0-0.2    | Ninguna                |  |
| >0.2-0.4 | Baja                   |  |
| >0.4-0.6 | Media                  |  |
| >0.6-0.8 | Alta                   |  |
| >0.8-1   | Muy alta               |  |

**Nota.** Fuente: Ramírez et al. (1999).

### 3.4.3. Determinación de Índices de Calidad Biológica del Agua.

Con los resultados cuantitativos obtenidos de las cinco estaciones en los periodos de mas y menos lluvias se calcularán los índice BMWP/col, el índice ASPT y el índice EPT. Como se explica a continuación.

**Índice BMWP/Col.** Para su cálculo se deberá hacer la suma de las puntuaciones ecológicas de las familias bioindicadoras identificadas en ambos muestreos según el grado de Tolerancia a la eutrofización. La siguiente tabla muestra la adaptación para Colombia de familias bioindicadoras realizada por Zamora (1999).

**Tabla 12.**

*Puntuaciones asignadas a las familias de macro invertebrados bentónicos para la obtención del índice BMWP/col.*

| <b>FAMILIAS</b>   | <b>PUNTUACION</b> |
|---|-------------------|
| Plecoptera: Perlidae  | 10                |
| Ephemeroptera: Oligoneuriidae   |                   |
| Trichoptera: calamoceratidae  |                   |
| Coleóptera: Psephenidae   |                   |
| Díptera: Blepharoceridae  |                   |
| Odonata: Polythoridae   |                   |
| Ephemeroptera: Euthyplociidae   | 9                 |
| Trichoptera: Helicopsychidae, Odontoceridae,<br>Philopotamidae, Anomalopsychidae. |                   |
| Coleóptera: Ptilodactylidae   |                   |
| Megaloptera: corydalidae.   |                   |
| Ephemeroptera: Leptophlebiidae, Polymitarcyidae,<br>Caenidae                      | 8                 |
| Trichoptera: Leptoceridae, Hidrobiosidae,<br>Xiphocentronidae, Hydroptilidae.     |                   |
| Odonata: Gomphidae.   |                   |
| Ephemeroptera: Leptohiphidae  | 7                 |
| Trichoptera: Glossosomatidae, Polycentropodidae                                   |                   |

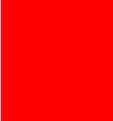
|  |   |
|--|---|
| Coleóptera: Elmidae  |   |
| Odonata: Aeshnidae, Calopterygidae.                                      |   |
| Coleóptera: Elmidae, Scyrtidae   | 6 |
| Odonata: Coenagrionidae  |   |
| Díptera: Simuliidae  |   |
| Hemiptera: Corixidae, Gerridae, Veliidae.                                |   |
| Gasteropoda: Ancyliidae  |   |
| Ephemeroptera: Baetidae  | 5 |
| Trichoptera: Hydropsychidae  |   |
| Coleóptera: Staphylinidae  |   |
| Odonata: Libellulidae  |   |
| Hemiptera: Naucoridae  |   |
| Díptera: Tipulidae, Muscidae   |   |
| Coleóptera: Curculionidae, Crysomelidae,<br>Hydrophilidae, Gyrinidae.    | 4 |
| Díptera: Tabanidae, Ceratopogonidae, Psychodidae,<br>Dixidae, Empididae. |   |
| Hemiptera: Belostomatidae  |   |
| Lepidoptera: Pyralidae   |   |
| Tricladida: Planariidae  |   |
| Gasteropoda: Planorbidae, Lymnæidae, Thiaridae                           |   |
| Coleóptera: Dytiscidae   | 3 |
| Hemiptera: Hydrometridae   |   |
| Gastropoda: Physidae   |   |
| Bivalvia: Sphaeriidae  |   |
| Hirudinea: Glossiphoniidae   |   |
| Díptera: Chironomidae, Culicidae, Syrphidae                              | 2 |
| Oligochaeta: Tubificidae   | 1 |

**Nota.** Fuente: Alba Tarcedor y Sanches Ortega (1988)

**Índice ASPT.** Es la variante que surge de dividir el BMWP/ N° de Taxones totales involucradas en el cálculo. (Walley & Hawkes, 1997). Los valores de BMWP/Col y de ASPT se correlacionan con cinco grados de contaminación y con cinco colores que los representa en la cartografía de Calidad de las aguas (Alvares *et al.*, 2006)

**Tabla 13.**

*Valores de BMWP y ASPT con respecto a cada familia Bioindicadoras.*

| Clase      | Calidad     | Valor Del BMWP/col | Valor Del ASPT | Significado  | Color   |
|------------|-------------|--------------------|----------------|--|---|
| <b>I</b>   | Buena       | >150               | >9-10          | Aguas muy limpias  |  |
|            | Aceptable   | 101-120            | >8-9           | Aguas no contaminadas  |   |
| <b>II</b>  | Dudosa      | 61-100             | >6.5-8         | Ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de contaminación |  |
| <b>III</b> | Critica     | 36-60              | >4.5-6.5       | Aguas moderadamente contaminadas                                 |  |
| <b>IV</b>  | Muy Critica | 16-35              | >3-4.5         | Aguas muy contaminadas   |  |
| <b>V</b>   |             | <15                | 1-3            | Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica.               |  |

**Nota.** Fuente: Roldan (2003), Modificada en Álvarez (2006)

#### 3.4.4. Tratamiento Estadístico.

A cada conjunto de datos fisicoquímicos y biológicos se realizaron análisis estadísticos descriptivos para conocer las medidas de tendencia central y las medidas de variabilidad (desviación estándar y Varianza de los datos). El comportamiento observado se representó en gráficas de Histogramas y líneas con marcadores para diferenciar los puntos de quiebre.

Para seleccionar las variables fisicoquímicas más significativas para analizar criterios de calidad del agua, se realizó el análisis de correlación de Pearson que permite estimar en una matriz la naturaleza y fuerza de relación entre variables ambientales.

Los resultados del análisis Bacteriológico se representaron en Diagramas Box-plot (cajas y bigotes) que permite observar gráficamente la tendencia de agrupación del 25%, 50% y 75% de los datos para interpretar la desviación de los datos. Adicionalmente, se puede presentar los valores atípicos del muestreo.

Para saber, cuales son las familias de mayor importancia con respecto a la bioindicación de calidad del agua, se aplicó un método estadístico-descriptivo, que permite interpretar de manera clara y concisa, la abundancia de taxones por estaciones y épocas de muestreo. La salida de datos se representó por medio de gráficos de sedimentación y Distribución porcentual de las familias con mayores pesos estadísticos.

La asociación entre las variables fisicoquímicas y biológicas se exploraron mediante un análisis de correspondencia canónica (ACC) para evaluar la significancia estadística del ordenamiento de los ejes canónicos se realizaron las pruebas de permutaciones de Monte Carlo (permutaciones  $< 0,05$ ). Para evaluar La similitud entre estaciones, se evaluó el Índice de Jaccard a partir de una matriz de presencia/ausencia de las familias recolectadas en cada uno de los puntos y periodos de muestreo. La salida de resultados se representó en un Dendograma de Similitud.

Los análisis estadísticos fueron realizados Utilizando los paquetes de Software estadísticos PAST ® versión 3.13 y SPSS Versión 23.

## Capítulo 4: Fase V. Presentación de Resultados y Discusiones

### 4.1. Caracterización del Recurso Hídrico Superficial

#### 4.1.1. Caudal.

Los resultados del aforo en los cinco puntos de monitoreo definidos a lo largo del río algodonal, durante los dos periodos de muestreo, se muestran en las tablas a continuación.

**Tabla 14.**

*Caudales de las cinco estaciones monitoreadas en época de más lluvia.*

| Estaciones              | Método de Aforo | Caudal (m <sup>3</sup> /s) |
|-------------------------|-----------------|----------------------------|
| 1                       | Molinete        | 1,009                      |
| 2                       | Molinete        | 0,773                      |
| 3                       | Molinete        | 1,080                      |
| 4                       | Molinete        | 2,375                      |
| 5                       | Molinete        | 2,711                      |
| <b>Media Aritmética</b> |                 | 1,5896                     |

**Tabla 15.**

*Caudales de los cinco putos monitoreados en época de menos lluvia.*

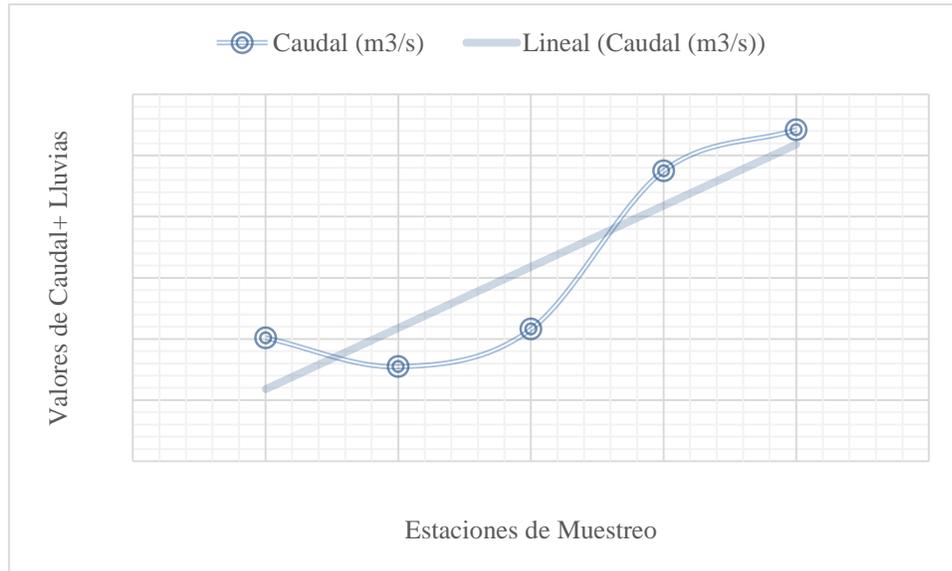
| <b>Punto</b>            | <b>Método de Aforo</b> | <b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b> |
|-------------------------|------------------------|---------------------------------|
| <b>1</b>                | Molinete               | 0,555                           |
| <b>2</b>                | Molinete               | 0,686                           |
| <b>3</b>                | Molinete               | 0,99                            |
| <b>4</b>                | Molinete               | 1,74                            |
| <b>5</b>                | Molinete               | 1,72                            |
| <b>Media Aritmética</b> |                        | 1,138                           |

**Nota:** Los estadísticos descriptivos para efectos de confiabilidad de los datos de caudal tomados en los dos muestreos se muestran a continuación.

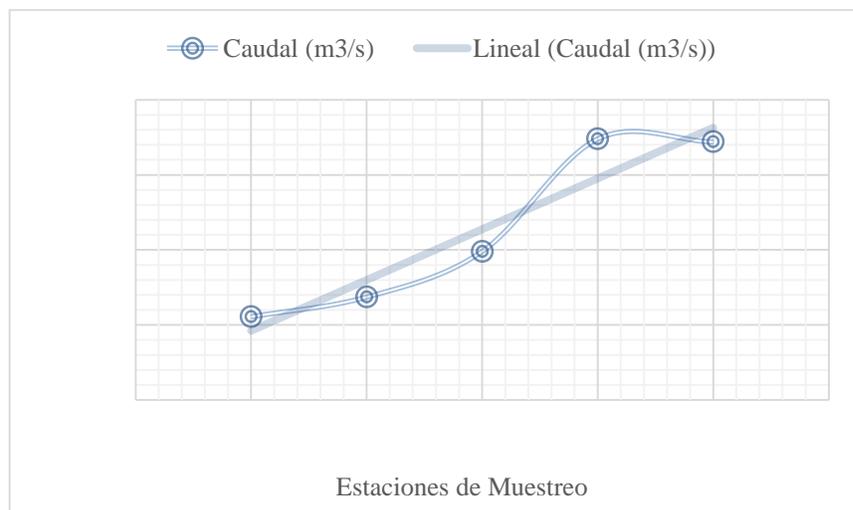
**Tabla 16.**

*Estadísticos Descriptivos para los datos de caudal analizados.*

|  | <b>N</b> | <b>Mínimo</b> | <b>Máximo</b> | <b>Media</b> | <b>Desviación estándar</b> | <b>Varianza</b> |
|--|----------|---------------|---------------|--------------|----------------------------|-----------------|
| <b>Valores de Caudales (m<sup>3</sup>/s)</b> | 10       | ,555          | 2,711         | 1,36390      | 0,738967                   | 0,546           |



**Figura 6. Curva de dispersión para los caudales medidos en las cinco estaciones de más lluvia.**



**Figura 7. Curva de Dispersión para los caudales medidos en las cinco estaciones en período de menos lluvias.**

**Fuente:** Grupo de Investigación

Los aforos realizados en ambos periodos de muestreos (03 abril 2016- 16 junio 2016) para el levantamiento de datos de caudal, estuvieron inmersos en un contexto de variabilidad climática caracterizada por dos efectos bien definidos. El primero un frente cálido en el pacífico tropical, lo que a su vez causó un fenómeno meteorológico comúnmente conocido como el fenómeno del niño, evidenciado es una disminución significativa de las lluvias que afectó fuertemente los caudales de las fuentes hídricas superficiales de la región caribe y la región andina en un periodo oficial extendido, según el reporte del IDEAM (2016), desde mayo 2015 hasta marzo de 2016. El segundo, una intensa actividad en el Océano Atlántico Tropical, la cual dio lugar a que se presentara una temporada de ondas tropicales, con una oleada de lluvias atípicas mínimas fuera de época.

Si se realiza una comparación directa entre las fechas de afectación climática de fenómeno del niño y el periodo de muestreo para la época de más lluvias, Es probable que los resultados atípicos de caudales para el primer muestreo (03 abril-2016) se deban a efectos colaterales persistentes del fenómeno de variabilidad climática sobre las fuentes hídricas superficiales. Es decir, las lluvias que se presentaron durante el periodo de abril 2016 fueron considerablemente más bajas respecto a las precipitaciones de la misma temporada en años anteriores.

Si bien comparar el comportamiento meteorológico y pluviométrico en periodos de muestreo no es un objetivo de esta investigación, es importante exponer el argumento para interpretar los niveles de caudales determinados por debajo de la media frente a los resultados publicados por la Asociación Promotora Medioambiental (2008), quienes utilizando la misma

técnica de molinete, obtuvieron aforos de 1,487 - 4,264 y 3,35 expresados en  $\text{m}^3/\text{s}$  para las estaciones 1, 4 y 5 (Nacimiento Río Algodonal, Cien metros Aguas debajo de la confluencia de los efluentes del corregimiento de la ermita y el municipio de la playa. Y 100 m aguas arriba de la torre de captación de ESPO) respectivamente. Esto significa que al menos en los puntos comparados hubo una reducción en los caudales de 0,478 - 1,889 - 0,639  $\text{m}^3/\text{s}$  durante el periodo de más lluvias de 2016 respecto a la misma época (16-29 abril) en 2008.

#### **4.1.2. Caracterización Organoléptica del agua.**

A los sentidos, los resultados obtenidos son los siguientes:

***Estación 1.*** Presenta un color aparente amarilloso derivado quizá del contacto con el detritus orgánico como hojas y madera en diversos estados de descomposición que estuvieron presentes en las márgenes del río. Es muy probable que el aporte del color aparente café se deba también a la presencia de diatomeas y algas *cianophyceae* identificadas en diferentes sustratos a lo largo de la sección. Realizando una aproximación edafológica del río, presentó un estero arenoso y pedregoso que facilita el arrastre e intercambio de sedimentos en suspensión. No se detectó presencia de olores ofensivos sin embargo, la variedad de extractos vegetales en descomposición aporta un olor tolerable característico sin representar factores de contaminación importantes.

**Estación 2.** Presentó un color aparente café amarilloso menos profundo que la primera estación para temporada de menos lluvias. Sin embargo a diferencia del primer punto, no se percibieron sustratos vegetales en descomposición. Por otra parte, para el segundo sub-muestra en periodo menos lluvias se percibieron olores a pescado que si bien puede provenir de clase de algas *chlorophyceae*; también, según DIGESA (2014) puede tener su origen en vertidos de residuos municipales e industriales o en una actividad microbiana asociada con bacterias reductoras de metano. Cabe aclarar que las lluvias atípicas de días anteriores (efecto de variabilidad climática del periodo) pudieron haber provocado una reoxigenación del flujo y la activación de bacterias del género coliformes que son útiles para destruir la materia orgánica en procesos biológicos.

**Estación 3.** Se observa el mismo color aparente del punto 2. No obstante, desaparecen los olores ofensivos. La presencia de un rápido en la sección, de bordes salientes con vegetación macrófita y troncos leñosos propicia hogar y sustrato para macro-invertebrados y algas bentónicas que reactivan procesos biológicos de degradación-oxigenación convirtiendo la lámina de agua en inodora, al mismo tiempo que bio-indican mejor calidad del agua.

**Estación 4.** Esta estación presentó la mayor concentración de sólidos en suspensión que daban al agua su color aparente. La tabla de resultados físico-químicos confirma un valor mayor de color real (26 UPtCo) frente a los demás puntos monitoreados. El estero de la sección con un sustrato fangoso compuesta por una lámina de depósitos de sedimentos acumulados en el tiempo se convierte en el mayor aporte de material en suspensión de la lámina de agua en un ciclo de

depósito-remoción atribuida a las fluctuaciones de río. No obstante, la sección es inodora sin que eso esté relacionada específicamente a la presencia de actividad biológica importante. Ya que no se avistaron suficientes hábitats que pudieran generar la discusión.

**Estación 5.** Desde el punto de vista organoléptico es el más parecido al punto 1. Al margen de todos los afluentes que descargan vertimientos agrícolas y aguas residuales domésticas (ARD) durante todo el recorrido hasta la estación 5. El agua es café claro, por lo agregados de detritos orgánicos. Inodora con presencia de múltiples hábitats en la sección del río, con mayor diversidad de especies vegetales reconocidas a los márgenes que por rizofiltración pueden coadyuvar a la aireación del agua a la vez que sirven de sustrato a especies algales que prestan el mismo servicio.

#### 4.1.3. Reporte de Resultados Físico-Químicos.

**Tabla 17.**

*Parámetros Físico-Químicos evaluados.*

| Submuestreos                       | Unidad            | Muestreo en Temporada Más Lluvias |       |       |       |       | Muestreo en Temporada menos Lluvia |       |       |       |       |
|------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                                    |                   | 03-abr-16                         |       |       |       |       | 16-Junio-2016                      |       |       |       |       |
| Parámetro                          |                   | EST-1                             | EST-2 | EST-3 | EST-4 | EST-5 | EST-1                              | EST-2 | EST-3 | EST-4 | EST-5 |
| <b>Análisis in situ</b>            |                   |                                   |       |       |       |       |                                    |       |       |       |       |
| <b>Caudal</b>                      | m <sup>3</sup> /s | 1,009                             | 0,773 | 1,08  | 2,375 | 2,711 | 0,555                              | 0,686 | 0,99  | 1,74  | 1,72  |
| <b>oxígeno Disuelto</b>            | mg/L              | 8,35                              | 8,20  | 7,70  | 7,90  | 7,85  | 7,6                                | 6,9   | 6,3   | 6,4   | 6,4   |
| <b>Temperatura del Ambiente</b>    | °C                | 28                                | 28,5  | 23    | 26,7  | 26,5  | 26,6                               | 25,2  | 28    | 23,5  | 25,3  |
| <b>Temperatura del agua</b>        | °C                | 22,7                              | 24,5  | 26,5  | 25,7  | 26,5  | 20,9                               | 25,5  | 26,6  | 25    | 26    |
| <b>Análisis de Laboratorio</b>     |                   |                                   |       |       |       |       |                                    |       |       |       |       |
| <b>1. Análisis Físico-Químicos</b> |                   |                                   |       |       |       |       |                                    |       |       |       |       |

|                                    |                   |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |
|------------------------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Alcalinidad total</b>           | MgCaCO3/L         | 35.5  | 40.8  | 40.0  | 47.5  | 38,5  | 40     | 40,5  | 40    | 47    | 40,7  |
| <b>aluminio</b>                    | mg Al/L           | 2,31  | 2,13  | 1,96  | 2,36  | 1,95  | 1,67   | 1,63  | 2,15  | 1,15  | 1,09  |
| <b>Carbamatos</b>                  | : +               | <0,5  | <0,5  | <0,5  | <0,5  | <0,5  | <0,5   | <0,5  | <0,5  | <0,5  | <0,5  |
| <b>Color real</b>                  | UPtCo             | 13    | 16    | 15    | 26    | 14    | 12     | 14    | 16    | 18    | 26    |
| <b>conductividad</b>               | : +               | 66,7  | 67,2  | 67,5  | 67,3  | 79,1  | 42,3   | 40,5  | 42,5  | 47,5  | 40,5  |
| <b>Cloro</b>                       | mg Cl2/L          | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0    | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| <b>Cloruros</b>                    | mg Cl-/L          | 15,9  | 14,5  | 10,5  | 15,7  | 14,2  | 7,09   | 7,09  | 3,545 | 3,545 | 3,545 |
| <b>DBO5</b>                        | mg O2/L           | 1,65  | 1,77  | 1,75  | 1,77  | 1,85  | 0,69   | 0,15  | 0,13  | 0,78  | 0,42  |
| <b>Dureza Total</b>                | mg CaCO3/L        | 8,7   | 4,7   | 3,5   | 17,5  | 5,5   | 45,5   | 47,5  | 45    | 45,5  | 60    |
| <b>DQO</b>                         | mg O2/L           | 4,3   | 4,15  | 3,69  | 7,25  | 8,6   | 7,25   | 13,93 | 12,67 | 14,67 | 7,60  |
| <b>Fluoruros</b>                   | mg F-/L           | 8,7   | 7,5   | 3,5   | 17,5  | 5,5   | 8,5    | 7,7   | 5,5   | 4,8   | 4,5   |
| <b>Grasas y aceites</b>            | mg GyA/L          | 1,6   | 2,7   | 1,2   | 4,8   | 4,6   | 5,75   | 4,87  | 5,5   | 3,5   | 2,87  |
| <b>Hidrocarburos totales</b>       | mg TPH /L         | <0,5  | <0,5  | <0,5  | <0,5  | <0,5  | <0,5   | <0,5  | <0,5  | <0,5  | <0,5  |
| <b>Nitratos</b>                    | mg NO3/L          | 1,84  | 1,85  | 1,77  | 2,75  | 2,47  | 1,29   | 1,27  | 1,26  | 1,28  | 2,86  |
| <b>Nitritos</b>                    | mg NO2/L          | 0,01  | 0,015 | 0,012 | 0,09  | 0,02  | 0,032  | 0,034 | 0,048 | 0,055 | 0,156 |
| <b>Nitrógeno amoniacal</b>         | mg NH3-N/L        | 2,8   | 2,8   | 3,7   | 2,7   | 2,8   | 1,12   | 2,24  | 2,24  | 2,28  | 0,56  |
| <i>“Tabla 17 continuación”</i>     |                   | <0,03 | <0,03 | <0,03 | <0,03 | <0,03 | <0,03  | <0,03 | <0,03 | <0,03 | <0,03 |
| <i>“Tabla 17 continuación”</i>     |                   | <0,03 | <0,03 | <0,03 | <0,03 | <0,03 | <0,003 | <0,03 | <0,03 | <0,03 | <0,03 |
| <b>Ortofosfatos</b>                | mg PO4/L          | 0,17  | 0,17  | 0,15  | 0,23  | 0,19  | 0,15   | 0,17  | 0,15  | 0,18  | 0,15  |
| <b>PH y temperatura</b>            | unidades de pH/°C | 7,18  | 7,23  | 7,30  | 7,42  | 7,26  | 7,6    | 6,9   | 6,3   | 6,5   | 6,4   |
| <b>Solidos suspendidos totales</b> | mg SST/L          | 42,4  | 38,3  | 31,3  | 42,4  | 20,1  | 4,0    | 5,0   | 4,0   | 4,0   | 2,0   |
| <b>Solidos totales</b>             | mg SST/L          | 112   | 90    | 97    | 88    | 105   | 68     | 70    | 88    | 75    | 88    |
| <b>Solidos disueltos</b>           | mg SST/L          | 69,6  | 68,7  | 65,7  | 74,5  | 84,9  | 44,3   | 39,56 | 42,5  | 52,7  | 40,6  |
| <b>Sulfatos</b>                    | mg SO42/L         | 8,48  | 7,85  | 7,93  | 7,85  | 7,95  | 8,45   | 7,80  | 7,85  | 7,80  | 7,87  |
| <b>Tensoactivos</b>                | mg SAAM/L         | 0,05  | 0,08  | 0,07  | 0,08  | 0,05  | 0,05   | 0,06  | 0,07  | 0,08  | 0,04  |
| <b>Turbiedad</b>                   | NTU               | 68    | 70    | 64    | 65    | 54    | 26,8   | 27,7  | 28,9  | 29,5  | 32,4  |
| <b>2. Análisis Bacteriológicos</b> |                   |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |
| <b>Recuento Coliformes Totales</b> | NMP/100 mL        | 5400  | 2500  | 700   | 3500  | 16000 | >1100  | >1100 | >1100 | >1100 | >1100 |
| <b>Recuento <i>E. coli</i></b>     | NMP/100 mL        | 790   | 750   | 700   | 330   | 130   | >1100  | >1100 | >1100 | >1100 | >1100 |

**Nota.** La tabla muestra la relación en los resultados de concentración de parámetros fisicoquímicos, Bacteriológicos y de metales evaluados en cinco (5) tramos del río algodonol durante dos periodos estacionales (más lluvias y menos lluvias). ND (no determinado para ese

periodo estacional). En los parámetros de carbamatos, Hidrocarburos totales, organofosforados, Organoclorados se relaciona el límite de detección reportado (*log out* ISO 17025) por el laboratorio acreditado contratado.

**Fuente.** Grupo de Investigación con base a resultados extraídos del Observatorio Socio-Ambiental UFPSO.

De la tabla anterior con los resultados o datos crudos es necesario ampliar algunos flecos de información antes de entrar al capítulo de discusión.

Los parámetros bacteriológicos están reportados con dos técnicas diferentes. Test de Sustrato Enzimático recomendado por el IDEAM, (2007), Utilizado por el laboratorio contratado (ver Método de análisis de parámetros fisicoquímicos y Bacteriológicos) y la Técnica de tubos múltiples o de fermentación recomendado por el Instituto Nacional de Salud (2011), utilizado por el laboratorio Institucional de la UFPSO.

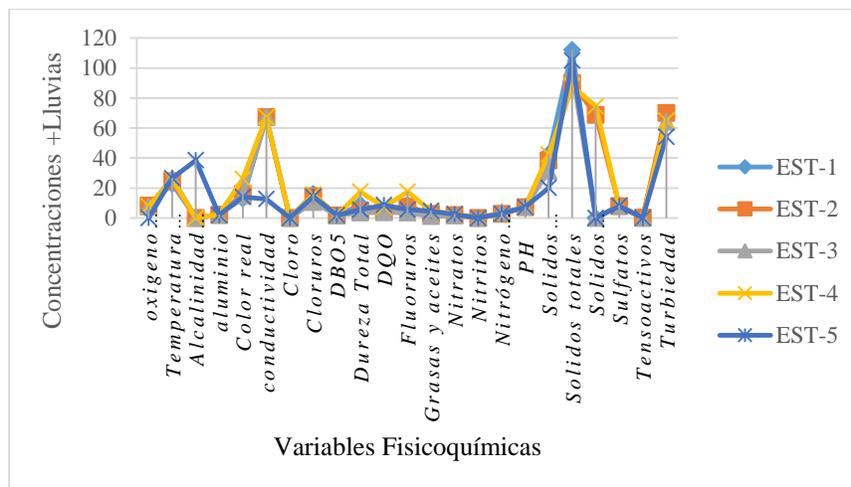
**Tabla 18.**  
*Estadísticos descriptivos de las variables físico-químicas.*

|                                  | <b>Rango</b> | <b>Mínimo</b> | <b>Máximo</b> | <b>Media</b> | <b>Desviación estándar</b> | <b>Varianza</b> |        |
|----------------------------------|--------------|---------------|---------------|--------------|----------------------------|-----------------|--------|
|                                  | Estadístico  | Estadístico   | Estadístico   | Estadístico  | Error estándar             | Estadístico     |        |
| <b>Oxígeno Disuelto</b>          | 2,05         | 6,3           | 8,35          | 7,36         | 0,24875                    | 0,78662         | 0,619  |
| <b>Temperatura del Agua (°C)</b> | 5,7          | 20,9          | 26,6          | 24,99        | 0,5883                     | 1,8604          | 3,461  |
| <b>Unidades de pH</b>            | 1,3          | 6,3           | 7,6           | 7,009        | 0,14486                    | 0,45807         | 0,21   |
| <b>Alcalinidad del Agua</b>      | 12           | 35,5          | 47,5          | 41,05        | 1,1455                     | 3,6225          | 13,123 |
| <b>Aluminio</b>                  | 1,27         | 1,09          | 2,36          | 1,84         | 0,1418                     | 0,4484          | 0,201  |

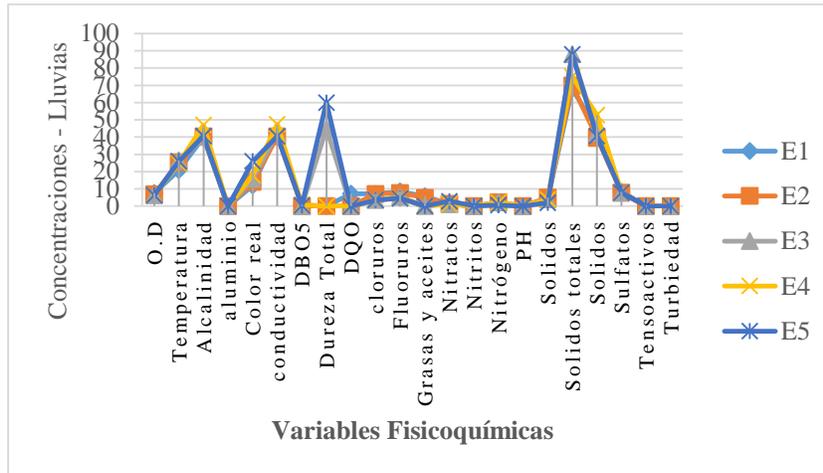
|                                    | <b>Rango</b> | <b>Mínimo</b> | <b>Máximo</b> | <b>Media</b> |                | <b>Desviación estándar</b> | <b>Varianza</b> |
|------------------------------------|--------------|---------------|---------------|--------------|----------------|----------------------------|-----------------|
|                                    | Estadístico  | Estadístico   | Estadístico   | Estadístico  | Error estándar | Estadístico                | Estadístico     |
| <b>Color Real en el Agua</b>       | 14           | 12            | 26            | 17           | 1,5916         | 5,0332                     | 25,333          |
| <b>Conductividad</b>               | 38,6         | 40,5          | 79,1          | 56,11        | 4,662          | 14,7424                    | 217,339         |
| <b>Cloro</b>                       | 0            | 0             | 0             | 0            | 0              | 0                          | 0               |
| <b>Cloruros</b>                    | 12,355       | 3,545         | 15,9          | 9,5835       | 1,658443       | 5,244457                   | 27,504          |
| <b>Dureza Total</b>                | 56,5         | 3,5           | 60            | 28,34        | 7,0212         | 22,2029                    | 492,969         |
| <b>DBO<sub>5</sub></b>             | 1,72         | 0,13          | 1,85          | 1,096        | 0,23001        | 0,72736                    | 0,529           |
| <b>DQO<sub>5</sub></b>             | 10,98        | 3,69          | 14,67         | 8,411        | 1,28455        | 4,06212                    | 16,501          |
| <b>Fluoruros</b>                   | 14           | 3,5           | 17,5          | 8,64         | 1,5723         | 4,972                      | 24,72           |
| <b>Grasas y Aceites</b>            | 4,55         | 1,2           | 5,75          | 4,032        | 0,50815        | 1,6069                     | 2,582           |
| <b>Nitratos</b>                    | 1,6          | 1,26          | 2,86          | 1,864        | 0,19838        | 0,62734                    | 0,394           |
| <b>Nitritos</b>                    | 0,146        | 0,01          | 0,156         | 0,0472       | 0,014351       | 0,045382                   | 0,002           |
| <b>Nitrógeno Amoniacal</b>         | 3,14         | 0,56          | 3,7           | 2,252        | 0,28034        | 0,8865                     | 0,786           |
| <b>Ortofosfatos (</b>              | 0,08         | 0,15          | 0,23          | 0,171        | 0,00795        | 0,02514                    | 0,001           |
| <b>Sólidos Suspendidos Totales</b> | 40,4         | 2             | 42,4          | 19,343       | 5,5559         | 17,5694                    | 308,683         |
| <b>Sólidos Totales</b>             | 44           | 68            | 112           | 88,1         | 4,5251         | 14,3097                    | 204,767         |

|                          | Rango       | Mínimo      | Máximo      | Media       | Desviación estándar | Varianza    |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|-------------|
|                          | Estadístico | Estadístico | Estadístico | Estadístico | Error estándar      | Estadístico |
| <b>Sólidos Disueltos</b> | 45,3        | 39,6        | 84,9        | 58,306      | 5,1662              | 266,899     |
| <b>Turbiedad (NTU)</b>   | 43,2        | 26,8        | 70          | 46,63       | 6,0168              | 362,02      |

**Nota:** La tabla muestra los estadísticos descriptivos para las variables fisicoquímicas de las estaciones de muestreo Fuente. Grupo de Investigación.



**Figura 8. Resultados físico-químicos evaluados en las cinco estaciones para temporada de más lluvia.**



**Figura 9. Comportamiento de las variables de menos lluvias.**

**Fuente.** Grupo de Investigación

Con base en la información estadística observada en la tabla 18 y el comportamiento general de las variables a lo largo de las estaciones monitoreadas en los periodos de más y menos lluvias, se observa que La temperatura del agua varió entre 20,9 °C y 26,6 °C, registrándose el valor máximo en el punto del nacimiento río algodonal (E1), durante el muestreo de menos lluvias. Por su parte el pH presentó poca variabilidad de acuerdo a la varianza de 0,21, se registraron los valores mínimos y máximos en el muestreo de menos lluvias. Con resultados que oscilaron entre 6,3 aguas abajo de la laguna Oxidación (E3) y 7,6 en la (E1). Con base en la literatura técnica, esto quiere decir que aun en temporada de menos lluvias, donde se espera mayor incidencia de la ionización en el agua, los puntos evaluados no presentan acidez debido a la contaminación por mineralización y mantienen los procesos bioecológicos productivas.

Por otra parte, la conductividad presentó los valores más altos Aguas arriba de la bocatoma (E5) con 79,1  $\mu\text{S/cm}$  y los valores más bajos 100 metros aguas arriba de la laguna de estabilización, en la (E2) con 40,5  $\mu\text{S/cm}$ . Esto según Cantera Kindz, et al, (2009) se consideran valores propios de los ríos de montañas.

Los sólidos suspendidos totales fue uno de los parámetros que presentó mayor variabilidad entre estaciones con valores comprendidos entre 2,0 mg SST/L registrados en la (E5) y 42,4 mg SST/L en las (E1 y E5). Dicho comportamiento, se debe a que estos fueron tomados en temporadas de lluvia y sequía. En general, estos registros se consideran normales de acuerdo con la ubicación altitudinal de las estaciones (E1 y E5), por ejemplo están ubicados en la parte media alta y media baja del río algodonal, donde se encontraron valores pico de conductividad y valores altos de sólidos Totales debido al arrastre y acumulación de sedimentos.

Para la dureza, el valor máximo fue 60 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  en la estación aguas arriba de la bocatoma ESPO (E5) y el valor mínimo de 3,5 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  en la estación 100 metros aguas abajo de la laguna de estabilización de Abrego (E3). Estos resultados clasifican las aguas en general como aguas blandas (0-75 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ) ideales para propósitos sanitarios. No obstante, en términos biológicos N  $7 + 3$ ; D  $4 + + + + + + +$  mg  $\text{CaCO}_3$ :  $+ + + + + + + + + + + +$  resultado de dureza obtenida para (E3) en vista de que el reporte mínimo fue durante la época de mayor dilución de iones carbonaceos por el agua. Adicionalmente, los resultados varían significativamente en los nuestros de más lluvias y menos lluvias (3,5-45 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ), con una

media aritmética de 28,34 mg CaCO<sub>3</sub>/L que ubica el comportamiento de dureza en la (E3) en el rango de clasificación otorgada para las aguas muy productivas (>25 mg CaCO<sub>3</sub>/L). En todos los casos anteriores, los valores de estos parámetros se consideran normales de acuerdo la norma técnica de calidad del agua para consumo humano y doméstico propuestas en el decreto 1594/84.

Para el oxígeno disuelto los valores promedios oscilaron entre 6,3 mg/L en la estación hasta 100 metros aguas abajo laguna estabilización Abrego (E3) y 8,35 mg/L en la (E1) Nacimiento algodonal. Estos valores demuestran que presentaron poca variabilidad entre los muestreos en periodos de más y menos lluvias con un promedio entre los tramos censados de 7,36 mg/L que indican que los registros de Oxígeno disuelto se consideran de óptima calidad siendo un indicativo de buena capacidad de reoxigenación del río Algodonal.

Un caso similar a este, acerca del comportamiento del oxígeno disuelto fue descrito por Jiménez y Veles (2007) en la quebrada Doña maría, la cual recibe aportes de aguas residuales en el sitio donde confluye con el río Medellín. Estos autores consideran que los niveles altos de oxígeno disuelto en la parte baja de la quebrada Doña maría son inducidos por la geomorfología del cauce y las distintas obras de disipación de energía construidas en su recorrido, hechos que inducen que inducen un incremento del oxígeno disuelto aguas debajo de la corriente.

Las variables de DBO y DQO presentaron variaciones importantes entre periodos de muestreo. Los valores más altos registrados para estos parámetros en temporada de más lluvias fueron aguas arriba de la bocatoma ESPO (E5) con valores de 1,85 mg O<sub>2</sub>/L y 8,6 mg O<sub>2</sub>/L

respectivamente; mientras que la estación con los menores valores fue el reporte en el nacimiento río Algodonal (E1) con valores respectivos de 1,65 mg O<sub>2</sub>/L y 4,3 mg O<sub>2</sub>/L aunque la (E2) reportó para DQO 4,15 mg O<sub>2</sub>/L. En la temporada de menos lluvias los valores reportados subieron considerablemente, con valores picos registrados en el punto san Luis (E4) con 0,78 mg O<sub>2</sub>/L y 14,67 mg O<sub>2</sub>/L respectivamente. Estos resultados demuestran que el río Algodonal a lo largo de su recorrido presenta buena capacidad de autodepuración a pesar de recibir descargas de materia orgánica en buena parte de su trayecto.

A nivel general, todos los parámetros evaluados en el muestreo de más lluvias estuvieron por debajo de los valores máximos permisibles establecidos en el capítulo IV del decreto 1594/84 (criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico) y de las normativas internacionales establecidas por la OMS -Organización Mundial de la Salud-, (2008) en la tercera edición de las guías para la calidad del agua potable. El comportamiento de las variables entre las estaciones y periodos de muestreos es similar al observado para otros ríos de Colombia con alturas y condiciones similares como es el caso de Mosnalve D & Bustamante T, (2009) quienes determinaron interrelaciones entre los componentes del caudal ecológico en el tramo Boquía-Puente Balboa en el río Quindío. Contrarios a estos resultados son los publicados por la Organización Promotora Medio Ambiental, quienes en el (2008), monitorearon la cantidad y calidad del agua en once (11) tramos del río Algodonal y el río obteniendo reportes de Oxígeno disuelto, DBO<sub>5</sub>, Sólidos Suspendidos totales, Nitritos, nitratos por encima de los valores máximos permisibles. Esto significa que la calidad actual del agua del río Algodonal ha mejorado significativamente respecto a los reportes de 2008.

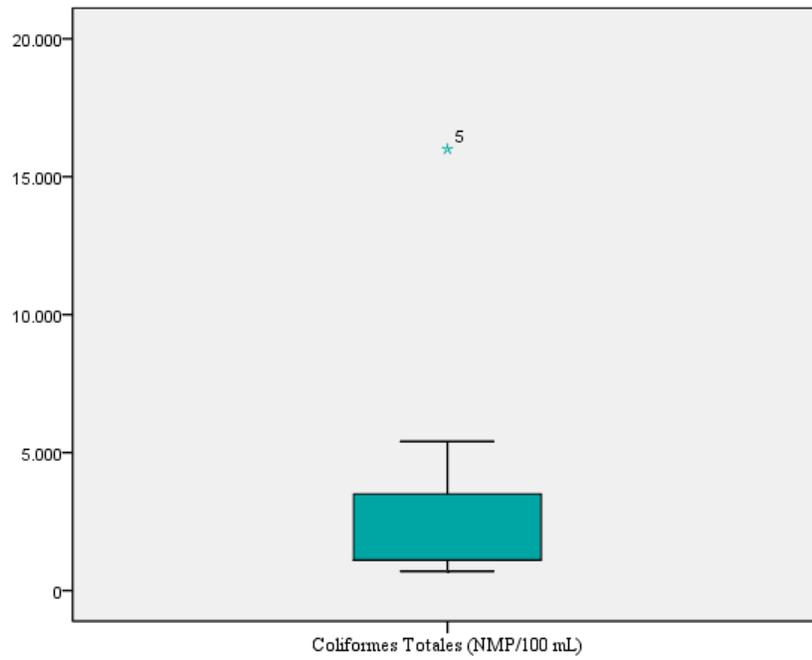
#### 4.1.4. Resultados de Análisis Microbiológicos.

**Tabla 19.**

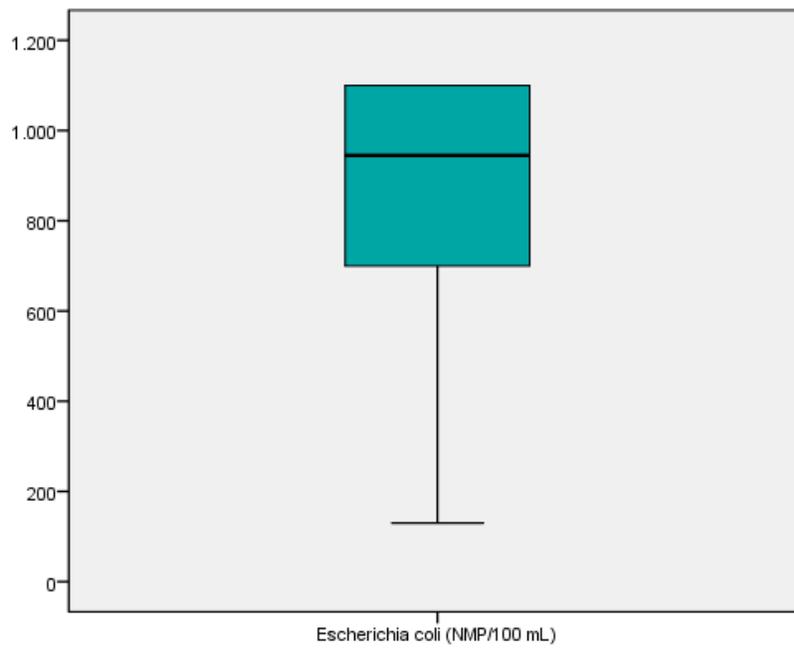
*Resumen estadístico descriptivo de variables microbiológicas.*

|  |   |                 | Estadístico  | Error estándar |
|--|---|-----------------|--------------|----------------|
| <b>Coliformes Totales (NMP/100 mL)</b> | Media                                       |                 | 3360,00      | 1480,630       |
|  | 95% de intervalo de confianza para la media | Límite inferior | 10,58        |                |
|  |   | Límite superior | 6709,42      |                |
|  | Mediana                                     |                 | 1100,00      |                |
|  | Varianza                                    |                 | 21922666,667 |                |
|  | Desviación estándar                         |                 | 4682,165     |                |
|  | Mínimo                                      |                 | 700          |                |
|  | Máximo                                      |                 | 16000        |                |
|  | Asimetría                                   |                 | 2,640        | ,687           |
|  | Curtosis                                    |                 | 7,343        | 1,334          |
| <b>Escherichia coli (NMP/100 mL)</b>   | Media                                       |                 | 820,00       | 111,972        |
|  | 95% de intervalo de confianza para la media | Límite inferior | 566,70       |                |
|  |   | Límite superior | 1073,30      |                |
|  | Mediana                                     |                 | 945,00       |                |
|  | Varianza                                    |                 | 125377,778   |                |
|  | Desviación estándar                         |                 | 354,087      |                |
|  | Mínimo                                      |                 | 130          |                |
|  | Máximo                                      |                 | 1100         |                |
|  | Asimetría                                   |                 | -1,059       | ,687           |
|  | Curtosis                                    |                 | ,038         | 1,334          |

**Nota.** La tabla con los estadísticos descriptivos de las variables coliformes fecales y *E.coli* relaciona la dispersión y simetría de distribución de los datos con un 95% de nivel de confianza. Fuente. Grupo de Investigación



**Figura 10. Diagrama Box-Plot para coliformes fecales.**



**Figura 11. Diagrama Box-Plot para E. coli.**

El diagrama de cajas y bigotes para coliformes fecales (figura 10) toma los datos reportados como  $>1100$  NMP/100 mL para Establecer la base del valor mínimo. También registra que el valor máximo con un 95 % de confianza se encontró en el punto de nacimiento del río algodonal (E1) con 5400 NMP/100 mL. Adicionalmente, la gráfica manifiesta valores atípicos en la estación aguas arriba de la bocatoma de ESPO S.A (E5) con 16000 NMP/100 mL. Es probable que estos valores se deban a una lluvia repentina que provocaron interferencias en el muestreo microbiológico por una crecida súbita del caudal del río, traducido en mayor concentración de material en suspensión y material de arrastre del fondo y márgenes del río. En consecuencia, los datos microbiológicos tomados sobre la interferencia, resultaron en valores atípicos de concentración.

Por otra parte el diagrama de cajas y bigotes para la evaluación de *E. coli* entre las estaciones y periodos de muestreo (figura 11) presenta un resultado mínimo de 130 NMP/100 mL monitoreado en el punto aguas arriba de la bocatoma de ESPO (E5). Así mismo demuestra que el 25 % de los resultados oscilan entre 330-750 NMP/100 mL y que el 50% de los resultados, se ubican posiblemente sobre la media de 945 NMP/100. Esto es, eliminando el error típico de reporte continuo a 1100 NMP/100 mL que a su vez, es el valor literal máximo reportado durante el muestreo de menos lluvias. En términos de calidad, la concentración promedio de *E. coli* entre las estaciones no es representativa de alta contaminación por carga orgánica en el río Algodonal que supongan condiciones rigurosas de desinfección.

Los resultados obtenidos en el recuento de coliformes totales y *E.coli* en ambos muestreos presentan una mejoría significativa sobre el reporte publicado por la Asociación Promotora Medioambiental (2008), quienes determinaron que el NMP/100 mL de coliformes fecales monitoreado en once (11) estaciones sobre el río algodonal durante tres (3) muestreos sobrepasaron los límites permisibles en las estaciones: Aguas arriba y aguas abajo de la laguna de estabilización de Abrego, Punto san Luis (E2, E3, E4) respectivamente.

En general estos registros indican que los resultados de recuentos de coliformes totales y *E.coli* realizados en las cinco (5) unidades de análisis están dentro de los límites legales permisibles referidos en el artículo 38 del Decreto 1594/84 sobre la destinación del recurso para consumo humano y doméstico e indican que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional (acueducto). Es decir, que la fuente de agua del río algodonal en ambos periodos de muestreo es segura para la potabilización, mas no lo es para un proceso basado solamente en desinfección.

#### 4.1.5. Resultados de Plaguicidas en el Agua.

**Tabla 20.**

*Estadístico descriptivo para las concentraciones de plaguicidas evaluadas en el agua.*

| Variable                                     | Mínimo      | Máximo      | Media       |                | Desviación estándar | Varianza    | Curtosis    |                |
|--|-------------|-------------|-------------|----------------|---------------------|-------------|-------------|----------------|
|  | Estadístico | Estadístico | Estadístico | Error estándar | Estadístico         | Estadístico | Estadístico | Error estándar |
| Carbamatos<br>:                              | 0,5         | 0,5         | 0,5         | 0              | 0                   | 0           | .           | .              |
| Ortofosfatos<br>(mg PO <sub>4</sub> /L)      | 0,15        | 0,23        | 0,171       | 0,00795        | 0,02514             | 0,001       | 2,777       | 1,334          |
| Compuestos<br>Organoclorados<br>3 : 4        | 0,03        | 0,03        | 0,03        | 0              | 0                   | 0           | .           | .              |
| Compuestos<br>Organo<br>Fosforados<br>3 g/L) | 0,03        | 0,03        | 0,03        | 0              | 0                   | 0           | .           | .              |

**Nota.** La Tabla presenta los valores de concentraciones determinadas en las cinco estaciones en forma descriptiva.

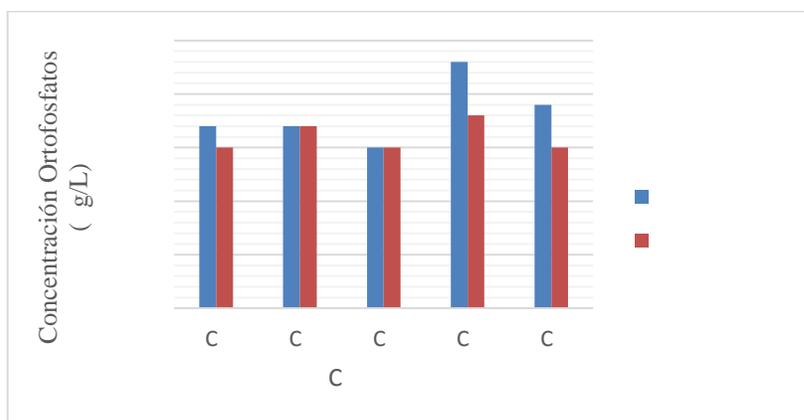
Las variables: carbamatos, los ortofosfatos y compuestos organolorados están reportados con base al límite de detección manejado por el laboratorio contratado (ISO 17025). Por tanto, los valores no presentan desviación en la tabla con los estadísticos descriptivos.

**Fuente.** Grupo de Investigación

Los plaguicidas que se evalúan e la tabla de resultados presentan concentraciones a nivel de trazas en todas las estaciones evaluadas durante los dos muestreos. Ninguna de estas variables

++ ++ ++ ++ + B G 7+ : 7  
++ + G 7 > : 4 y en la evaluación de los compuestos de

ortofosfatos se obtuvo una concentración máxima de 0,23 en la E4 (punto san Luis) durante la temporada de más lluvias. Por tanto, las concentraciones de plaguicidas basadas en los valores teóricos de los límites de detección y el reporte máximo ortofosfatos, están por debajo de los valores máximos permisibles exigidos en los numerales 1,2 y 3 del párrafo 1 y 2, artículo 8° de la resolución 2115 de 2007 (0,1-0,001 mg/L) y la OMS (1996) (0,5 : ). Entendidos como el total de plaguicidas presentes independientemente de la naturaleza de los mismos, (*Ver tabla D32*). Sin embargo, son necesarios estudios más detallados de sustancias químicas de interés sanitario reconocido por el Ministerio de la protección social en la resolución 2115 (2007), por la OMS (1996) y la EPA (2000) como altamente tóxicos que pueden generar riesgos teratogénicos mutagénicos y cancerígenos para la salud humana.



**Figura 12. Grafica de concentraciones de compuestos organofosforados evaluadas en las estaciones durante periodos de muestreos de más y menos lluvias.**

**Fuente:** Grupo de Investigación

## 4.2. Determinación de los Índices de Contaminación

La tabla 21 Promedia los resultados de ambos muestreos para presentar el resultado de Índice de contaminación para la estación. La leyenda puede interpretarse como el nivel de contaminación o como indicador de calidad. Así: Azul (baja contaminación o Agua de muy buena calidad. Verde, Baja contaminación o agua de buena calidad).

**Tabla 21.**  
*Índices de contaminación determinadas para cada estación y Época de Estudio*

| ICO'S      | E1    | PROMEDIO | LEYENDA       | E2    | PROMEDIO | LEYENDA       | E3    | PROMEDIO | LEYENDA       | E4    | PROMEDIO | LEYENDA       | E5    | PROMEDIO | LEYENDA       |
|------------|-------|----------|---------------|-------|----------|---------------|-------|----------|---------------|-------|----------|---------------|-------|----------|---------------|
| ICOMI 1    | 0,051 | 0,04     | Rango 0-0,2   | 0,051 | 0,042    | Rango 0-0,2   | 0,052 | 0,043    | Rango 0-0,2   | 0,052 | 0,045    | Rango 0-0,2   | 0,064 | 0,054    | Rango 0-0,2   |
| ICOMI 2    | 0,033 |          | NINGUNO       | 0,032 |          | NINGUNO       | 0,033 |          | NINGUNO       | 0,038 |          | NINGUNO       | 0,044 |          | NINGUNO       |
| ICOMO 1    | 0,061 | 0,08     | Rango 0-0,2   | 0,016 | 0,08     | Rango 0-0,2   | 0,071 | 0,117    | Rango 0-0,2   | 0,016 | 0,068    | Rango 0-0,2   | 0,014 | 0,0875   | Rango 0-0,2   |
| ICOMO2     | 0,095 |          | NINGUNO       | 0,144 |          | NINGUNO       | 0,162 |          | NINGUNO       | 0,12  |          | NINGUNO       | 0,161 |          | NINGUNO       |
| ICOSUS 1   | 0,316 | 0,25     | Rango 0,2-0,4 | 0,25  | 0,22     | Rango 0,2-0,4 | 0,271 | 0,258    | Rango 0,2-0,4 | 0,244 | 0,225    | Rango 0,2-0,4 | 0,295 | 0,2695   | Rango 0,2-0,4 |
| ICOSUS2    | 0,184 |          | BAJO          | 0,19  |          | BAJO          | 0,244 |          | BAJO          | 0,205 |          | BAJO          | 0,244 |          | BAJO          |
| ICOTEM P 2 | NA    |          |               | NA    |          |               | 0,302 | 0,302    | BAJO          | NA    |          |               | NA    |          |               |
| ICOpH 1    | 0,002 | 0        | Rango 0-0,2   | 0,002 | 0,002    | Rango 0-0,2   | 0,003 | 0,056    | Rango 0-0,2   | 0,004 | 0,005    | Rango 0-0,2   | 0,002 | 0,005    | Rango 0-0,2   |
| ICOpH 2    | 0,001 |          | NINGUNO       | 0,001 |          | NINGUNO       | 0,11  |          | NINGUNO       | 0,005 |          | NINGUNO       | 0,008 |          | NINGUNO       |

**Nota.** La tabla muestra los resultados de cinco índices de contaminación evaluados en cinco estaciones sobre el río algodonal durante dos muestreos (1 Temporada de más lluvias y 2 Temporada de menos lluvias)

**Fuente.** Grupo de Investigación.

**Tabla 22.***Resumen de promedios de índices de contaminación por estación de muestreo*

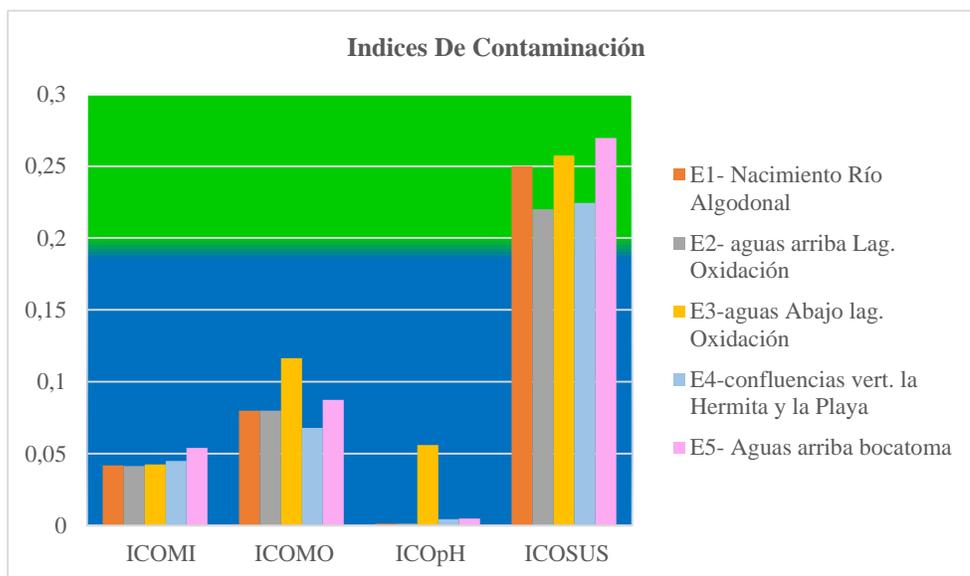
| Índice de contaminación | Promedio por Estación |       |        |       |        |       |        |       |        |       |
|-------------------------|-----------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
|                         | Est. 1                |       | Est. 2 |       | Est. 3 |       | Est. 4 |       | Est. 5 |       |
|                         | (+Ll)                 | (-Ll) | (+Ll)  | (-Ll) | (+Ll)  | (-Ll) | (+Ll)  | (-Ll) | (+Ll)  | (-Ll) |
| ICOMI                   | 0,051                 | 0,033 | 0,051  | 0,032 | 0,052  | 0,033 | 0,052  | 0,038 | 0,064  | 0,044 |
| ICOSUS                  | 0,316                 | 0,184 | 0,25   | 0,19  | 0,271  | 0,244 | 0,244  | 0,205 | 0,295  | 0,244 |
| ICOMO                   | 0,061                 | 0,095 | 0,016  | 0,144 | 0,071  | 0,162 | 0,016  | 0,12  | 0,014  | 0,161 |
| ICOpH                   | 0,002                 | 0,001 | 0,002  | 0,001 | 0,003  | 0,11  | 0,004  | 0,005 | 0,002  | 0,008 |
| ICOTemp                 | NA                    |       | NA     |       | 0,302  |       | NA     |       | NA     |       |

**Nota:** las siglas (NA), indica que (NO APLICA). Porque fue medido con base a la temperatura del vertimiento de la (E3)

**Tabla 23.***Rango de evaluación de los ICOs y Convenciones*

| Contaminación | Rango   | Indicador de Calidad | Color   |
|---------------|---------|----------------------|---|
| Ninguna       | 0-0,2   | Muy buena            |  |
| Baja          | 0,2-0,4 | Buena                |  |
| Media         | 0,4-0,6 | Media                |  |
| Alta          | 0,6-0,8 | Mala                 |  |
| Muy Alta      | 0,8-1,0 | Pésima               |  |

**Fuente.** Grupo de Investigación



**Figura 13. Índices de contaminación en las cinco estaciones de estudios.**  
**Fuente:** Grupo de Investigación

Como se muestra en la tabla 23 y la figura 13 Los índices de contaminación acuática (ICO's ICA) propuestos por Ramírez y Viña (1997-1998), ninguna de las estaciones presentó contaminación por mineralización, por cambios significativos en el pH atribuido a la eutrofización del sistema, ni tampoco se presentó contaminación por exceso de materia orgánica a la capacidad auto depurativa del río. Sin embargo se observaron en todas las estaciones condiciones de baja contaminación por sólidos suspendidos, posiblemente por las intervenciones antrópicas (actividad agrícola, pecuaria y el vertimiento de aguas residuales domésticas) que modifican el equilibrio iónico del agua.

De forma puntual en el tiempo, el nivel bajo de contaminación por sólidos suspendidos para el primer muestreo, puede estar asociado a las escorrentías derivadas de las lluvias y para el

segundo muestreo, a los menores caudales propios de la época seca del año. La tabla 22 muestra que el vertimiento de la laguna de estabilización del municipio de Abrego al río algodonal genera niveles bajos de contaminación atribuidos al cambio de temperatura al entrar en contacto con el sistema hídrico en la estación 3 (aguas debajo de la laguna de oxidación). En efecto, En igual medida, se producen alteraciones en las reacciones químicas y procesos biológicos en los diferentes niveles de profundidad de la lámina de agua que se vieron evidenciados en los resultados del reporte fisicoquímico y microbiológico en la tabla 17 y también quedarán detectados por los macroinvertebrados acuáticos evaluados en el índice BMWP/col, los cuales medirán en el efecto de la contaminación sobre la dinámica del ecosistema de la (E3).

En términos de calidad, el río algodonal presenta condiciones de muy buena calidad del agua en todas las estaciones de muestreo si se consideran únicamente variables relacionadas a procesos de mineralización, cambios de pH y concentración de materia orgánica. Estos resultados presentan una evolución en la calidad del agua respecto a los obtenidos en las diferentes estaciones definidas a lo largo del río algodonal en el monitoreo realizado por la Organización Promotora Medio Ambiental, (2008); quienes encontraron niveles de contaminación por materia Orgánica muy alto (pésima calidad) en los puntos: la Hamaca, Km23, Guayabal, San Luis y aguas arriba de la confluencia del río algodonal y el río Tejo. Igualmente, encontraron niveles muy bajos de contaminación por sólidos suspendidos. excepto en el punto la hamaca o, para el presente estudio, cercano al punto (E3) lo cual indica una tendencia sostenida de contaminación aguas abajo de la laguna de estabilización de abrego.

Al margen de la rápida capacidad de autodepuración del río, La condición de baja contaminación por sólidos suspendidos repetidas en todas estaciones, significa que el río no se alcanza a recuperar completamente del aporte constante proveniente de los vertimientos de aguas residuales y domésticas; Esta condición, en sí misma constituye un objetivo de calidad con futuras estrategias de gestión orientadas a generar una regresión o estabilización de la tendencia a un desequilibrio iónico y mejorar la integridad en la dinámica natural del cauce.

#### **4.3. Diversidad de Macro invertebrados Acuáticos.**

El muestreo de grupos bio-indicadores en el agua, en periodo de más y menos lluvias proporciona información de factores de contaminación presentes a lo largo del tiempo. Estos pueden manifestarse desde respuestas bioquímicas y fisiológicas individuales hasta respuestas a nivel de población o a nivel de comunidad. El principio elemental es la sensibilidad a las concentraciones de ciertos variables físico-químico que determinan comportamientos y cambios estructurales en sus poblaciones. De esta manera, se puede determinar la calidad del agua.

**Tabla 24.**  
*Clasificación taxonómica de Macro invertebrados colectadas en las cinco estaciones en periodo de más y menos lluvias*

| Clasificación Taxonómica Reconocida |                      |                        | Periodo de Muestreo y Riqueza por Estaciones |           |           |           |           |                                    |           |           |           |           |
|-------------------------------------|----------------------|------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Clase                               | Orden                | Familia                | 16-06-016 (Temporada menos lluvias)          |           |           |           |           | 05-08-2016 (Temporada más Lluvias) |           |           |           |           |
|                                     |                      |                        | E1   | E2        | E3        | E4        | E5        | E1                                 | E2        | E3        | E4        | E5        |
| <i>Insecta</i>                      | <i>Coleoptera</i>    | <i>Carábidae</i>       | 2  | 0         | 1         | 1         | 1         | 3                                  | 0         | 1         | 0         | 1         |
|                                     | <i>Odonata</i>       | <i>Calopterygidae</i>  | 9  | 1         | 3         | 2         | 1         | 7                                  | 0         | 2         | 1         | 0         |
|                                     |                      | <i>platycnemididae</i> | 0  | 0         | 2         | 1         | 1         | 0                                  | 0         | 1         | 1         | 1         |
|                                     | <i>Hemíptera</i>     | <i>Naucoridae</i>      | 1  | 0         | 1         | 2         | 4         | 2                                  | 0         | 1         | 1         | 3         |
|                                     |                      | <i>Alydidae</i>        | 0  | 1         | 0         | 1         | 0         | 0                                  | 0         | 0         | 0         | 0         |
|                                     |                      | <i>Vellidae</i>        | 4  | 4         | 18        | 7         | 5         | 7                                  | 4         | 13        | 5         | 8         |
|                                     | <i>Ephemeroptera</i> | <i>Baetidae</i>        | 3  | 0         | 0         | 1         | 2         | 2                                  | 0         | 0         | 0         | 1         |
|                                     |                      | <i>Ephemerellidae</i>  | 2  | 11        | 2         | 4         | 6         | 1                                  | 5         | 0         | 2         | 3         |
|                                     | <i>Trichoptera</i>   | <i>Hydropsychidae</i>  | 0  | 1         | 2         | 1         | 0         | 0                                  | 1         | 2         | 0         | 0         |
|                                     |                      | <i>Chyronomidae</i>    | 2  | 11        | 0         | 3         | 0         | 2                                  | 6         | 0         | 2         | 0         |
|                                     | <i>Diptera</i>       | <i>Empididae</i>       | 1  | 0         | 0         | 0         | 0         | 1                                  | 0         | 0         | 0         | 0         |
|                                     |                      | <i>ceratopogonidae</i> | 0  | 0         | 0         | 0         | 2         | 0                                  | 0         | 0         | 0         | 1         |
|                                     | <i>Plecoptera</i>    | <i>perlidae</i>        | 2  | 0         | 1         | 1         | 1         | 1                                  | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <i>perlodidae</i>                   |                      | 1                      | 1  | 1         | 0         | 1         | 0         | 0                                  | 1         | 0         | 1         |           |
| <i>Oligochaeta</i>                  | <i>Tubificida</i>    | <i>Naididae</i>        | 0  | 2         | 2         | 1         | 0         | 0                                  | 2         | 1         | 1         | 0         |
|                                     | <i>Haplotaxida</i>   | <i>Haplotaxidae</i>    | 3  | 0         | 0         | 0         | 1         | 2                                  | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <i>Phylactola emata</i>             | <i>plumatellida</i>  | <i>Fredericellidae</i> | 3  | 0         | 2         | 1         | 0         | 4                                  | 0         | 4         | 0         | 0         |
| <b>3</b>                            | <b>10</b>            | <b>17</b>              | <b>33</b>                                    | <b>32</b> | <b>35</b> | <b>26</b> | <b>25</b> | <b>32</b>                          | <b>18</b> | <b>26</b> | <b>13</b> | <b>19</b> |

**Nota.** Fuente. Grupo de Investigación.

La Diversidad en la comunidad de macro invertebrados está representada por 253 individuos representados por tres (3) clases, diez (10) Órdenes y 17 Familias distribuidas en 5

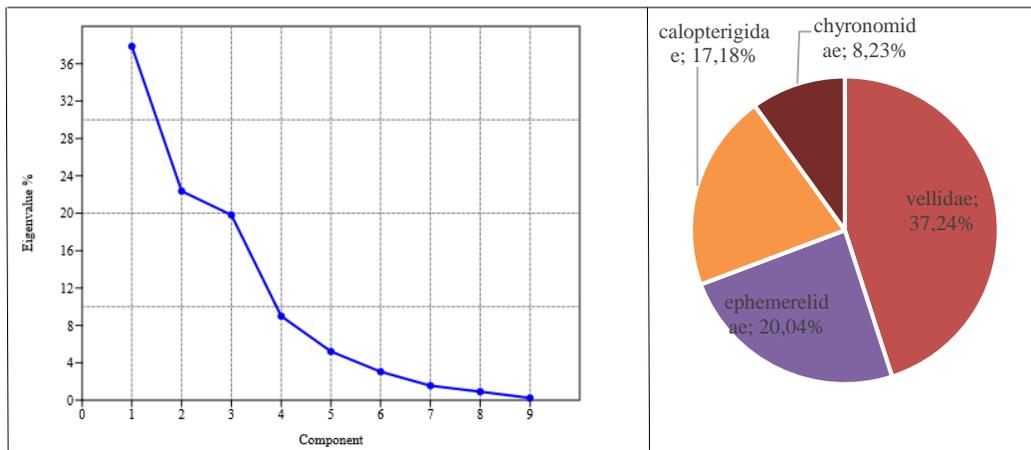
estaciones durante los dos muestreos realizados. En periodo de menos lluvias se colectaron 108 individuos y para el muestreo de más lluvias se colectaron 151 individuos respectivamente. Los macro invertebrados acuáticos encontrados se mostraban en su mayoría en etapa larval o de ninfa. Se registraron pocos ejemplares en estado adulto. La tabla muestra que proporcionalmente, predomina la clase insecta, con un total de 14 familias, seguidamente aparecen la clase Oligochaeta con dos familias y la clase Phylactolaemata con una familia identificada.

**Tabla 25.**

*Familias Macro invertebrados de mayor importancia en las estaciones*

| <b>componentes</b> | <b>familias</b> | <b>Valor propio</b> | <b>% varianza</b> |
|--------------------|-----------------|---------------------|-------------------|
| <b>1</b>           | Vellidae        | 1.37368             | 37.238            |
| <b>2</b>           | Ephemerellidae  | 0.739344            | 20.042            |
| <b>3</b>           | Calopterygidae  | 0.633595            | 17.176            |
| <b>4</b>           | Chyromidae      | 0.30371             | 8.2331            |
| <b>5</b>           | Naucoridae      | 0.247954            | 6.7217            |
| <b>6</b>           | Fredericellidae | 0.182232            | 4.94              |
| <b>7</b>           | Carábidae       | 0.115428            | 3.1291            |
| <b>8</b>           | Baetidae        | 0.0597406           | 1.6195            |
| <b>9</b>           | Naididae        | 0.0332019           | 0.90005           |

**Nota:** la tabla relaciona el % de variación de las familias con mayor frecuencia de aparición en las estaciones



**Figura 14. Gráficos de familias más dominantes identificadas en las cinco estaciones de muestreo**

**Fuente:** Grupo de Investigación

**Familias de Macro invertebrados más importantes.** La tabla 25 muestra que de 17 familias taxonómicamente identificadas, solo nueve (9) familias, tiene un % de varianza de 99,9% porque registraron mayor frecuencias de aparición de individuos en cada estación de muestreo. Sin embargo, entre las familias más importantes, el gráfico de sedimentación (figura 14) señala que solo cuatro (4) (Vellidae, Ephemerelida, calopterygidae y chyromidae), son las que tienen mayor dominancia respecto a las demás, agrupando entre ellas un porcentaje de varianza de 82,6891% esto quiere decir, que se repitieron con mayor frecuencia en todas las estaciones.

#### 4.4. Índice BMWP/col y ASPT

**Tabla 26.**

*Taxones reconocidos en las estaciones de muestreo*

| Puntaje<br>BMWP/<br>col | Familias Bio-Indicadoras Reconocidas En Las Cinco Estaciones De Muestreo |   |   |   |   |
|-------------------------|--|---|---|---|---|
|                         | Estación 1   | Estación 2                                | Estación 3                                | Estación 4                                | Estación 5                                    |
| 10                      | <i>Perlidae</i>  |   | <i>Perlidae</i>                           | <i>Perlidae</i>                           | <i>Perlidae</i>                               |
| 10                      | <i>Perlodidae</i>  | <i>Perlodidae</i>                         | <i>Perlodidae</i>                         | -   | <i>Perlodidae</i>                             |
| 9                       | <i>Ephemerellidae</i>  | <i>Ephemerellidae</i>                     | <i>Ephemerellidae</i>                     | <i>Ephemerellidae</i>                     | <i>Ephemerellidae</i>                         |
| 8                       | <i>Naucoridae</i>  | -   | <i>Naucoridae</i>                         | -   | <i>Naucoridae</i>                             |
| 8                       | <i>Vellidae</i>  | <i>Vellidae</i>                           | <i>Vellidae</i>                           | <i>Vellidae</i>                           | <i>Vellidae</i>                               |
| 7                       | <i>Baetidae,</i>   | -   | -   | -   | <i>Baetidae,</i>                              |
| 7                       | <i>Calopterygidae</i>  | <i>Calopterygidae</i>                     | <i>Calopterygidae</i>                     | <i>Calopterygidae</i>                     | <i>Calopterygidae</i>                         |
| 7                       | <i>Hydropsychidae</i>  | <i>Hydropsychidae</i>                     | <i>Hydropsychidae</i>                     | <i>Hydropsychidae</i>                     |   |
| 5                       | <i>Ceratopogonidae</i>   | -   | -   | -   | -   |
| 4                       | <i>Empididae</i>   | -   | -   | <i>Empididae</i>                          | -   |
| 2                       | <i>Chironomidae</i>  | <i>Chyrimonidae</i>                       | -   | <i>Chyrimonidae</i>                       |   |
| 1                       | <i>Oligochaeta</i><br>( <i>Haplotaxidae</i> )                            | <i>Oligochaeta</i><br>( <i>Naididae</i> ) | <i>Oligochaeta</i><br>( <i>Naididae</i> ) | <i>Oligochaeta</i><br>( <i>Naididae</i> ) | <i>Oligochaeta</i><br>( <i>Haplotaxidae</i> ) |
| <b>BMWP</b>             | <b>78</b>  | <b>44</b>                                 | <b>60</b>                                 | <b>48</b>                                 | <b>60</b>                                     |

**Nota.** La tabla relaciona las puntuaciones asignas a las familias de macro invertebrados bentónicos identificados en las estaciones durante los dos muestreos.

La sumatoria de puntajes por estaciones corresponde al índice BMWP/col.

**Fuente.** Grupo de Investigación

**Tabla 27.**

*Estado de la calidad del agua de acuerdo a BMWP/Col, ASPT; Roldan (2003)*

| <b>ESTACIÓN</b>                   | <b>Est-1</b>   | <b>Est-2</b>   | <b>Est-3</b>   | <b>Est-4</b>   | <b>Est-5</b>   |
|-----------------------------------|--|--|--|--|--|
| <b>Número de Familias</b>         | 12   | 7  | 8  | 8  | 8  |
| <b>BMWP/Col</b>                   | 78   | 44   | 60   | 48   | 60   |
| <b>ASPT</b>                       | 6,5  | 6,28   | 7,5  | 6  | 7,5  |
| <b>Clase del Agua Cartografía</b> | <b>Clase II</b>  | <b>Clase III</b>   | <b>Clase II</b>  | <b>Clase III</b>   | <b>Clase II</b>  |
| <b>Calidad</b>                    | <i>Aceptable</i>   | <i>Dudosa</i>  | <i>Aceptable</i>   | <i>Dudosa</i>  | <i>Aceptable</i>   |
| <b>Significado</b>                | <i>Evidentes</i><br><i>Algunos</i><br><i>efectos de la</i><br><i>contaminación</i> | <i>Aguas</i><br><i>Moderadamen</i><br><i>te</i><br><i>contaminadas</i> | <i>Evidentes</i><br><i>algunos</i><br><i>efectos de la</i><br><i>contaminación</i> | <i>Aguas</i><br><i>Moderadamen</i><br><i>te</i><br><i>contaminadas</i> | <i>Evidentes</i><br><i>algunos</i><br><i>efectos de la</i><br><i>contaminación</i> |

**Nota:** Fuente. Grupo de Investigación

Los resultados arrojados por el índice BMWP/col indican que las estaciones (E1, E3 y E5) durante los dos muestreos, presentaron una calidad del agua de clase II (aceptable) indicando que la estructura y composición de las poblaciones de macro invertebrados presentes en estos ecosistemas se ha modificado levemente por algunos efectos evidentes de la contaminación. Si bien, un puntaje de 60 en el índice BMWP/col ubica la calidad del agua en clase III (Aguas Moderadamente contaminadas) el Índice ASPT corrige el error de puntuación media por taxón entre todos los taxones evaluados y eleva la calidad del agua hasta los niveles encontrados para las estaciones (E3) y (E5). Este comportamiento indica que los ecosistemas acuáticos en estos segmentos, se encuentran en etapa de resiliencia y poseen algunos nichos complejos de relaciones ecológicas que le permiten ofrecer una resistencia frente a los agentes contaminantes descritos.

Por otra parte, la calidad del agua general a los nuestros realizados en las estaciones (E2) Y (E4), revelaron resultados de clase III (Calidad Dudosa) debido posiblemente al aporte de Aguas residuales domésticas, los vertimientos de actividades agrícolas sin tratamiento que se desarrollan aguas arriba de la laguna de estabilización de Abrego y procedentes de los vertimientos del corregimiento de la Hermita y el municipio de la playa. Se incluyen también los efectos de las extracciones de material de gravilla del río algodonal antes de la (E4). Todas aunadas, producen efectos de contaminación sobre los ecosistemas aledaños al cordón ripario del cauce y al interior de la lámina de agua descritos en los análisis fisicoquímicos pero que son moderadas o atemperadas por los nichos ecológicos y las relaciones interespecíficas de la población de macro invertebrados en esos ecosistemas evidentemente más intervenidos que los encontrados en los tramos (E1, E3 Y E5).

En general, los resultados de calidad del agua evaluados en el índice BMWP/col sigue un patrón de recuperación aguas arriba de los focos de contaminación. así por ejemplo, la calidad del agua reportada en clase II (aceptable) en (E1) se degrada a nivel III (dudosa) en la (E2) con los efectos de la actividad antrópica de la población abreguense asentada al margen del río. Nuevamente, el ecosistema parece recuperarse a clase II (aceptable) aguas arriba en a (E3) con algún proceso de remoción de cargas contaminantes de la lámina de agua realizada en la laguna de estabilización de Abrego. Los vertimientos de la Hermita y la playa, son otro foco de contaminación que degradan la calidad del agua a categoría III (dudosa) pero la dinámica natural de cauce se recupera a clase II (Aceptable) aguas arriba de la bocatoma en (E5). Este patrón de resultados es contrario a los observados en el caso de estudio del río Meléndez Zúñiga, (2009)

quienes detectaron que la parte media de la cuenca se degradaba al pasar de clase II, con contaminación incipiente, a clase III y IV con nivel de contaminación orgánicas muy altos. Sin embargo, la recuperación del río fue lenta y en algunos casos, se notó una deterioro progresivo a lo largo de las estaciones. (*ver mapa de calidad del agua*).

#### 4.5. Índice de Contaminación Biológica entre Estaciones (ICOBIO)

**Tabla 28.**

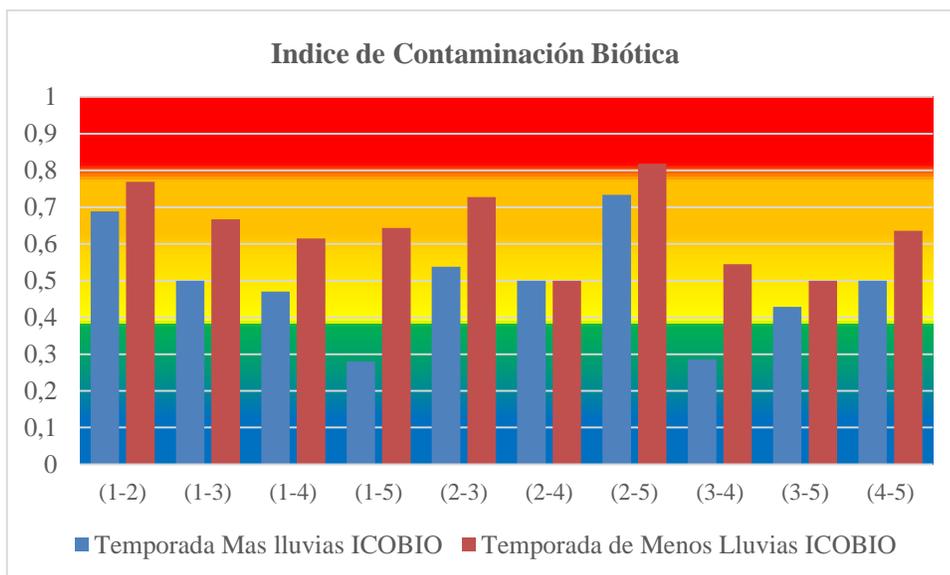
*Índice de contaminación Biótica entre estaciones y periodos de muestreo*

| Estaciones<br>Clúster | Temporada Más Lluvias |         |               | Temporada Menos Lluvias |               | ICOBIO General  |               |
|-----------------------|-----------------------|---------|---------------|-------------------------|---------------|-----------------|---------------|
|                       | ICOBIO                | Rango   | Clasificación | ICOBIO                  | Clasificación | ICOBIO Promedio | Clasificación |
| (1-2)                 | 0,688                 | 0,6-0,8 | ALTA          | 0,769                   | ALTA          | 0,7285          | ALTA          |
| (1-3)                 | 0,5                   | 0,4-0,6 | MEDIA         | 0,667                   | ALTA          | 0,5835          | MEDIA         |
| (1-4)                 | 0,47                  | 0,4-0,6 | MEDIA         | 0,615                   | ALTA          | 0,5425          | MEDIA         |
| (1-5)                 | 0,28                  | 0,2-0,4 | BAJO          | 0,643                   | ALTA          | 0,4615          | MEDIA         |
| (2-3)                 | 0,538                 | 0,4-0,6 | MEDIA         | 0,727                   | ALTA          | 0,6325          | ALTA          |
| (2-4)                 | 0,5                   | 0,4-0,6 | MEDIA         | 0,5                     | MEDIA         | 0,5             | MEDIA         |
| (2-5)                 | 0,733                 | 0,6-0,8 | ALTA          | 0,818                   | MUY ALTA      | 0,7775          | ALTA          |
| (3-4)                 | 0,286                 | 0,2-0,4 | BAJO          | 0,545                   | MEDIA         | 0,4155          | MEDIA         |
| (3-5)                 | 0,429                 | 0,4-0,6 | MEDIA         | 0,5                     | MEDIA         | 0,4645          | MEDIA         |
| (4-5)                 | 0,5                   | 0,4-0,6 | MEDIA         | 0,636                   | ALTA          | 0,568           | MEDIA         |

**Nota:** La tabla muestra el Índice de Contaminación Biótica evaluado entre estaciones con base a los datos colectados en dos (2) muestreos. Fuente. Grupo de Investigación

En términos de contaminación, el ICOBIO mide la similitud de la comunidad de macro invertebrados entre dos estaciones. Entre más se parezcan dos puntos, menor será la

contaminación. En este sentido, La tabla 28 y la figura 15 indican que, a nivel general, el tramo comprendido entre las estaciones (E1 y E2) se reporta alto grado de contaminación. Esto probablemente se deba a que estas estaciones se encuentran en zonas dedicadas a actividades agrícolas en su mayoría y actividades pecuarias. Los ecosistemas que están ubicados entre las estaciones (E1 y E5) que corresponde al tramo de estudio, soportan las presiones de varios focos o agentes de contaminación identificados a lo largo del río algodonal (Producciones agropecuarias, escurrimientos agrícolas, Aguas residuales domésticas provenientes de asentamientos humanos, extracciones de material aluvial de las graveras etc.) Los efectos ecológicos sobre los ecosistemas se atenúan en la temporada de más lluvias cuando los niveles de caudales disminuyen la carga orgánica, se incrementa el oxígeno disuelto y los procesos de regeneración de la dinámica natural del cauce les permiten a los ecosistemas presentar mayor resistencia a los agentes contaminantes.



**Figura 15. Grafico del índice de contaminación Biótica entre estaciones y periodo de muestreo.**

El tramo comprendido entre las estaciones (E2-E3) presentó variaciones de contaminación Media-Alta entre los muestreos de más y menos lluvias. Tomando como referencia la cercanía entre estaciones, los comportamientos posiblemente se deban a la dilución natural de contaminantes durante la época de más lluvias. Sin embargo, en temporada seca, los vertimientos del municipio de Abrego llegan a la (E2) sin ningún tipo de tratamiento. Posteriormente, parte del flujo ingresa al sistema de tratamiento facultativo por medio de la laguna de estabilización y produce un efluente que reingresa al río algodonal con parte de la carga orgánica inicial removida, Esto le permite al ecosistema presente aguas abajo de la laguna de Estabilización (E3) reactivar procesos biogénicos al interior de la lámina de agua que están en letargo en la (E2).

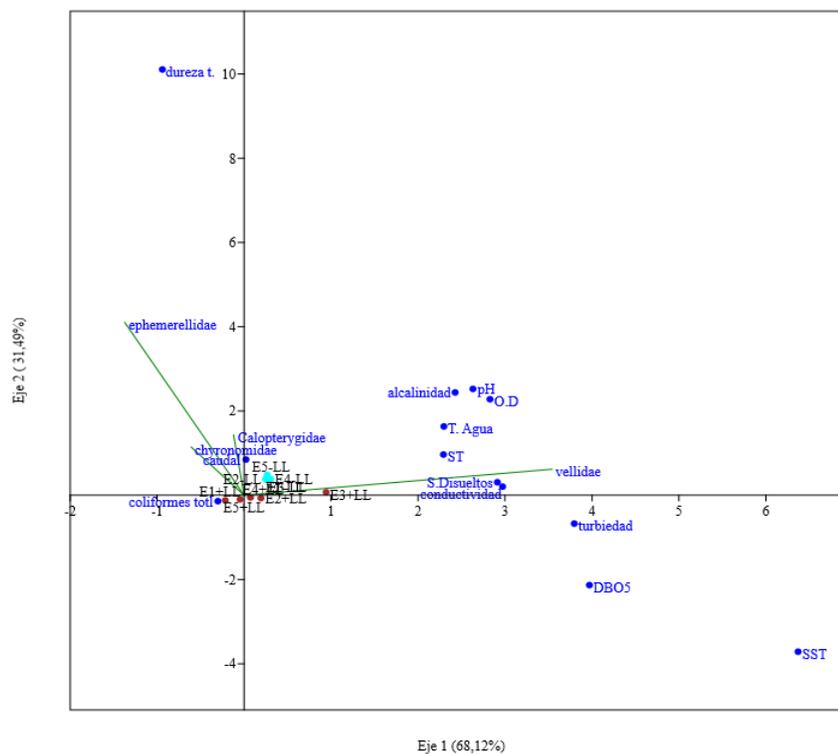
El índice de Contaminación Biótico muestra que hay una diferencia significativa Alta-Muy alta entre las estaciones (E2 y E5) para los periodos de más y menos lluvias. Al margen de que

no se detectara contaminación por materia orgánica (ICOMO) y mineralización (ICOMI) y apenas se obtuvieran niveles bajos de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS); es muy posible que la carga orgánica sin tratamiento de la (E2) se encuentre alterando la estructura, composición y función de las comunidades biológicas presentes en la estación. La (E5) por otro lado, presenta condiciones de afectación muy diferentes en periodo de menos lluvias. La gráfica deja ver que pocos taxones se compartieron entre ambas estaciones. Además la tabla 20 muestra que la (E5) presentó mayor cantidad de taxas exclusivas que (E2). El promedio del ICOBIO (2-5) resumen que la contaminación entre los tramos es alta porque hay muchos focos de contaminación que afectan los ecosistemas acuáticos que se desarrollan entre ellos. Pero la estructura ecológica de (E5) está eficientemente organizada y puede recuperar la dinámica natural al interior de la lámina de agua mientras que los ecosistemas acuáticos de (E2). Están menos desarrollados y por tanto, menos preparados para responder ante la variación de la contaminación que se pueda presentar en diferentes periodos meteorológicos.

Por otro lado, los resultados de la variación de la contaminación (bajo-media) en diferentes periodos estacionales sobre los grupos bio-indicadores de los ecosistemas en los tramos (E3-E4) pueden decir que las condiciones fisicoquímicas y biológicas de la lámina de agua que fluye a partir de aguas abajo de la laguna de estabilización del Municipio de Abrego cambian moderadamente por la contaminación representada en los vertimientos sin previo tratamiento provenientes del corregimiento de la Hermita y el municipio de la Playa. Pero Estos factores evidentemente afectan con más severidad el cuerpo del agua en temporada seca cuando no hay dilución natural por aporte de las aguas lluvias ricas en Oxígeno y libres de materia Orgánica.

#### 4.6. Relación Entre variables Físicoquímicas y Biológicas

Para efectos de la correlación canónica entre variables ambientales, la matriz de correlación de Pearson (ver Apéndice E), muestra las variables físicoquímicas y microbiológicas más significativas (fuerza de correlación positiva y negativa). Se representan las familias más importantes encontradas en las unidades de muestreo (ver figura 14 sedimentación de macro invertebrados).



**Figura 16. Grafica de diagrama de ordenación del análisis de correspondencia canónica mostrando la relación entre los taxos más significativos presente en el río algodonal y las variables físico-químicas de mayor correlación.**

**Nota.** En los cuadrantes de plano cartesiano, la gráfica evalúa la relación de cuatro familias de macro invertebrados bentónicos (Vellidae, Ephemerellidae, chironomidae, calopterygidae) con 12 variables fisicoquímicas (alcalinidad, pH, O.D, T. H<sub>2</sub>O, ST, SD, Conductividad, turbiedad, DBO<sub>5</sub> SST, Coliformes Totales, Dureza) y los Valores de caudal encontradas en cinco estaciones durante dos periodos de muestreo (más lluvias y menos Lluvias).

Los puntos rojos y azules en la gráfica corresponden al muestreo en periodo de más y menos lluvias respectivamente.

**Fuente:** Grupo de Investigación

Se observa en el primer cuadrante que la familia Vellidae tiene mayor correspondencia con los sólidos suspendidos y la conductividad. Se observa un Angulo de correspondencia menor a 45° con las variables ambientales de pH, la Alcalinidad total, el Oxígeno disuelto y la Temperatura del agua. Concentraciones altas o bajas de estas variables, parecen que condicionan fuertemente la presencia o ausencia de la familia Vellidae en el cuerpo del agua. La tabla 25 y la figura 16 mostraron que la familia Vellidae es la más dominante en todas las estaciones y los resultados de calidad del agua no mostraron ninguna contaminación por mineralización (ICOMI) o por exceso de materia orgánica (ICOMO). Por tanto, la abundancia de esta familia aumenta cuando estas variables no generen procesos contaminación. La dirección del Angulo de simetría en los cuadrantes señala que la familia Vellidae se relaciona positivamente a valores bajos de turbiedad y DBO<sub>5</sub>. (En periodos de menos lluvias) Tales resultados, sostiene el postulado de

Alba-Tercedor 3<DDA# + + + + + + + + + +

9-

Las familias calopterygidae y chironomidae, con dominancias de 17,28 % y 8,23 % se presentan en el segundo eje o componente principal con un peso de 31,49%. Ambos taxones están distanciados del taxón ephemerellidae. La familia calopterygidae no presentó ninguna

correspondencia con la familia vellidae porque tienen muy similares requerimientos. Es decir, estará presente cuando las relaciones entre variables ambientales sean iguales o mejores a las descritas para la familia Vellidae.

La familia chyromidae Presentó una correspondencia fuerte con concentraciones altas de coliformes totales y valores de caudal en las estaciones (E1 E2 y E5) en periodos de más lluvias donde hay mayor arrastre de partículas y sube la carga orgánica del río. Así mismo, la familia chyromidae, presentó un Angulo de simetría inverso con el taxa vellidae, y su forma de correspondencia con el Oxígeno disuelto, pH y la alcalinidad Total en las estaciones (E2, E4 y E5) en temporada de menos lluvias. En este sentido, La tabla 24 y la figura 16 muestran que la familia chyromidae fue más abundante en las estaciones (E2 y E4) en periodo de menos lluvias cuando los niveles de Oxígeno disuelto disminuyeron, coliformes fecales fue >1100 NMP/100 ml, y cuando pH presentó los valores más bajos entre los periodos de muestreos. El patrón de comportamiento descrito por la familia chyromidae en épocas de más y menos lluvias señala una tendencia de abundancia en las estaciones cuando las concentraciones de variables relacionadas a la carga orgánica sean mayores. El índice BMWP/col asigna a este taxón un valor igual a (2) puntos (mayor tolerancia a la contaminación respecto a las demás familias importantes identificadas). Los resultados del Análisis de correspondencia canónica sostienen los + + ~~β<DDD+~~ + + + + organismos tolerantes en alguna variaciones para la calidad del agua, y son característicos de agua contaminada por materia orgánica +

La familia Ephemerellidae se encuentra ubicada en la mitad del segundo cuadrante (-,+), distante a los demás taxones, lo que indica que su presencia en el hábitat está condicionada por requerimientos más exigentes a las demás familias bioindicadoras. La gráfica indica que tiene una fuerte correspondencia positiva con las concentraciones de Alcalinidad, pH, Oxígeno Disuelto, Sólidos totales encontradas en todas las estaciones durante el periodo de menos lluvias. De forma contraria, mayores concentraciones de Sólidos disueltos, Conductividad (cerca al eje negativo), DBO5, Turbiedad (alejadas en el eje negativo) presentes en las estaciones (E1, E3, E4) monitoreadas en periodo de más lluvias (ver figura 16) parecen tener una fuerte correlación inversa a los requerimientos del hábitat para el asentamiento del Taxón. En términos de Calidad del agua, La Tabla 24 y 27 indica que la distribución de individuos de esta familia fue más equitativa en las estaciones (E1, E3, E5) con clases II (calidad de agua aceptable) en el índice BMWP/col durante el muestreo de menos lluvias, probablemente porque los bajos niveles de caudal no son suficientes para arrastrar altas cantidades de sedimentos del lecho y materiales vegetales (sustratos de perifiton plantas macrófitas sumergidas).

El comportamiento en la correspondencia de la familia ephemerellidae con las variables ambientales evaluadas parece indicar un patrón de mayor distribución a menores concentraciones de carga orgánica aportada por desechos y en ecosistemas con sustratos más diversos. La presencia del Taxón en las estaciones (E2 y E4) significa que tienen un patrón de tolerancia medio que les permite distribuirse en calidades de agua con índices BMWP/ col. muy buena a buena o regular (clases II y III).

Los resultados del ACC obtenido para la familia Ephmerellidae son similares a los obtenidos en la investigación de Gutierrez y Reinoso-F, (2010) quienes estudiaron los requerimientos ecológicos para el crecimiento y distribución del orden Ephmeroptera en los ríos

+ 7+ + + + ++ + + + + + + + + +

importancia en la bioindicación debido a su relativamente alta sensibilidad a los niveles de contaminación, abundancia y ubicuidad. Son constituyentes biológicos fundamental de la cadena

++ + + + + + 93 9=49

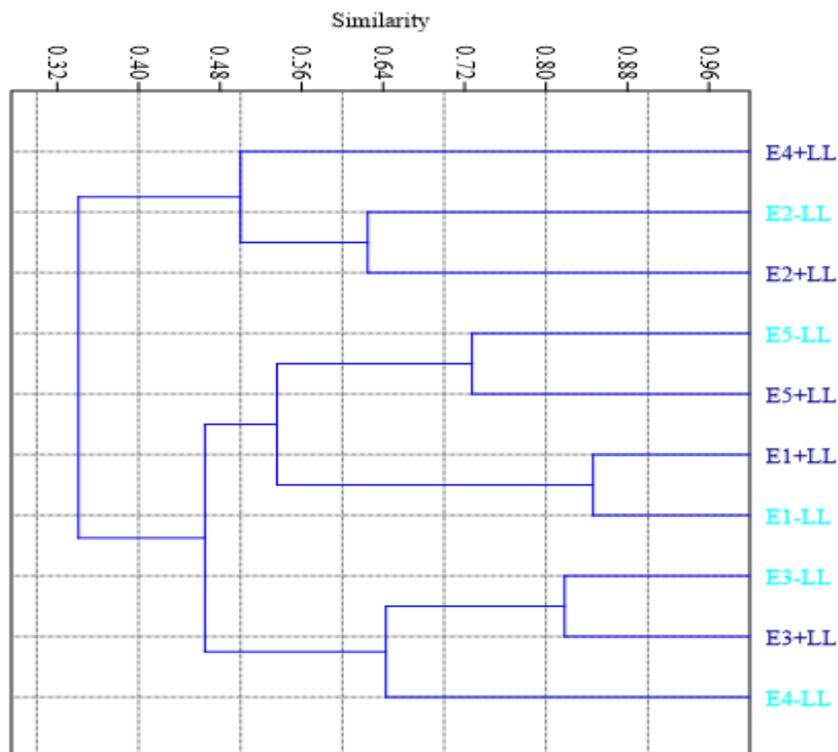
#### **4.7. Resumen del Estado de Calidad Del Agua Actual Evaluada En Cinco Tramos Del Río Algodonal**

El dendograma con el análisis clúster basado en el índice Jaccard expone con mayor claridad la discusión sostenida en el apartado de contaminación biótica ya que evalúa la similitud o disimilitud determinados entre estaciones y periodos estacionales.

El clúster de la (E1) indica que tienden a mantener mayor similitud de calidad de agua entre los periodos de más lluvias y menos lluvias, basado en la estructura de grupos de macro invertebrados bentónicos respecto a las demás estaciones. Seguidamente, aparece el clúster entre periodos de la (E3) donde el la organización ecológica de la comunidad de bioindicadores acuáticos evaluados demuestran que la laguna de oxidación si logra hacer remoción de parte de la carga orgánica que se presenta en la (E2).

La Naturaleza de la contaminación del agua entre la estaciones (E3-E4) produce efectos similares sobre la comunidad de macro invertebrados bentónicos, que la naturaleza de la contaminación en las estaciones (E1-E5). El clúster final (Jaccard=0,33) revela que las estaciones (E2-E4) son las más diferentes a las estaciones (E1, E3, E5).

En términos de calidad del Agua, Los resultados fisicoquímicos no mostraron diferencias significativas, porque no se determinó contaminación por mineralización (ICOMI) o por exceso



**Figura 17.dendrograma de similitud entre estaciones y periodos de muestreos.**

Fuente: Grupo de Investigación

de materia orgánica (ICOMO) en ninguna de las estaciones evaluadas. Sólo se encontró baja contaminación por Sólidos suspendidos en las estaciones (E1 y E2) en periodo de menos lluvias. Sin embargo, los resultados biológicos si detectaron variaciones de calidad del agua significativas entre periodos de estudios. En este sentido, la Estación (E1) Nacimiento del río Algodonal es la que presentó mejor calidad en los dos muestreos. El BMWP/col Asigna 78 puntos, el mayor puntaje encontrado entre las estaciones (ver tabla 27). Seguidamente, parece que las estaciones (E3, E5) Aguas debajo de la laguna de Oxidación y el punto la cabaña, Aguas arriba de la Bocatoma de ESPO presentaron la misma calidad del agua con 60 puntos asignados por el BMWP/col.

No obstante, el Dendrograma de similitud de taxones identificados entre estaciones, aclara que la concentración y naturaleza de los contaminantes es más diversa en la estación (E5) que en la estación (E3). Posiblemente por el desarrollo de actividades de extracciones de mineral aluvial realizados por las graveras situadas en la vía Ocaña-Abrego, por los vertimientos de producciones agrícolas situadas cerca a las riberas del río algodonal y por los vertimientos de aguas residuales doméstica de los municipios de la playa y el corregimiento de la Hermita. Todos los factores de contaminación enunciados se introducen en el cuerpo del agua antes de llegar a la Torre de captación de ESPO E.S.P y parece que la estación de más lluvias, con mayores niveles de caudal, disminuye la magnitud del impacto sobre el cuerpo de agua (ver tabla 17). A La estación (E3) afluye el vertimiento de la laguna de Estabilización de Abrego que ya ha removido parte de la carga orgánica aportada por la intensa actividad agropecuaria y las aguas residuales domésticas del Municipio de Abrego y sus corregimientos.

Siguiendo el Orden de ideas, las Estaciones aguas debajo de la laguna de estabilización de Abrego y el punto san Luis, aguas abajo de la confluencia de los vertimientos del corregimiento de la Hermita y el municipio de la playa (E2-E4), son las que presentaron peor calidad del agua. El análisis clúster revela que estas estaciones presentaron mayor disimilitud de taxones que las estaciones (E1, E3, E5) en ambos muestreos. De manera individual, el Índice BMWP/col (ver tabla 27) determinó un puntaje de 44 para la Estación (E2) demostrando que las concentraciones de contaminantes evaluadas en los resultados del análisis fisicoquímico (ver tabla 17) tienden a ser mayores en temporadas de más y menos lluvias con respecto a la estación (E4), donde el cauce ha iniciado un proceso de auto recuperación natural y se encontraron más familias bioindicadores. La evaluación del índice BMWP/col asignó 48 puntos a la estación (E4) sin salir de clase III (calidad del agua Dudosa).



Los resultados fisicoquímicos determinaron que la concentración de Carbamatos, Órgano fosforados y Órgano clorados está presente nivel de trazas en todas las estaciones evaluadas, durante los dos muestreos. Así mismo las concentraciones de plaguicidas están por debajo de los valores máximos permisibles exigidos en los numerales 1,2 y 3 del párrafo 1 y 2, artículo 8° de la resolución 2115/2007 y la OMS (1996). Por tanto, no se puede concluir que las concentraciones de plaguicidas en el río algodonal generan niveles alarmantes de contaminación y son un riesgo no eliminado por el sistema de tratamiento convencional que se tiene, para la salud de los habitantes que se abastecen de la fuente.

Los Índices de contaminación propuestos por Ramírez y Viña (1998-1999) mostraron que Mineralización (ICOMI) por eutrofización y cambios bruscos en el pH del agua (ICOpH) en todas las estaciones monitoreadas en los dos periodos de estudio. Pero se encontró baja contaminación (buena calidad del agua) por sólidos suspendidos (ICOSUS) en todas las estaciones para la época de menos lluvias. Estos comportamientos indican que las condiciones fisicoquímicas que se dan en la lámina de agua son adecuadas para el establecimiento y desarrollo de la biota acuática.

Los resultados del Índice BMWP/col desenmascararon factores de contaminación ocultos por los resultados fisicoquímicos. La calidad del agua del río algodonal osciló entre las clases II

recuperación aguas arriba de los focos de contaminación. Este comportamiento demostró que las actividades antrópicas circundantes a las estaciones monitoreadas afectan directamente la integridad ecológica del río, pero estos ecosistemas acuáticos poseen nichos complejos que le permiten ofrecer resistencia y resiliencia ante factores no deseados de contaminación.

El ICOBIO (índice de Contaminación Biótico) presentó diferencias Alta-Muy alta en el nivel de afectación sobre las comunidades de macro invertebrados entre las estaciones (E2 y E5) para los periodos de más y menos lluvias. En forma contraria, se determinó una afinidad (baja-media) entre las estaciones E3 (Hasta 100 metros aguas arriba de la laguna de oxidación de Abrego) y E4 (Punto san Luís). Los resultados permiten concluir que al variar las condiciones ambientales del medio (fuentes de contaminación, Naturaleza y concentración del contaminante, capacidad de respuesta de los ecosistemas) son muy pocas las familias de macro invertebrados resistentes que se adaptan a los cambios y sobreviven. Por tanto, diferencias de contaminación alta y medias entre estaciones y periodos de muestreo hacen que un sistema convencional de tratamiento para la potabilización del agua destinada al consumo humano elimine el riesgo asociado de factores atípicos de contaminación que se puedan presentar de forma repentina.

Los índices biológicos usados en esta investigación: BMWP/Col con su ponderado ASPT y el ICOBIO representan una herramienta útil para el diagnóstico de la calidad ecológica de del agua; son métodos rápidos y no se necesitan de muchos costos. No es necesario de personal altamente especializado para su ejecución e implementación, puesto que los macro invertebrados resultan de fácil colecta e identificación taxonómica.

## Capítulo 6: Recomendaciones

Este documento provee información sobre el diagnóstico de la calidad actual del agua del río algodonal desde Su nacimiento hasta aguas arriba de la torre de captación de ESPO S.A ESP. Se recomienda continuar con una segunda etapa en la investigación donde se definan los objetivos de calidad del agua con base a los resultados obtenidos en el diagnóstico. El propósito es orientar la gestión del recurso hídrico hacia la clase de río que se desea tener. A modo de ejemplo, en el caso presentado por esta investigación, se puede establecer que en los próximos cinco (5) años todos los tramos evaluados (30,27 km) con los índices de contaminación de Ramírez y Viña (1999) deberán estar máximo en categoría II (baja contaminación) y en 10 años (segundo quinquenio) deberán permanecer en la categoría I (baja contaminación).

Es importante continuar con el monitoreo de calidad del recurso hídrico por cuanto se evidenció que los criterios de calidad pueden cambiar incluso significativamente entre estaciones y periodos de muestreo (más lluvias y menos lluvias). De este modo, se puede evaluar la efectividad de los planes de prevención y mejoramiento de las condiciones ambientales gestionadas en la zona por las autoridades ambientales.

Es imprescindible la divulgación de los resultados y el alcance obtenido en esta investigación. No solo porque desarrolló un concepto de calidad actual del río algodonal con integralidad, sino también porque ofrece una visión global de estado de los ecosistemas acuáticos al interior del cauce y la sinergia con los procesos de contaminación. Útiles para entender la

capacidad de resistencia y auto recuperación de la dinámica natural ante eventos no deseados y emergencias ambientales.

Los resultados alarmantes del monitoreo del nivel de caudales en proceso de recuperación por un efecto de variabilidad climática como lo fue el fenómeno del niño, sugiere que es urgente el establecimiento de coberturas vegetales en las márgenes del río algodonal. Esta medida, traería un beneficio doble: la recuperación natural en los niveles de caudal y el mejoramiento de la calidad del agua en respuesta a un aumento en la calidad de la ribera.

Los focos de contaminación detectados en la estación E-2 (aguas arriba de la Laguna de oxidación y E-4 (aguas debajo de la confluencia de los vertimientos del corregimiento de la Hernita y el batallón) demuestran que es necesario mejorar o implementar sistemas de acueducto rural así como implementar medidas de gestión integral de aguas residuales domésticas y de residuos sólidos. Se recomiendan (Instalación de Trampas de grasa y Pozos sépticos rurales) y para los residuos (mejorar la eficiencia de recolección de residuos urbanos, crear políticas regionales e incentivo con prioridad a producciones desarrolladas con buenas prácticas agrícolas, establecer centros de acopio rurales de residuos inorgánicos).

Promover e incentivar a la comunidad universitaria de ingeniería ambiental y programas afines a proponer y desarrollar investigaciones académicas más detalladas orientadas a la evaluación de la calidad el agua de las principales corrientes hídricas y sus tributarios presentes en la cuenca del río algodonal; mediante la aplicación de índices bióticos, índices de

contaminación. Que procuren más que emitir un valor de calidad, desagregar los tipos de contaminación presentes en el tiempo y espacio en las fuentes naturales de agua.

Para el procesamiento de datos y análisis estadístico de la información, con respecto a las variables ambientales evaluadas, se recomienda utilizar paquetes estadísticos como el software PAST V3.13 y SPSS V 23 que son herramientas de apoyo eficaces para la elaboración de matrices y la el manejo de salidas gráficas que favorecen el proceso, sustento y soporte del trabajo.

Es necesario tener en cuenta, que para la aplicación de la herramienta de CCA (análisis de correspondencia canónica), entre menor sea las variables ambientales con respecto a las muestras tomadas, será mejor este análisis, debido a que si aumenta el número de estas, los resultados se hacen más dudosos, es por eso que se recomienda, realizar una matriz de correlación, para saber cuáles son las más significativas.

Para la identificación y obtención de la taxonomía de los macro invertebrados, es recomendable utilizar claves dicotómicas, para saber su estructuración, hábitat, puntuación trófica a nivel de familia e importancia de bioindicacion en el mundo acuático.

## Referencias

(American Public Health Association. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (21 ed.). (P. C. Federation, Ed.) New York, Estados Unidos: Americas Water Works Association.

Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. (2013). Aspectos de la Vegetación Natural de Colombia. *ACCEFYN*, 46.

Alcaldía Municipal de Ocaña. (2007). *Plan Básico de Ordenamiento Territorial PBOT de Ocaña*. Ocaña : Secretaría Planeación .

Antonio Novais, J., Vásques, C., Martín, A., de Silonís, M. i., & Serrano, S. (2010). Técnicas básicas de Microbiología. *Reduca (Biología)*, III(5), 15-38.

Asociación Promotora Medioambiental. (2008). *Monitoreo de la calidad y Cantidad del Agua del Río algodonal, Tejo y Frio*. Ocaña: Publicaciones Ambientales.

BEHAR Roberto Q., M. d. (2003). *Análisis y Valoración de la Calidad de Agua (ICA) de la NSF: Casos Ríos Cali y Meléndez*. Universidad del Valle, Valle. Cali: Departamento dde Producción e investigación de Operaciones.

C.E.M, B. (1990). *Metodologia para o estudo qualitativo das algas do perifíton*. *Acta Limnológica Brasileira*. Instituto de Biociências, UNESP, Dept. de Ecologia. Río de Janeiro: Acta Limnologica Brasiliensia.

CVC, UNIVALLE, caracterizacion y modelacion matematica del rio cauca pmc fase II. identificacion de parametros criticos en el rio y sus principales rios tributarios, tramo salvajina-

virginia. *universidad del valle, escuela de ingeniería de recursos, naturales y del ambiente*. Abril de 2007. Recuperado el 20 de junio de 2016

Cabrera moya, A., & Garcia Ospina, E. (2006). *Identificación de Microorganismos Identificadores y Determinación de Puntos de contaminación en aguas superficiales provenientes del cementerio jardines del recuerdo, ubicado en el Norte de Bogotá*. Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias . Bogotá: Publicaciones de Microbiología industrial.

Cantera Kindz, J. R., Carvajal E, Y., & Castro H, L. M. (2009). *Caudal Ambiental: Conceptos, Experiencias y Desafíos*. (U. d. Valle, Ed.) Cali, Valle, Colombia: Programa Editorial Universidad del Valle.

Cantera Kintz, J., Carvajal Escobar, Y., & Castro H., L. (s.f.). *Caudal ambiental, conceptos, experiencias y desafíos*. Valle, cali, Colombia. Recuperado el 24 de julio de 2016

carmelo, U. (17 de Noviembre de 2015). El Escaso Oro azul. *En linea*. Bogotá, D.C, Colombia.

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. (17 de Novimebre de 2015). *Busqueda Temática*. Obtenido de Ver archivos Relacionados a la Calidad del Agua: <https://tramitesccu.cra.gov.co/normatividad/busquedaTematica.aspx>

Confederación Hidrográfica del Ebro. (2011). *Clave Dicotómica para la Identificación de Macroinvertebrados de la cuenca del Ebro*. Universidad de Navarra, Navarra. Pamplona: Publicaciones CEAM.

Conservation, C. F. (Productor), & Extension, U. o. (Dirección). (2013). *Macroinvertebrados* [Película].

Contraloría General de la República. (2007-2008). Estado de los recursos Naturales y del ambiente. En O. d. Omar Ariel Guevara Mancera., J. V. Marisol rojas, & A. A. Juan Caros Ussa. (Edits.), *Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente* (págs. 175-195). Bogotá, D.C, Colombia: Oficina de COmunicaciones y Publicaciones de la Contraloría Nacional. Recuperado el 12 de Noviembre de 2015

*Corporacion autonoma de la frontera nororiental CORPONOR, plan de ordenacion y manejo de la cuenca del rio algodonal PMCHRA. cucuta.* Recuperado el 23 de octubre de 2015

CORPONOR-Grupo de Investigación en Ingeniería Ambiental y Desarrollo Sostenible. (2007). *Cantidad y Calidad del agua del río Algodonal en el tramo comprendido entre el batallón de Infantería N°15 General Santander y la Confluencia de los Ríos Tejo-Algodonal.* Informe Técnico, Universidad Francisco de Paula santander- Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental, Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente, Ocaña.

Dana W. Kolpin, E. T. (15 de Marzo de 2002). Pharmaceuticals, hormones, and other organic wastewater contaminants in U.S. streams, 1999-2000: a national reconnaissance. *Environ SCi Technol*, 36(6), 1202-1211.

Defensoría del Pueblo. (09 de Marz0 de 2006). Diagnóstico sobre la calidad del agua para el consumo Humano en colombia, en el marco del derecho Humano al agua. *Informe Defensorial No. 39-B Actualización.* Bogotá , D.C, Colombia.

Defensoría del Pueblo. (2007). *Tercer diagnóstico sobre calidad del agua para consumo Humano.* D.C. Bogotá: Oficina de Comunicaciones y Publicaciones.

Dirección General de salud Ambiental del Perú -DIGESA-. (2014). *Parámetros Organolepticos*.

Grupo de Estudio Técnico Ambiental . Perú: Programa Editorial DIGESA.

DNP,PNDH,UNDP,GTZ. (2006). *Los municipios Colombianos Hacia los objetivos del desarrollo del Milenio. Salud, educación y Reducción de Pobreza*. D.C. Bogotá: Oficina de comunicaciones y Publicaciones.

Duque M, Y.-L. (2007). *Evaluación de la Calidad del Agua (Según Usos) en la Quebrada la Laja del Municipio de San Gil*. Universidad Industrial del Santander, Facultad de Ciencias, Escuela de Química. Bucaramanga: Programa editorial de la UIS.

E., A. D. (2011). calidad del agua. En *ingenieria ambiental* (pág. 184). mexico D.F. Recuperado el 13 de noviembre de 2015

Fernandez Parada, N. J., & Fredy, S. O. (2005). *Indices de Calidad y de Contaminación del Agua*. Pamplona, Norte de Santander, Colombia: Vicerrectoría de Investigaciones.

Fernandez, N., & Solano, F. (2014). Indices Fisico-Químicos de Calidad del Agua: Un estudio Comparativo. *Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la vida y el desarrollo Sostenible* (págs. 211-119). Valle, Cauca: Instituto Cinara.

Figueroa, R., Valdovinos, C., & Oscar, A. E. (2003). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de Ríos del Sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*(76), 275-285.

Gómez Duque, A. S. (2013). *Evaluación de la calidad ecológica del agua usnado macroinvertebrados acuáticos en la parte alta y media de la cuenca del río Felidia, Valle del Cauca-Colombia*. Universidad Autónoma de Occidente, Valle. Santiago de Cali: Programa editorial del departamento de Ciencias Ambientales.

- Gonzales, A. H. (2004). *El régimen Jurídico de las Aguas en Colombia*. Colorado State University, Colorado. Denver: Engineering Network Services. Recuperado el 17 de Noviembre de 2015
- H. R, F. F. (2002). Evaluación de tres índices bióticos en un río subtropical de Montaña (Tucumán-Argentina). (A. e. Limnología, Ed.) *Limnetica* 21, 1(2), 13.
- IDEAM . (2015). *Informe del Estado del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables*. Versión Preliminar Informativa Institucional, D.C, Bogotá.
- IDEAM. (1997). *Toma y Preservación de Muestras*. IDEAM, D:C. Bogotá: Laoratorio de Química Ambiental del IDEAM.
- IDEAM. (2006). *MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS, DETERMINACIÓN TAXONÓMICA-CONTEO*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Subdirección de Hidrología. Bogotá: Programa Editorial del IDEAM.
- IDEAM. (2007). : *Determinación de Coliformes totales y E. Coli de aguas mediante la técnica de sustrato definido, colilert por el método de Numero Más Probable*. GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL, Subdirección de hidrología. Bogotá: Programa Editorial IDEAM.
- IDEAM. (2009). *Indice de calidad general en corrientes superficiales-ICACOSU\_*. Boletín Informativo, D.C, Bogotá.
- IDEAM. (9 de Febreo de 2010). *Indice de la Calidad General en Corrientes Superficiales. Ficha Informativa N° 2, 6*. (O. d. IDEAM, Ed.) Bogotá, D.C, Colombia: O.

IDEAM. (marzo de 2015). *ideam*. Recuperado el 15 de noviembre de 2015, de estudio nacional de agua, 2014.:

[http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA\\_2014.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf)

*Indices de calidad ( ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial*. (s.f).

Recuperado el 23 de julio de 2017

Instituto Colombiano del Petróleo. (2011). *Análisis de aguas residuales domésticas y cuerpo de agua receptor (río Algodonal) del Municipio de Abrego*. Laboratorio de Refinación y Transporte . Bucaramanga: Gerencia del Oleoducto Norte.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (13 de Noviembre de 2015).

Objetivos Y Funciones. Bogotá, D.C, Colombia. Recuperado el 13 de Noviembre de 2015

Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales, Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible. (2015). *Estudio Nacional del Agua*. D.C. Bogotá: Oficina de comunicaciones y Publicaciones del IDEAM. Recuperado el 18 de Noviembre de 2015

Instituto Nacional de Salud. (2011). *Manual de Instrucciones para la Toma, Preservación y Transporte de Muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio*.

Instituto Nacional de Salud, D.C. Bogotá: Subdirección Red Nacional de Laboratorios.

Javier Arellano Diaz., J. E. (2011). *Ingeniería Ambiental* (Primera ed.). (A. G. editor, Ed.)

Ciudad de Mexico, D.F, Mexico: Alfaomega Colombiana S.A.

Josue Fernandez Parada, N., & Solano Ortega, F. (2005). *Indices de Calidad y de Contaminación del Agua* (Vol. III). Pamplona, Norte de Santander, Colombia: Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad de Pamplona.

- Kim, H. S. (2013). New record of fresh-water green algae (Chlorophytes) from Korea. *Journal of Ecology and Environment*, 36(4), 303-314. doi:10.5141/eoenv.2013.303
- Lenore S. Clesceri, W. C. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (22th ed.). (A. W. AWWA, Ed.) Washington , DF, EE.UU: American Public Health Association.
- (2014). *Métodos de Colecta, Identificación y análisis de comunidades biológicas: Plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Departamento de Limnología e ictiología. Lima: Programa editorial del Ministerio de Ambiente del Perú.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España. (10 de Agosto de 2016). ID-TAX. Catálogo y Claves de Identificación de Organismos Utilizados como elementos de calidad en las redes de control del estado ecológico. Madrid, Villa de España, España. Obtenido de ID-TAX.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (19 de Abril de 2007). Decreto Numero 1323. *Por la cual se crea el Sistemas de Información del Recurso Hídrico*. Bogotá, Distrito Capital, Colombia.
- Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible. (2007). *Planes departamentales de agua y saneamiento Básico. Manejo Empresarial de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo*. D.C. Bogotá: Oficina de Pulicaciones y comunicaciones del MAVDT. Recuperado el 13 de Noviembre de 2015
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (17 de Marzo de 2015). Resolución 0631 de 2015. *Por la cual se establecen los Parámetros y los valores Límites Máximos*

*Permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado Pulico y se dictan otras Disposiciones . Bogotá , Distrito Capital, Colombia.*

Ministerio de la Protección Social & Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (22 de Junio de 2007). Resolución 2115 . *Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.* Bogotá, D.C, Colombia.

Ministerio de la Protección social. (9 de Mayo de 2007). Decreto 1575 de 9 Mayo. *Po la cual se establee el sistema para la protección y Control de la calidad del agua Para consumo Humano,* 15. Bogotá, D.C, COlombia: Presidencia.

Miranda Sanguino, R. A. (2015). *Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio ambiente.*

Manizales: Centro de Investigación en Medio Ambiente y Desarrollo-CIMAD- .

Moreno E, C. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad* (Vol. I). Zaragoza, España: Manuales y Tesis SEA.

Mosnalve D, E. A., & Bustamante T, C. A. (2009). Determinación de las características e interrelaciones de los componentes del caudal ecológico para el río Quindío en el tramo Boquía-Puente Balboa . En J. R. Cantera Kintz, Y. M. Carvajal Escobar, & H. C., *Caudal Ambiental, Conceptos experiencias y Desafíos* (págs. 285-301). Quindío: Programa Editorial Universidad del Valle.

Muñoz, H., Orozco, S., Vera, A., & Suárez, J. (septiembre-octubre de 2015,). Relación entre oxígeno disuelto, precipitación, pluvial y temperatura: río Zahuapan, Tlaxcala, Mexico. *Tecnología y Ciencias del Agua, VI(5), 59-74.*

*NSF, WQI-national sanitation foundation.* (s.l).(2006)

Organización Mundial de la Salud. (14 de Octubre de 1997). *Guidelines for Drinking-Water Quality*, 2nd edition. *Volume 3 - Surveillance and control of community supplies*. Geneva, Ginebra, suiza: WHO.

Organización Mundial de la Salud-OMS-. (2008). *Guías para la calidad del agua potable*. Agua Saneamiento y Salud (ASS). Ginebra: ©Organización Mundial de la Salud.

Organización Mundial de la Salud-OMS-. (2012). *Guía para la calidad del agua Potable*. D.F. Washigton: Publicaciones de la OMS.

Organización Panamericana de la Salud, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS). (2004). *Manual para análisis Básicos de Calidad del agua de bebida*. (M. A. Zumatea, Ed.) Lima, D.C, Perú: Oficina Regional de Publicaciones de la OMS.

Organización Promotora Medio Ambiental. (2008). *Monitoreo de la calidad y cantidad del agua del río Algodonal, Tejo y Frio*. Norte de Santander. Ocaña: Alcaldía Municipal de Ocaña.

Ott, W. (1978). *Environmental Quality Indices: Theory and practice*, Ann Arbor Science. (s.l). Recuperado el 6 de junio de 2016

Palma, A. (2013). *Guía para la Identificación de Invertebrados acuáticos*. del Instituto de Filosofía y Ciencias de la Complejidad (IFICC), Departamento de Ecología y Medio Ambiente. Chile: Publicaciones del IFICC.

*Plan Territorial en Salud*. Cúcuta: Instituto Departamental de Salud Pública del Norte de Santander. (2011).

- Presidencia de La Republica. (10 de Marzo de 1998). Decreto Número 475. *Normas Técnicas de calidad del agua Potable*. Bogotá, Distrito Capital, Colombia.
- Quezada Lucio, N. (2014). *Estadística SPSS 22*. (M. EIRL, Ed.) Lima, Surquillo, Perú: Editorial Macro.
- Ramírez, A., & y Viña, G. (1998). *Limnología Colombiana. Aportes a su conocimientos y Estadísticas de Análisis*. (F. U. Lozano, Ed.) Bogotá, D.C, Colombia: BP.
- Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del Agua. Evaluación y Diagnóstico* (1 ed.). (L. D. Escobar, Ed.) Medellín, Antioquia, Colombia: Ediciones de la U.
- RODIER, J. ( 1981). *Análisis de Aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar*. . Barcelona: Omega.
- Rojas, O. (1991). *Indices de calidad del agua en fuentes de captacion*. Cali. Recuperado el 10 de junio de 2016
- Ros Romero, A. (2011). Capitulo VIII. Indices Sapróbicos. En A. Ros Romero, *El agua. Calidad y Contaminación* (págs. 52-62). Madrid, España: Publicaciones virtuales.
- streams., W. A. (Productor), & Conservation, C. F. (Dirección). (2013). *Macroinvertebrados* [Película]. Wisconsin, EE.UU: University of Wisconsin Extension.
- UNEP, *Global Drinking Water Quality Index Development and Sensitivity Analysis report*. Pnuma, ontario, Canada (2007).
- Universidad de Salamanca. (09 de 07 de 2016). *Metodo de estudio de los Microorganismos*.  
Obtenido de Aula virtual:  
[http://aulavirtual.usal.es/aulavirtual/demos/microbiologia/unidades/documen/uni\\_02/56/cap304.htm](http://aulavirtual.usal.es/aulavirtual/demos/microbiologia/unidades/documen/uni_02/56/cap304.htm)

Universidad Mayor de San Simón. (2006). *Indicadores Biológicos de Calidad del Agua*.

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA. Cochabamba: Programa Editorial de la Universidad de San Simón.

Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Museo de Historia Natural. (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos., Departamento de Limnología, Departamento de Ictiología. Lima : Ministerio del Ambiente.

Vazquez S, G., Castro M, G., IGonzales M, I., Perez R, R., & Castro B, T. (2006).

Bioindicadores como herramientas para determinar la Calidad del Agua. *ContactoS*, 41-48.

Zúñiga, M. d. (2009). Bioindicadores de calidad del agua y caudal ambiental. Caso del Río Melendez (valle del Cauca Colombia). En J. R. Cantera Kindz, Y. Carvajal Escobar, & L. M. Castro Heredia, *Caudal Ambiental. Conceptos, experiencias y desafíos* (págs. 303-310). Cali: Programa Editorial Universidad del Valle.

## Referencias Electrónicas

- accuweather. (24 de Agosto de 2016). *Condiciones Meterológicas en Abrego-Lugares Cercanos*. Obtenido de Mapa de Tiempo:  
<http://www.accuweather.com/es/co/abrego/110570/weather-forecast/110570>
- (s.n.).*catedras, ecocomunidades*. Recuperado el 18 de noviembre de 2015, de estimacion de la diversidad especifica: <http://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/ecocomunidades/TPN3.pdf>
- Ban, K.-M. (22 de octubre de 2014). calidad del agua. *el agua fuente de vida*. Recuperado el 13 de noviembre de 2015, de <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>
- Cadena M., J. (s.f.). *Comparar las comunidades de macroinvertebrados acuaticos en dos tramos de monitoreo en el rio, quebrada, lago... y su relacion biologica con la calidad del agua*. (s.l). Recuperado el 23 de julio de 2016, de  
[https://kmo7.files.wordpress.com/2014/08/ecologia\\_macroinvertebrados.pdf](https://kmo7.files.wordpress.com/2014/08/ecologia_macroinvertebrados.pdf)
- calidad, analisis de aga*. (18 de noviembre de 2015). Recuperado el 17 de noviembre de 2015, de parametros indicadores de la calidad del agua.:  
[https://www.emasa.es/3\\_calidad/analisis\\_agua/3221\\_analisis.php?PFILE=1](https://www.emasa.es/3_calidad/analisis_agua/3221_analisis.php?PFILE=1)
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Diaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: Evolucion y tendencias a nivel Global. *revistas.ucc*, 111-124. Recuperado el 14 de junio de 2016, de <http://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/viewFile/811/770>
- CDMB, C. A. (s.f.). *caracoli, CDMB*. Recuperado el 17 de noviembre de 2015, de indices de calidad: <http://caracoli.cdmb.gov.co/cai/rhc/indcalidad.html>
- Clara, M. R. (2006). *portafolio ( energias renovables) ( CATIE )*. Recuperado el 15 de noviembre de 2015, de Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local

de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la microcuenca El Limón, San Jerónimo, Honduras.: [portafolio.co/economia/colombia-apuesta-energias-renovables](http://portafolio.co/economia/colombia-apuesta-energias-renovables)

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. (12 de Junio de 2008).

Consulta Temática de Calidad de agua. *Concepto CRA 36941*. Bogotá, D.C, Colombia.

Recuperado el 17 de Noviembre de 2015, de

<https://tramitesccu.cra.gov.co/normatividad/fichaArchivo.aspx?id=2033>

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. (13 de Noviembre de 2015). Funciones. Bogotá, D.C, Colombia. Recuperado el 13 de Noviembre de 2015, de

<http://www.cra.gov.co/>

Congreso de la República. (13 de Noviembre de 2015). Constitución Política de Colombia. Bogotá, D.C, Colombia. Recuperado el 13 de Noviembre de 2015, de

<http://www.constitucioncolombia.com/titulo-2/capitulo-1/articulo-40>

*CORPONOR*. (noviembre de 2009). Recuperado el 21 de octubre de 2015, de Corporacion Autonoma de la frontera Nororiental, CORPONOR, síntesis ambiental de Norte de Santander:

<http://www.corponor.gov.co/formatos/DIC%20SIGESCOR/PUBLICAR%20WEB%2010-12-09/PLAN%20DE%20ACCION%20AJUSTADO%202007%202011/2%20SINTESIS%20AMBIENTAL.pdf>

Departamento Nacional de Planeación. (13 de Noviembre de 2015). Funciones del DNP. (O. d. DNP, Ed.) Bogotá, D.C, COlombia. Recuperado el 13 de Noviembre de 2015, de

<https://www.dnp.gov.co/DNP/acerca-de-la-entidad/Paginas/funciones-DNP.aspx>

EL TIEMPO. (27 de Agosto de 2016). *Rendición de cuentas-Noticias-IDEAM*. Obtenido de Sala de prensa: <http://www.eltiempo.com/estilo-de-vida/ciencia/fenomeno-del-nino-en-colombia-2015-2016/16296881>

Gilliom, R. Z. (25 de Marzo de 2007). *Occurrence and Potential Human-Health Significance of Synthetic Organic Contaminants in Sources of Drinking Water*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2015, de USGS (National Water-Quality Assessment (NAWQA) Program): [https://water.usgs.gov/nawqa/pnsp/bib/publist.php?category\\_id=4](https://water.usgs.gov/nawqa/pnsp/bib/publist.php?category_id=4)

Goolsby, D. A., & Pererira, W. E. (1995). *Contaminants in the Mississippi River*. U.S Geologicas Survey , Virginia. Reston: ROBERT H. Meade. Recuperado el 18 de Noviembre de 2015, de <http://pubs.usgs.gov/circ/circ1133/pesticides.html>

HERBAS Antezana Ruth, R. O. (31 de octubre de 2006). *pnuma*. Recuperado el 19 de noviembrrre de 2015, de incadores biologicos de calidad del agua: [http://www.pnuma.org/agua-miaac/Curso%20Regional%20MIAAC/Conferencias/Dia%205%20\(14-agosto-2010\)/MIAAC%20PNUMA%20PAN%20AGO%2010%20MAX/BIBLIOGRAFIA/indicadoresBiologicosCalidadAgua.pdf](http://www.pnuma.org/agua-miaac/Curso%20Regional%20MIAAC/Conferencias/Dia%205%20(14-agosto-2010)/MIAAC%20PNUMA%20PAN%20AGO%2010%20MAX/BIBLIOGRAFIA/indicadoresBiologicosCalidadAgua.pdf)

HERNANDEZ-ANTONIO, A., & HANSEN, A. M. (Abril de 2011). Uso de plaguicidas en dos zonas Agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y Sedimentos. *Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(2), 115-127. Recuperado el 18 de Noviembre de 2015, de de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992011000200003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992011000200003&lng=es&tlng=es). .

IDEAM. (2014). *minambiente*. Recuperado el 16 de noviembre de 2015, de indicadores: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>

LeBaron, H. M., McFarland, J. E., & Burnside, O. C. (2008). *The Triazine Herbicides*. Amsterdam, U.S.A: Kidlington Oxford . Recuperado el 18 de Noviembre de 2015, de [https://books.google.com.co/books?id=ZD2\\_PRR\\_f1IC&lpg=PA453&ots=zepLV\\_WULa&dq=Thurman%20et%20al.%202000%2C&hl=es&pg=PR4#v=onepage&q=Thurman%20et%20al.%202000,&f=false](https://books.google.com.co/books?id=ZD2_PRR_f1IC&lpg=PA453&ots=zepLV_WULa&dq=Thurman%20et%20al.%202000%2C&hl=es&pg=PR4#v=onepage&q=Thurman%20et%20al.%202000,&f=false)

Ministerio de Agricultura, A. y. (1998). *Libro Blanco del Agua en España*. Madrid: MIMAN. Recuperado el 17 de Noviembre de 2015, de Documento de : <http://www.ayto-toledo.org/medioambiente/agua/LIBROBLANCO.pdf>

Ministerio de Hacienda y Vredito Público. (13 de Noviembre de 2015). FAQ-Respuestas a Preguntas Frecuentes. Bogotá, D.C, Colombia. Recuperado el 13 de Noviembre de 2015, de <http://www.minhacienda.gov.co/HomeMinhacienda/atencionalciudadano/RPF-Ministerio>

Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo territorial. (5 de Marzo de 2008). Resolución Conjunta 811. *Resolución 811*. Bogotá, D.C, Colombia: Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá. Recuperado el 17 de Noviembre de 2015, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=29337>

MONTOYA M. Yimmy, A. Y. (14 de abril de 2011). *scielo*. Recuperado el 18 de noviembre de 2015, de EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO NEGRO Y SUS PRINCIPALES TRIBUTARIOS EMPLEANDO COMO INDICADORES LOS ÍNDICES ICA, EL BMWP/COL Y EL ASPT: <http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v33n1/v33n1a12.pdf>

OMS. (18 de Noviembre de 2015). *Anexo B. Clasificación Toxicológica de Los plaguicidas*. Obtenido de Anexo B:

<http://publicaciones.ops.org.ar/publicaciones/publicaciones%20virtuales/proyectoPlaguicidas/pdfs/anexoB.pdf>

Onofre, O. C. (2012). *universidad industrial de santander*. Recuperado el 17 de noviembre de 2015, de caracterizacion fisicoquimica y parametros de calidad del agua de la planta de tratamiento de agua potable de barrancabermeja.:

<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6919/2/145296.pdf>

República, C. d. (13 de Noviembre de 2015). Constitución Política de Colombia. Bogotá, D.C, Colombia. Recuperado el 13 de Noviembre de 2015, de

<http://www.constitucioncolombia.com/titulo-2/capitulo-3/articulo-79>

Servicio Nacional de Aprendizaje *sena* .(s.f.). *operacion de sistemas de potabilizacion de agua*. Recuperado el 17 de noviembre de 2015, de calidad del agua potable:

[http://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad\\_del\\_agua/operacion\\_potabilizacion/index.html](http://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/operacion_potabilizacion/index.html)

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (13 de Noviembre de 2015). Red Nacional de Protección al consumidor. Bogotá D.C, D.C, Colombia. Recuperado el [http://www.redconsumidor.gov.co/publicaciones/superintendencia\\_de\\_servicios\\_publicos\\_domiciliarios\\_pub](http://www.redconsumidor.gov.co/publicaciones/superintendencia_de_servicios_publicos_domiciliarios_pub)13 de Noviembre de 2015

University of Wisconsin. (12 de Agosto de 2016). *Citizen-based Water Monitoring Network* . Obtenido de Key to Macroinvertebrate Life in the River:

<http://watermonitoring.uwex.edu>

*unipamplona*. (s.f).Recuperado el 16 de noviembre de 2015, de calidad del agua, valoración y monitoreo.:

[http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home\\_10/recursos/general/pag\\_contenido/libros/06082010/icatest\\_capitulo1.pdf](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo1.pdf)

University of Wisconsin. (12 de Agosto de 2016). *Citizen-based Water Monitoring Network*. Obtenido de Key to Macroinvertebrate Life in the River:

<http://watermonitoring.uwex.edu>

Weather wunderground. (24 de Agosto de 2016). *Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña sede Primavera INORTEDE24*. Obtenido de Reporte del Clima :

<https://www.wunderground.com/personal-weather-station/dashboard?ID=INORTEDE24#history>

## Apéndices

Se presentan en este apartado Las tablas y figuras, consecuentemente relacionadas en el desarrollo del texto. También se incluyen los datos en bruto, instrumentos de investigación y material adicional.

### Apéndice A. Organismos competentes a la gestión del Recurso Hídrico

| Nivel de Actuación | Instituciones                         | Modo de Actuación       | Funciones relativas a la Gestión del Recurso Hídrico   |
|--------------------|---------------------------------------|-------------------------|--|
|                    | Presidencia de la República           |                         | (+) Diseño e Implementación de Políticas de Gestión del recurso Hídrico.<br>(+) Seguimiento y evaluación.<br>(+) Contaminación y usos del Recurso Hídrico.   |
| Nivel Nacional     | Min. Ambiente y desarrollo Sostenible | Formulación de Política | (+) Regulación Ambiental<br>(+) Implementar Políticas en Materia de Gestión Integral del Recurso Hídrico.<br>(+) Formulación y adopción, planes, proyectos y regulación en materia ambiental, agua potable, saneamiento básico ambiental territorial y urbano etc. (Contraloría General de la República, 2007-2008, como se citó en Decreto 216 de 2003, Artículo 1).  |
|                    | Dpto. Nal. De Planeación              | Formulación de Política | (+) Diseño, orientación, coordinación, seguimiento y evaluación de las políticas de desarrollo Urbano, a través de la subdirección de Vivienda y desarrollo Urbano, la Subdirección de agua Potable y saneamiento Básico, (SASB) y del Grupo de Política ambiental y Desarrollo Sostenible (GPADS). (CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA, 2007-2008, COMO SE CITÓ EN DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, 2015). |

| Nivel de Actuación | Instituciones  | Modo de Actuación          | Funciones relativas a la Gestión del Recurso Hídrico  |
|--------------------|--|----------------------------|---|
|                    | Ministerio de la Protección Social                           |                            | (+) Expide de forma conjunta con el MADS, las normas técnicas de Calidad que debe cumplir el agua para consumo Humano.<br>(+) Vigila y controla los factores de riesgo del ambiente que afectan la salud Humana, en lo relacionado con calidad del agua para consumo humano, residuos sólidos, líquidos y peligrosos.<br>(+) Financiación y apoyo al acceso a crédito. (CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA, 2007-2008, P. 183).<br>(+) Dirigir y desarrollar las políticas Económicas y fiscales del estado  |
|                    | Ministerio de Hacienda y Crédito Público                     | Financiación               | (+) Participa en la elaboración del proyecto de ley del plan Nacional de Desarrollo.<br>(+) Planea, prepara, administra, ejecuta y controla el presupuesto General de la nación. (MINISTERIO DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO, 2015).<br>(+) Financiación y la Asesoría en los referente al diseño, ejecución, administración de proyectos o programas de Inversión relacionados con la construcción, ampliación y reposición de infraestructura correspondiente al sector de agua Potable y Saneamiento Básico. |
|                    | Financiera de Desarrollo Territorial (FINDETER) <sup>3</sup> |                            | (+) Financiación y la Asesoría en los referente al diseño, ejecución, administración de proyectos o programas de Inversión relacionados con la construcción, ampliación y reposición de infraestructura correspondiente al sector de agua Potable y Saneamiento Básico.   |
|                    | Fondo Nacional de Regalías (FNR)                             | Financiación               | (+) Preservación del Ambiente<br>(+) Financiación de Proyectos de inversión definidos como prioritarios en los planes de desarrollo de las unidades territoriales.  |
| <b>Nacional</b>    | Instituto de Hidrología, Meteorología                        | Investigación y Regulación | (+) Genera Conocimiento, produce y suministra datos e información ambiental.<br>(+) Realiza investigaciones, Inventarios y actividades de seguimiento y manejo de la  |

<sup>3</sup> Es una entidad vinculada al ministerio de Hacienda y crédito Público.

| Nivel de Actuación      | Instituciones  | Modo de Actuación          | Funciones relativas a la Gestión del Recurso Hídrico  |
|-------------------------|--|----------------------------|---|
|                         | Estudios Ambientales <sup>4</sup>                                    |                            | <p>información que sirvan para fundamentar la toma de decisiones en materia de política ambiental.</p> <p>(+) A través de la subdirección de Hidrología, obtiene, analiza, procesa, valida y genera información acerca del estado del recurso Hídrico (superficial y subterráneo) en aspectos de Calidad, Cantidad, demanda, oferta, origen, distribución.</p> <p>(+) Mantiene y opera la red hidrológica del país. (Contraloría General de la República, 2007-2008, p. 185, como se citó en Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2015).</p> |
| <b>Nacional</b>         | Comisión Reguladora de agua Potable y Saneamiento (CRA) <sup>5</sup> |                            | <p>(+) Regulación Económica de los servicios de agua potable y Saneamiento Básico en temas como la determinación de parámetros de calidad del agua en la prestación del servicio. (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico., 2015)</p>  |
|                         | Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD)          | Investigación y Regulación | <p>(+) Ejerce el control, la inspección y la vigilancia de las entidades prestadoras de servicios públicos domiciliarios, para garantizar el cumplimiento de la legislación. (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2015).</p>  |
| <b>Regional y Local</b> | Autoridades Ambientales Competentes <sup>6</sup>                     | Integrales                 | <p>(+) como máxima autoridad ambiental de su jurisdicción tienen entre sus responsabilidades, la ejecución de políticas, planes, programas, proyectos en materia ambiental,</p> <p>(+) Ordenar y establecer normas y directrices para el manejo de cuencas hidrográficas ubicadas en su jurisdicción.</p>   |

<sup>4</sup> El IDEAM es un Instituto de Apoyo técnico Científico del SINA, Adscrito al MADS. El recurso Hídrico es dirigido a través de la subdirección de Hidrología.

<sup>5</sup> La comisión es una Unidad Administrativa Especial adscrita al MADS.

<sup>6</sup> Son autoridades Ambientales competentes, las Corporaciones Autónomas regionales (CAR), las corporaciones de Desarrollo sostenible-(CDS), las Autoridades ambientales de los Grandes centros Urbanos (AAU) y aquellas de las que habla el artículo 13 de la ley 768 de 2002.

| Nivel de Actuación | Instituciones   | Modo de Actuación | Funciones relativas a la Gestión del Recurso Hídrico  |
|--------------------|---|-------------------|---|
| <b>Regional</b>    | Departamentos   | Integral          | <p>(+) Planifican y vigilan el cumplimiento de los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico- (PORH), Plan de Ordenamiento y manejo de Cuencas (POMCA), Plan de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) y el Plan de Ordenamiento Territorial (POT)</p> <p>(+) Definen los objetivos de calidad para la cuenca, tramo o cuerpo de agua y las metas global e individual de reducción de Carga contaminante.</p> <p>(+) Otorgan concesiones, licencias ambientales, realizan la facturación y el del cobro de las tazas retributivas y tasa por uso. (Contraloría General de la República, 2007-2008, p. 186).</p> <p>La ley 715 de 2001 definió las siguientes funciones:</p> <p>(+) Coordinar los planes departamentales de agua y saneamiento básico.</p> <p>(+) Implementar esquemas regionales de prestación de servicios públicos que permitan dar cumplimiento a las metas sostenibles de crecimiento del sector. (Contraloría General de la República, 2007-2008, como se citó en Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible, 2007).</p> <p>(+) Ejercen la vigilancia sobre la calidad del agua para consumo humano.</p> |
| <b>Regional</b>    | Direcciones departamentales<br>Distritales y Municipales de Salud (Direcciones Territoriales) | Integral          | <p>(+) Consolidan y registran en el SIVICAP<sup>7</sup> los resultados de los análisis de las muestras de agua exigidas por la ley.</p> <p>(+) Practicar visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano</p> <p>(+). Calcular los índices de Riesgo de Calidad de agua para consumo Humano- (IRCA).<sup>8</sup> (CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA, 2007-2008, P. 185).</p>  |

<sup>7</sup> SIVICAP. Sistema de inspección y Vigilancia de la calidad del agua para consumo Humano.

<sup>8</sup> Decreto 1575 de 2007. Art. 8°.

| Nivel de Actuación        | Instituciones                                    | Modo de Actuación    | Funciones relativas a la Gestión del Recurso Hídrico   |
|---------------------------|--|----------------------|--|
| <b>Nivel Local</b>        | Municipios                                       | Integral             | <p>(+) Vigilar en su jurisdicción la Calidad del agua Para consumo Humano<sup>9</sup>.</p> <p>(+) Promover, cofinanciar o ejecutar en coordinación con otras entidades públicas, comunitarias o privadas, obras de irrigación, drenaje y recuperación de tierras.</p> <p>(+) Realizar las actividades necesarias para el adecuado manejo y aprovechamiento de cuencas y micro cuencas hidrográficas.</p> <p>(+) Cumplir el artículo 111 de la ley 99 de 1993<sup>10</sup> (CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA, 2007-2008, P. 187).</p> <p>(+) Prestar el Servicio público de acueducto, alcantarillado y sus actividades complementarias<sup>11</sup></p> |
| “Apéndice A continuación” | Servicios Públicos de Acueducto y Alcantarillado | Vigilancia y Control | <p>(+) Son responsables del cumplimiento de la meta individual de carga contaminante y del pago de la tasa retributiva.</p> <p>(+) Cumplir con todas las disposiciones legales frente a las concesiones, uso u calidad del agua que distribuye (empresa de acueducto) y de la que vierte (Empresa de alcantarillado).</p> <p>(+) Asistencia Técnica, conformación de Esquema regionales cofinanciación.</p>  |

**Nota** Fuente: Autores, con base en información adaptada de la Contraloría de la República, (2007-2008).

*Recuperado de: Estado de los recursos Naturales y del ambiente, (p. 183). Bogotá, D.C. Grupo editor de la Contraloría General de la república. Oficina de Publicaciones y comunicaciones.*

<sup>9</sup> Ordenado por la ley 715 de 2001.

<sup>10</sup> Adquisición de áreas de Interés público para acueductos Municipales.

<sup>11</sup> Ley 142 de 1994. Artículo 6°.

## Apéndice B. Legislación Vigente que regula la Evaluación y Valoración de la calidad

del agua.

| Normas                                   | Año  | Emitida Por                     | Epígrafe o breve descripción  |
|--|------|---------------------------------|---|
| <b>Decreto 1380</b>                      | 1940 | Presidencia                     | Sobre aprovechamiento, conservación y distribución de aguas nacionales de Uso públicos  |
| <b>Decreto-Ley 2811</b>                  | 1974 | Presidencia                     | Regula los recursos naturales Renovables. Código de los recursos naturales renovables.  |
| <b>Decreto 1541</b>                      | 1978 | Presidencia                     | Reglamenta la parte III del libro II del decreto-ley 2811/74 sobre las L + +<br>++ + + + + + +<br>Artículos [119 (b), 120 (P.2) ,152 (f), 229, 248 (b) 227 (#4)]  |
| <b>Decreto 1681</b>                      | 1978 | Presidencia                     | Reglamenta la parte X del libro II del Decreto-Ley 2811 sobre los recursos hidrobiológicos.   |
| <b>Decreto 2105</b>                      | 1983 | Ministerio de la Salud          | <<Derogado por el decreto 475 de 1998>> por el cual se reglamenta parcialmente el Título II de la ley 9/79 en cuanto a potabilización del agua.   |
| <b>Decreto 1594</b>                      | 1984 | Presidencia                     | Se estipulan los criterios de Calidad que deben alcanzar las fuentes de agua para posibilitar los diferentes usos.  |
| <b>Ley 79</b>                            | 1986 | Congreso de la República        | Por la cual se promueve la conservación del agua y se dictan otras disposiciones.   |
| <b>Constitución política de Colombia</b> | 1991 | Asamblea Nacional constituyente | Con el fin de Fortalecer la unidad de la nación y asegurar a sus integrantes la vida, la convivencia, la justicia, la igualdad del conocimiento, la libertad y la paz, dentro del marco jurídico, democrático y participativo que garantice un orden político económico justo y comprometido a impulsar la integración de la comunidad latinoamericana. |
| <b>Ley 99</b>                            | 1993 | Congreso de la República        | Por la cual se crea el actual Ministerio de Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del ambiente y los recursos naturales renovables, se Reorganiza el Sistema Nacional Ambiental.   |

| Normas                       | Año  | Emitida Por                        | Epígrafe o breve descripción   |
|------------------------------|------|------------------------------------|--|
| <b>Decreto 1277</b>          | 1994 | Presidencia                        | <p>Por el cual se organiza y establece el instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales, IDEAM</p> <p>Por la cual se expiden Normas Técnicas de calidad del agua Potable</p> <p>Art. 2. Define la obligatoriedad de las disposiciones relacionadas con la calidad del agua potable para consumo Humano.</p> <p>Art.4. Las personas que prestan el servicio público de acueducto son las responsables del cumplimiento de las normas de calidad de agua establecida en el presente decreto. Y deben garantizar la calidad del agua potable.</p> |
| <b>Decreto 475</b>           | 1998 | Presidencia                        | <p>Art. 5. Normas Organolépticas, físicas, Químicas y microbiológicas de la calidad del agua potable.</p> <p>Art. 8°. Criterios Químicos de la calidad del agua Potable</p> <p>Art. 27. Especifica el Numero de Muestras que deben tomarse en la red de distribución de todo el sistema de suministro de agua potable, de acuerdo a la población servida. (Presidencia de La Republica, 1998)</p>  |
| <b>Resolución 1096 (RAS)</b> | 2000 | Ministerio de Desarrollo Económico | <p>Lineamientos para definir los niveles de tratamiento del agua + + S + + + + + + + + + +</p> <p>fuelle que va desde aceptable a muy deficiente, de acuerdo con su grado de contaminación.</p>  |
| <b>CONPES 3343</b>           | 2005 | MAVDT                              | <p>Lineamientos y Estrategias de desarrollo Sostenible para los sectores de agua, Ambiente y Desarrollo Territorial. En el # 1.2. (ii) habla sobre los estándares de Calidad del agua, de acuerdo con el tipo de Uso. Y en el # 2 (párrafo 4) habla acerca de habla en el contexto del manejo integral de agua, la divulgación de los protocolos de monitoreo de la calidad del agua. (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2015)</p>  |
| <b>Ley 1151</b>              | 2007 | Congreso de la República           | <p>Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010.</p>   |

| Normas                 | Año  | Emitida Por                                   | Epígrafe o breve descripción   |
|------------------------|------|---|--|
| <b>Resolución 2160</b> | 2007 | MAVDT   | Por la cual se crea un grupo Interno de Trabajo en el Despacho del Viceministro de Ambiente del Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible: Grupo del Recurso Hídrico. (Una de sus funciones vigila el monitoreo de la calidad del recurso Hídrico).   |
| <b>Decreto 1575</b>    | 2007 | Presidencia                                   | Por la cual se establece el sistema para la protección y control de la Calidad del agua para Consumo Humano. (Ministerio de la Protección social, 2007)  |
| <b>Resolución 2115</b> | 2007 | MAVDT   | Por Medio de la cual se señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y Vigilancia de la calidad del agua para consumo Humano (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2008)   |
| <b>Resolución 0811</b> | 2008 | Ministerio de la Protección Social y el MAVDT | Por medio de la cual se definen los lineamientos a partir de las cuales la autoridad sanitaria y las personas prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia, los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo Humano en la red de distribución. (Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo territorial., 2008)   |
| <b>Decreto 1323</b>    | 2007 | MAVDT   | Por la cual se crea el sistema de información del recurso hídrico SIRH-<br>Art. 3. El SIRH gestionará la información ambiental relacionada con:<br>-b. calidad de las aguas superficiales subterráneas, marinas y estuarinas.<br>Art. 4. Objetivos del SIRH. Es un objetivo:<br>-b. Considerar un inventario y caracterización del estado y comportamiento del recurso Hídrico en términos de calidad y Cantidad<br>Art5. Áreas temáticas del SIRH.<br>-b. la Calidad Hídrica. Conformada por la información referente a la calidad del recurso Hídrico (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007) |
| <b>Resolución</b>      | 2009 | MAVDT   | Por la cual se modifica parcialmente   |

| Normas              | Año  | Emitida Por   | Epígrafe o breve descripción   |
|---------------------|------|---|--|
| 2320                |      |   | la resolución 1096 de 2000.<br>Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado Público y se dictan otras disposiciones.<br>Art. 6. Parámetros microbiológicos de análisis y Reporte en los vertimientos puntuales <i>de agua residuales y ARnd</i> a cuerpos de agua superficiales.<br>Art. 7. Parámetros de Ingredientes Activos de plaguicidas de las categorías Toxicológicas IA, IB, II y sus valores límites Máximos Permisibles en los vertimientos Puntuales de aguas Residuales No domésticas- <i>ARnd</i> A cuerpos de agua superficiales y Alcantarillados público. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015) |
| Resolución No. 0631 | 2015 | MADS  |  |
| Decreto Único 1076  | 2015 | MADS (Ministerio de Ambiente Y Desarrollo Sostenible) | Decreto Único reglamentario del sector Ambiente y Desarrollo sostenible. Artículos (2.2.3.3.1.6. # 8, sobre Modelos de simulación de Calidad del agua, Art. 2.2.3.3.1.8 #3, Párrafo 2, sobre los diagnósticos de la Calidad del Agua con base a los modelos de simulación de Calidad del Agua; Art, 2.2.9.7.5.3. Sobre los recaudos de la tasa retributiva para inversión en Monitoreo de la calidad del agua y la descontaminación Hídrica).  |

**Nota** Fuente: Autores, con base en información adaptada de la Contraloría de la República, (2007-2008).

*Recuperado de: Estado de los recursos Naturales y del ambiente*, (pp. 247-255). Bogotá, D.C. Grupo editor de la Contraloría General de la república. Oficina de Publicaciones y comunicaciones.

**Apéndice C. Variables Físico-químicas-Microbiológicas monitoreadas y sus métodos de evaluación.**

| <b>VARIABLE</b>                  | <b>UNIDADES</b>         | <b>TÉCNICA</b>  | <b>MÉTODO</b>          |
|----------------------------------|-------------------------|---|------------------------|
| <b>Alcalinidad total</b>         | MgCaCO <sub>3</sub> /L  | Volumétrico   | SM<br>2320 B           |
| <b>aluminio</b>                  | mg Al/L                 | Digestión acida   | SM 3030 K - EPA200.8   |
| <b>Carbamatos</b>                | :                       | Continua extracción<br>líquido-líquido                                | EPA 3520C              |
| <b>Color real</b>                | UPtCo                   | Colorimetría  | SM 2120 C              |
| <b>conductividad</b>             | :                       | Electrométrico  | SM 2510 B              |
| <b>Coliformes<br/>totales</b>    | NMP/100mL               | Test de Sustrato<br>enzimático<br>Tubos Múltiples de<br>Fermentación  | SM 9223 B<br>SM 9221 B |
| <b>Coliformes<br/>fecales</b>    | NMP/100mL               | Test de Sustrato<br>Enzimático<br>Tubos Múltiples de<br>Fermentación* | SM 9223 B<br>SM 9221 B |
| <b>Cloro</b>                     | mg Cl <sub>2</sub> /L   |   | SM 4500-Cl G           |
| <b>Cloruros</b>                  | mg Cl <sup>-</sup> /L   | Método B<br>Argentométrico  | SM 4500-Cl- B          |
| <b>DBO<sub>5</sub></b>           | mg O <sub>2</sub> /L    | Respirométrico  | SM 5210 B SM 4500-O C  |
| <b>DQO</b>                       | mg O <sub>2</sub> /L    | Reflujo Cerrado<br>Volumétrico  | SM 5220 C              |
| <b>Dureza total</b>              | mg CaCO <sub>3</sub> /L | Volumétrico   | SM 2340 C              |
| <b>Fluoruros</b>                 | mg F <sup>-</sup> /L    | Ion-selectivo método<br>de electrodo                                  | SM 4500- F C           |
| <b>Grasas y aceites</b>          | mg GyA/L                | Material extractable<br>con n-hexano                                  | SM 5520 B              |
| <b>Hidrocarburos<br/>totales</b> | mg TPH /L               | No halogenados<br>orgánicos mediante                                  | EPA 8015C              |

GC / FID

|                                    |                                     |  |   |
|------------------------------------|-------------------------------------|--|---|
| <b>Nitratos</b>                    | mg NO <sub>3</sub> /L               | Espectrofotometría<br>UV                 | SM 4500-NO <sub>3</sub> B               |
| <b>Nitritos</b>                    | mg NO <sub>2</sub> /L               | Colorimétrico                            | SM 4500-NO <sub>2</sub> B               |
| <b>Nitrógeno amoniacal</b>         | mg NH <sub>3</sub> -N/L             | Destilación -<br>Volumétrico             | SM 4500-NH <sub>3</sub> B, C            |
| <b>Mesófilos</b>                   | UFC/1mL                             | Método de Sustrato<br>Enzimático         | SM 9215 B                               |
| <b>Organoclorados</b>              | :                                   | Extracción con<br>ultrasonido            | EPA 3510C- EPA 8081 B -                 |
| <b>Organofosforado</b>             | :                                   | Extracción con<br>ultrasonido            | EPA 3510C-EPA 8141 B                    |
| <b>Ortofosfatos</b>                | mg PO <sub>4</sub> /L               | Método de Ácido<br>Ascórbico             | SM 4500-P E                             |
| <b>Oxígeno disuelto</b>            | mg O <sub>2</sub> /L                | Electrométrico por<br>Modificación Ácida | SM 4500-O C                             |
| <b>PH y temperatura</b>            | unidades de<br>pH/°C                | Electrométrico                           | SM 4500-H+ B - SM 2550B                 |
| <b>Sólidos suspendidos totales</b> | mg SST/L                            | <b>Gravimétrico</b>                      | SM 2540 D                               |
| <b>Sólidos totales</b>             | mg SST/L                            | <b>Gravimétrico</b>                      | SM 2540 B                               |
| <b>Sólidos disueltos</b>           | mg SST/L                            | <b>Gravimétrico</b>                      | CALCULO                                 |
| <b>Sulfatos</b>                    | mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L | Cromatografía Iónica                     | SM 4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E |
| <b>Tensoactivo</b>                 | mg SAAM/L                           | Coloimetría-<br>Fotometría               | SM 5540 C                               |
| <b>Turbiedad</b>                   | NTU                                 | Turbidimétrico                           | SM 2130 B                               |

**Nota.** (\*) la evaluación de las variables Col.Totales y *E.coli* se realizó en laboratorios diferentes. Cada uno, autónomamente, aplicó una técnica distinta. El Test de sustrato enzimático fue utilizado por el

laboratorio de estudios ambientales de la UPB-sede Bucaramanga y la técnica de tubos mütiles de Fermentación fue aplicada por el laboratorio de calidad de aguas de la UFPSO. Los reportes se dan en las mismas unidades. Fuente. Elaboración del Grupo de Investigación con base en los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22<sup>th</sup>, Edition, (2012). Y American Public Health Association, Ed. 21, (2005).

### Apéndice D. Criterios de calidad para las Aguas crudas destinadas al consumo

#### Humano.

| Parámetros                        | Expresados Como (Mg/L) <sup>1</sup> | LÍMITES PERMISIBLES             |   |
|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|---|
|                                   |                                     | Norma Nacional Decretos 1594/84 | Guidelines for Drinking Water Quality OMS (1996) <sup>2</sup> |
| Alcalinidad                       | mg/l<br>(CaCO <sub>3</sub> )        | 100                             | NR  |
| Carbamatos                        | ppb                                 | NR                              | ---- <sup>7</sup>   |
| Color Real                        | UptCo                               | 1,0                             | 15  |
| Compuestos Fenólicos              | Fenol                               | 0,002                           | NR  |
| conductividad                     | :                                   | NR                              | NR  |
| Cloruros                          | Cl-                                 | 250,0                           | 250   |
| Demanda Bioquímica O <sub>2</sub> | DBO                                 | 5,0                             | NR  |
| Demanda Química O <sub>2</sub>    | DQO                                 | 25,0                            | NR  |
| Dureza Total                      | mgO <sub>2</sub> /L                 | 169                             | 500   |

|                                   |                                   |                           |                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|-------------------|
|                                   | MEH (material                     |                           |                   |
| <b>Grasas y Aceites</b>           | Extraíble del<br>Exano)           | --- <sup>3</sup>          | 0                 |
| <b>Hidrocarburos</b>              | mg/ C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> | NR                        | 0                 |
| <b>Totales</b>                    |                                   |                           |                   |
| <b>Nitratos</b>                   | NO                                | 10.0                      | 50 <sup>5</sup>   |
| <b>Nitritos</b>                   | NO                                | 10                        | 3                 |
| <b>Oxígeno Disuelto</b>           | OD                                | 5,0                       | <6                |
| <b>PH</b>                         | Unidades                          | 5-9 unidades              | 6,5-8,5           |
| <b>Sólidos</b>                    |                                   |                           |                   |
| <b>Suspendidos</b>                | SST                               | 1000                      | 1000              |
| <b>Totales</b>                    |                                   |                           |                   |
| <b>Temperatura</b>                | °C                                | NR                        |                   |
| <b>Turbiedad</b>                  | NTU                               | NR                        | 5 <sup>6</sup>    |
| <b>Sulfatos</b>                   | SO <sub>4</sub>                   | 400,0                     | 250               |
| <b>Tensoactivos</b>               | SAAM                              | 0,05                      | --- <sup>4</sup>  |
| <b>Plaguicidas<sup>8</sup></b>    | Mg/l                              | 0,1 <sup>9</sup>          | 0,5 <sup>10</sup> |
| <b>PARAMETROS BACTERIOLÓGICOS</b> |                                   |                           |                   |
|                                   |                                   | 20.000                    |                   |
| <b>Coliformes totales</b>         | NMP                               | microorganismos/100<br>mL | ND                |
|                                   |                                   | 2.000                     |                   |
| <b>Coliformes fecales</b>         | NMP                               | microorganismos/100<br>ml | ND                |

**Nota** Fuente: Autores con información *adaptada de: Guidelines for Drinking-Water Quality, 2nd edition* Vol.3, Organización Mundial de la Salud, (1997). Geneva, Ginebra Suiza.

<sup>1</sup> Los valores asignados a las referencias indicadas en el presente Capítulo se entenderán expresados en miligramos por litro, mg/L, excepto cuando se indiquen otras unidades.

<sup>2</sup> Se utilizan los criterios de calidad para aguas de consumo humano de la OMS

---<sup>3</sup> No se acepta película visible de grasas y aceites.

---<sup>4</sup> No haya presencia de espumas o tela visible sobre el agua

<sup>5</sup> Cuando nitrato y nitrito están presentes, la suma de las dos concentraciones no debe exceder 10 mg/L.

<sup>6</sup> Turbiedad promedio para una efectiva desinfección: = 1 UNT. Muestra simple: = 5 UNT.

<sup>7</sup> Se aplica cuando más de un plaguicida considerado en las guías de calidad están presentes en el agua

NR: No reporta directriz de calidad o bien porque no se admite la presencia del contaminante en el agua o porque en las concentraciones normalmente encontradas, no se ha detectado daño en la salud.

ND: no detectables en ninguna muestra de 100 mL

<sup>8</sup> Plaguicidas (Carbamatos, compuestos organofosforados, compuestos organoclorados)

<sup>9</sup> Criterio tomado de la resolución 2115 (2007) art. 8° Numeral 3 párrafo 2

<sup>10</sup> Unidades de la OMS en :

## Apéndice E. Matriz de Correlaciones entre variables fisicoquímicas más Importantes.

|                             |                        | Correlaciones    |                |                      |               |           |          |                 |                 |              |                           |                    |                         |               |
|-----------------------------|------------------------|------------------|----------------|----------------------|---------------|-----------|----------|-----------------|-----------------|--------------|---------------------------|--------------------|-------------------------|---------------|
| Correlaciones               | Valores de Caudales    | Oxígeno Disuelto | Unidades de pH | Alcalinidad del Agua | Conductividad | DBO5      | SST      | Sólidos Totales | Turbiedad (NTU) | Dureza Total | Temperatura del Agua (°C) | Coliformes Totales | <i>Escherichia coli</i> |               |
| Valores de Caudales         | Pearson                | 1                | ,810**         | ,553                 | -,122         | ,962**    | ,964**   | ,922**          | ,779**          | ,974**       | -,948**                   | ,159               | ,504                    | -,831**       |
|                             | Sig. (bilateral)       |                  | ,005           | ,098                 | ,738          | ,000      | ,000     | ,000            | ,008            | ,000         | ,000                      | ,662               | ,138                    | ,003          |
|                             | Covarianza             | 10,546           | 2,069          | ,822                 | -,1430        | 46,056    | 2,277    | 52,606          | 36,182          | 60,150       | -,68,329                  | ,958               | 7660,104                | -,955,580     |
| Oxígeno Disuelto            | Correlación de Pearson | ,810**           | 1              | ,868**               | -,315         | ,791**    | ,851**   | ,853**          | ,521            | ,839**       | -,853**                   | -,375              | ,419                    | -,649*        |
|                             | Sig. (bilateral)       | ,005             |                | ,001                 | ,375          | ,006      | ,002     | ,002            | ,122            | ,002         | ,002                      | ,285               | ,228                    | ,042          |
|                             | Covarianza             | 2,069            | ,619           | ,313                 | -,899         | 9,169     | ,487     | 11,795          | 5,866           | 12,564       | -,14,890                  | -,549              | 1543,778                | -,180,889     |
| Unidades pH                 | Correlación de Pearson | ,553             | ,868**         | 1                    | -,129         | ,576      | ,674*    | ,594            | ,139            | ,555         | -,631                     | -,473              | ,293                    | -,553         |
|                             | Sig. (bilateral)       | ,098             | ,001           |                      | ,722          | ,081      | ,033     | ,070            | ,702            | ,096         | ,050                      | ,168               | ,411                    | ,098          |
|                             | Covarianza             | ,822             | ,313           | ,210                 | -,215         | 3,892     | ,225     | 4,779           | ,910            | 4,841        | -,6,419                   | -,403              | 628,289                 | -,89,633      |
| Alcalinidad del Agua        | Correlación de Pearson | -,122            | -,315          | -,129                | 1             | -,142     | -,050    | -,076           | -,499           | -,145        | ,241                      | ,231               | -,303                   | -,023         |
|                             | Sig. (bilateral)       | ,738             | ,375           | ,722                 |               | ,695      | ,891     | ,835            | ,142            | ,689         | ,503                      | ,521               | ,394                    | ,950          |
|                             | Covarianza             | -,1430           | -,899          | -,215                | 13,123        | -,7,594   | -,132    | -,4,820         | -,25,883        | -,10,009     | 19,366                    | 1,556              | -,5145,556              | -,29,444      |
| Conductividad               | Correlación de Pearson | ,962**           | ,791**         | ,576                 | -,142         | 1         | ,958**   | ,820**          | ,758*           | ,887**       | -,952**                   | ,166               | ,686*                   | -,908**       |
|                             | Sig. (bilateral)       | ,000             | ,006           | ,081                 | ,695          |           | ,000     | ,004            | ,011            | ,001         | ,000                      | ,647               | ,029                    | ,000          |
|                             | Covarianza             | 46,056           | 9,169          | 3,892                | -,7,594       | 217,339   | 10,273   | 212,343         | 159,866         | 248,733      | -,311,583                 | 4,548              | 47323,778               | -,4737,444    |
| DBO5                        | Correlación de Pearson | ,964**           | ,851**         | ,674*                | -,050         | ,958**    | 1        | ,875**          | ,668*           | ,923**       | -,933**                   | -,005              | ,519                    | -,828**       |
|                             | Sig. (bilateral)       | ,000             | ,002           | ,033                 | ,891          | ,000      |          | ,001            | ,035            | ,000         | ,000                      | ,990               | ,124                    | ,003          |
|                             | Covarianza             | 2,277            | ,487           | ,225                 | -,132         | 10,273    | ,529     | 11,177          | 6,956           | 12,779       | -,15,066                  | -,006              | 1768,489                | -,213,289     |
| Sólidos Suspendedos Totales | Correlación de Pearson | ,922**           | ,853**         | ,594                 | -,076         | ,820**    | ,875**   | 1               | ,652*           | ,974**       | -,874**                   | -,046              | ,251                    | -,660*        |
|                             | Sig. (bilateral)       | ,000             | ,002           | ,070                 | ,835          | ,004      | ,001     |                 | ,041            | ,000         | ,001                      | ,899               | ,483                    | ,038          |
|                             | Covarianza             | 52,606           | 11,795         | 4,779                | -,4,820       | 212,343   | 11,177   | 308,683         | 163,814         | 325,437      | -,340,989                 | -,1,519            | 20686,356               | -,4107,367    |
| Sólidos Totales             | Correlación de Pearson | ,779**           | ,521           | ,139                 | -,499         | ,758*     | ,668*    | ,652*           | 1               | ,735*        | -,714*                    | ,233               | ,586                    | -,613         |
|                             | Sig. (bilateral)       | ,008             | ,122           | ,702                 | ,142          | ,011      | ,035     | ,041            |                 | ,015         | ,020                      | ,517               | ,075                    | ,060          |
|                             | Covarianza             | 36,182           | 5,866          | ,910                 | -,25,883      | 159,866   | 6,956    | 163,814         | 204,767         | 200,141      | -,226,849                 | 6,201              | 39271,111               | -,3105,556    |
| Turbiedad (NTU)             | Correlación de Pearson | ,974**           | ,839**         | ,555                 | -,145         | ,887**    | ,923**   | ,974**          | ,735*           | 1            | -,924**                   | ,058               | ,339                    | -,710*        |
|                             | Sig. (bilateral)       | ,000             | ,002           | ,096                 | ,689          | ,001      | ,000     | ,000            | ,015            |              | ,000                      | ,874               | ,338                    | ,021          |
|                             | Covarianza             | 60,150           | 12,564         | 4,841                | -,10,009      | 248,733   | 12,779   | 325,437         | 200,141         | 362,020      | -,390,438                 | 2,041              | 30173,556               | -,4782,889    |
| Dureza Total                | Correlación de Pearson | -,948**          | -,853**        | -,631                | ,241          | -,952**   | -,933**  | -,874**         | -,714*          | -,924**      | 1                         | -,066              | -,507                   | ,774**        |
|                             | Sig. (bilateral)       | ,000             | ,002           | ,050                 | ,503          | ,000      | ,000     | ,001            | ,020            | ,000         |                           | ,856               | ,135                    | ,009          |
|                             | Covarianza             | -,68,329         | -,14,890       | -,6,419              | 19,366        | -,311,583 | -,15,066 | -,340,989       | -,226,849       | -,390,438    | 492,969                   | -,2,731            | -,52660,444             | 6088,889      |
| Temperatura del Agua (°C)   | Correlación de Pearson | ,159             | -,375          | -,473                | ,231          | ,166      | -,005    | -,046           | ,233            | ,058         | -,066                     | 1                  | ,167                    | -,292         |
|                             | Sig. (bilateral)       | ,662             | ,285           | ,168                 | ,521          | ,647      | ,990     | ,899            | ,517            | ,874         | ,856                      |                    | ,645                    | ,412          |
|                             | Covarianza             | ,958             | -,549          | -,403                | 1,556         | 4,548     | -,006    | -,1,519         | 6,201           | 2,041        | -,2,731                   | 3,461              | 1451,778                | -,192,667     |
| Coliformes Totales          | Correlación de Pearson | ,504             | ,419           | ,293                 | -,303         | ,686*     | ,519     | ,251            | ,586            | ,339         | -,507                     | ,167               | 1                       | -,780**       |
|                             | Sig. (bilateral)       | ,138             | ,228           | ,411                 | ,394          | ,029      | ,124     | ,483            | ,075            | ,338         | ,135                      | ,645               |                         | ,008          |
|                             | Covarianza             | 7660,104         | 1543,778       | 628,289              | -,5145,556    | 47323,778 | 1768,489 | 20686,356       | 39271,111       | 30173,556    | -,52660,444               | 1451,778           | 21922666,600            | -,1292888,880 |
| <i>Escherichia coli</i>     | Correlación de Pearson | -,831**          | -,649*         | -,553                | -,023         | -,908**   | -,828**  | -,660*          | -,613           | -,710*       | ,774**                    | -,292              | -,780**                 | 1             |
|                             | Sig. (bilateral)       | ,003             | ,042           | ,098                 | ,950          | ,000      | ,003     | ,038            | ,060            | ,021         | ,009                      | ,412               | ,008                    |               |

**Nota.** La tabla muestra la correlación de Pearson para las variables analizadas más relevantes de acuerdo a los objetivos que se desean evaluar

\*\* Correlaciones significativas Positivas o Negativas en el nivel 0,01 (bilateral)

\* La correlación es medianamente significativa en el nivel 0,05 (bilateral) Correlaciones. Para interpretar la tabla, El título contiene un hipervínculo que lleva a la matriz detallada desarrollada en una hoja de cálculo de Excel. Puede activarse la hoja dinámica con doble clic sobre la tabla. Fuente. Grupo de Investigación.

En la matriz de correlación de Pearson se encontraron correlaciones significativamente altas entre los grupos paramétricos. Se relacionan a continuación las variables de mayor importancia para objetivos de calidad.

***Caudal-Oxígeno Disuelto-Conductividad- DBO<sub>5</sub>***. Esta correlación de acuerdo a Ramírez (2011), se produce por cuanto las anteriores variables miden, relacionan aunque de forma distinta, la carga polucional de carácter orgánico que pueden generar los desechos vegetales o domésticos al ser descargados a lo largo del río algodonal cuando los caudales presentes garantizan que en la lámina de agua persistan condiciones aeróbicas (p.88). Los resultados fisicoquímicos establecen que esta relación se presenta con mayor intensidad en las estaciones 2 y 4. Donde la carga de vertimientos domésticos y agrícolas del municipio de Ábrego (punto 2), el Corregimiento de la Hermita y el municipio de la playa (Punto 4) afluyen sin previo tratamiento la sección del río. Moderadamente, en las estaciones 3 y 5; considerando las pocas distancias que separa las estaciones 2-3 y 4-5 se puede deducir que el cuerpo de agua posee suficiente integridad ecológica para recuperarse a tramos cortos y mantener la dinámica natural del cauce

aguas abajo. Por tanto, se espera encontrar niveles de contaminación bajos o indetectables para estos puntos. En menor medida, esta condición se presenta en la estación 1, donde desde el punto de vista fisicoquímico, no se espera encontrar ningún tipo de contaminación detectable.

**Sólidos Disueltos-Oxígeno Disuelto-pH-Conductividad-Turbiedad- DBO<sub>5</sub>-cloruros.** Esta correlación presentada entre los puntos de muestreo refiere un deterioro estético del cuerpo de agua por el incremento de sólidos disueltos y suspendidos que se representan en la ganancia de iones y sales disueltas en el agua. En este caso, los puntos 2 y 4 que presentaron valores superiores de turbiedad, DBO<sub>5</sub> y sólidos disueltos, presentan condiciones dudosas de calidad fisicoquímica y se espera encontrar pocos organismos bio-indicadores que confirmen el criterio. No obstante, la estación 1 en esta correlación, presenta valores que pueden entrar en el margen de sensibilidad de grupos bioindicadores por lo que se espera que sean detectados algunos efectos de contaminación que los análisis fisicoquímicos oculten.

**Dureza Total- Alcalinidad-pH.** Está relación se refiere al proceso de mineralización relacionada con la actividad iónica, resultante por el aporte de materia orgánica de diferentes fuentes. De acuerdo a Roldán (2003) determinan la productividad de los ecosistemas acuáticos. El reporte fisicoquímico para estos parámetros supone una constante de equilibrio en el agua. Los valores de dureza monitoreados arrojaron un máximo de 60 mg/L CaCO<sub>3</sub> para la estación 5. Lo que ubica la estación 5 de acuerdo a Cantera et al., (2009) y roldán (2003) como aguas ecológicamente muy productivas.

De igual manera, la matriz de correlación de Pearson determinó correlaciones fuertemente negativas entre algunos parámetros. A continuación se consideran las variables más relevantes a objetivos de calidad.

**Valores Mayores de Caudales Frente datos menores: - Alcalinidad del Agua-Dureza total-DQO-DBO<sub>5</sub> -*E.coli*.** Esta relación negativa significa para el periodo de más lluvias, que a grandes volúmenes de agua aforados en las secciones de muestreo, mayor dilución de la polución en forma de material orgánico provenientes de desechos domésticos detergentes, CO<sub>2</sub> y amoníaco. Los caudales Los valores máximos de caudales monitoreados frente a los valores mínimos de alcalinidad, dureza del agua, DQO corrobora que hubo dilución de las muestras. Los valores de caudales parecen que afectan directamente las poblaciones de *E.coli* al diluir la materia orgánica del agua aportada por la materia fecal. Se esperan por tanto, que las diluciones del periodo de más lluvias representen en los índices de contaminación de Ramírez y Viña (1997) Menores pesos logarítmicos para el índice de contaminación por Materia Orgánica (ICOMO) y por Mineralización (ICOMI), pero al mismo tiempo se espera que los pesos logarítmicos del índice de contaminación por material suspendido (ICOSUS) se eleven en comparación al determinado para el periodo de menos lluvias. Sin que estos resultados en la leyenda de interpretación fluctúen a valores altos de polución.

**Valores mayores O.D Frente A valores menores - DQO--DBO<sub>5</sub>-SST-ST-Turbiedad.**

La correlación Negativa es consecuente al primer bucle negativo. Los valores mayores de Oxígeno disuelto se presentaron durante la época de más lluvias. Esto significa que la

concentración de materia orgánica disuelta y suspensión evaluada en todos los puntos de muestreo fue menor. Por tanto, se redujo la cantidad de oxígeno susceptible a la oxidación en procesos de respiración bioquímica. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Duque M, (2007) quien obtuvo un comportamiento similar de las variables para los periodos de mas y menos lluvias en la quebrada la Laja del municipio de San Gil.

### Apéndice F. Recursos Humanos del Proyecto

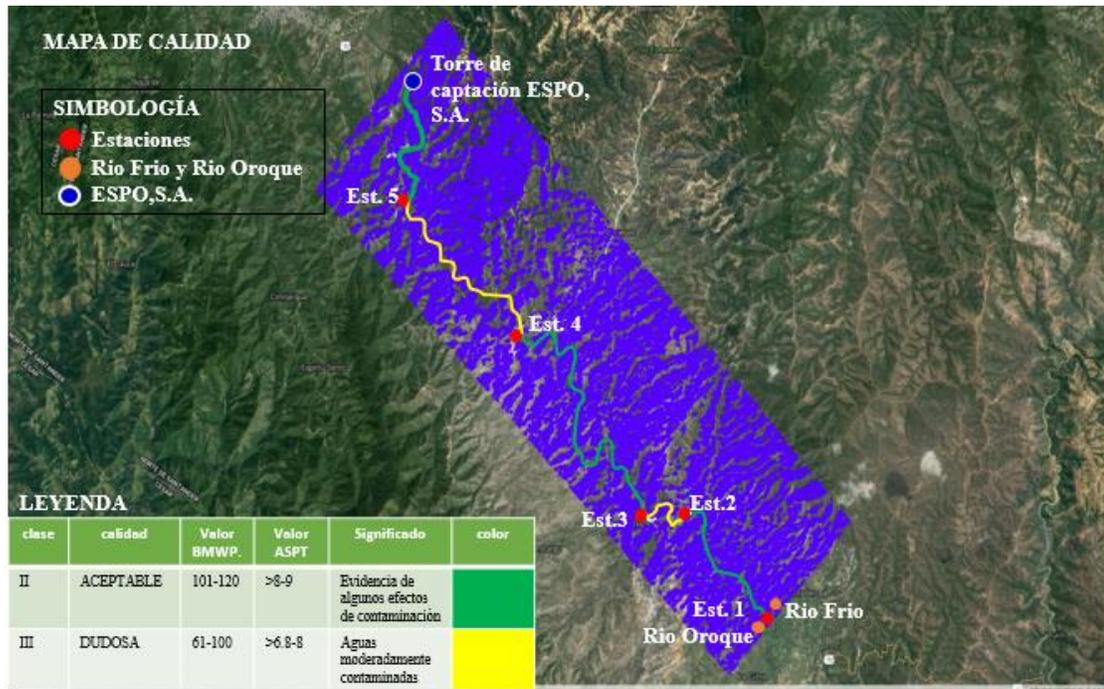
| <b>Participante</b>                  | <b>Grado Académico</b>                  | <b>Actividad Desarrollada</b>  | <b>Tiempo dedicado al Proyecto</b> | <b>Institución</b>  |
|--------------------------------------|---|--|------------------------------------|---|
| <b>Rocío Andrea Miranda Sanguino</b> | Ingeniera Ambiental                     | Directora Temática del Proyecto  | 40 semanas                         | Observatorio Socio Ambiental-UFPSO  |
| <b>Wilson Angarita</b>               | Especialista-Ingeniería Ambiental       | Jurado Evaluador   | 1 semana                           | Observatorio Socio ambiental UFPSO  |
| <b>Carlos Alberto Patiño</b>         | Químico Especialista                    | Jurado Evaluador   | 1 semana                           | Empresa de servicios Públicos de Ocaña (ESPO)   |
| <b>Johana Ximena Páez Pacheco</b>    | Especialista Microbiología de Alimentos | Asesora Temática para laboratorio de parámetros Bacteriológicos y Biológicos | 8 semanas                          | Laboratorio de Biotecnología Animal-UFPSO   |
| <b>Diego L. Blanco Arenas</b>        | Magister en Gestión Ambiental           | Asesor Temático en Laboratorio de Determinación Parámetros Físico-Químicos   | 15 días                            | Laboratorio de Estudios Ambientales de la Universidad pontificia Bolivariana-Sede Bucaramanga |
| <b>Jhonatan F. Duitama Jaimes</b>    | Tecnología en Química y Farmacéutica    | Analista Químico   | 15 dias                            | Lab. Estudios Ambientales de la UPB- Sede Bucaramanga   |
| <b>Alcides Rivera Hernández</b>      |   | Asesor Temático Trabajo de campo para toma de Muestras                       | 15 días                            | Lab. de Estudios Ambientales de la UPB-sede Bucaramanga                                       |

**Nota.** Fuente. Grupo de Investigación

**Recursos Institucionales.** Para el desarrollo de esta investigación se tendrá el apoyo adicional de la Universidad Pontificia Bolivariana, sede Bucaramanga, quien en el marco de movilidad académica suscrito entre los departamentos de relaciones institucionales e internacionales (ORI-UPB) y el departamento de investigación y extensión (DIE) de la

+ Q + + + + + + ++ +  
 + + + + + + + + + + + + +  
 de + + + + + + + + + + + + +  
 servicios prestados por el laboratorio acreditado de Estudios ambientales para la evaluación de parámetros fisicoquímicos y el laboratorio de microbiología para la determinación de parámetros microbiológicos.

### Apéndice G. Mapa de Calidad del Agua según índice BMWP/col.



**Fuente:** Grupo de Investigación

**Apéndice H. Puntos de Muestreo seleccionados en el río Algodonal.**



Confluencia rio Oroque y Frio

**Estación 1. Nacimiento Rio Algodonal**



**Estacion 2. Aguas arriba de la laguna de Estabilización del municipio de Abrego.**





**Estación 3.** Aguas debajo de la laguna de Estabilización.



**Est 4.** Punto San Luis ( H2O abajo de los vertimientos del Corregimiento de la Ermita y el Municipio la Playa).



**Estación 5.** Aguas arriba de la torre de Captación, de la Empresa de servicios Públicos de Ocaña, sede algodonal.



**Est 4.** Punto San Luis

**Fuente:** Grupo de Investigación

**Apéndice I. Trabajo de Campo.**



Conservación de las muestras.



Rótulos de las muestras.



Búsqueda de bentos encontrados en superficie



macro invertebrados encontrados en hojarasca.



### Rotulo de muestras para análisis fisicoquímicos en laboratorio

|                              |  |                                |                  |
|------------------------------|--|--------------------------------|------------------|
| <b>Fecha:</b>                |  | <b>Hora:</b>                   |                  |
| <b>Empresa:</b>              |  |                                |                  |
| <b>Ciudad/Dpto.:</b>         |  |                                |                  |
| <b>Tipo de Muestra:</b>      |  |                                |                  |
| Puntual                      |  | Compuesta                      | Integrada        |
| <b>Tipo de Preservación:</b> |  |                                |                  |
| Refrigeración                |  | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | HNO <sub>3</sub> |
| Tiosulfato                   |  |                                |                  |
| Punto de Muestreo:           |  |                                |                  |
| Responsable:                 |  |                                |                  |

### Ficha de campo con datos generales Para Toma De Muestras Biológicas

| LOCALIDAD:<br>CUENCA:<br>PROV. / DPTO.<br>RESPONSABLE:  |               | CODIGO ESTACIÓN:<br>FECHA:<br>HORA INICIO:<br>HORA TERMINO:  |                                   |   |   |
|---|---------------|--|-----------------------------------|---|---|
| PERSONAL CAMPO:   |               |  |                                   |   |   |
| COORDENADAS Y ALTITUD:  |               |  |                                   |   |   |
| CONDICIONES METEOROLÓGICAS:<br>Sol .... Nublado .... Lluvia .....   |               | Lluvias en los últimos 7 días: SI ..... NO .....   |                                   |   |   |
| REGISTRO FOTOGRAFICO: SI ..... NO .....   |               |  |                                   |   |   |
| <b>VEGETACION RIPARIANA</b> (Hasta 18m)<br><b>Indicar el tipo de vegetación predominante</b><br>Arboles Arbustos Pastos Herbáceas<br><b>Especie predominante:</b> |               | <b>Cobertura de dosel</b><br>Parcialmente abierto .... Parcialmente sombreado ....<br>Sombreado .... Abierto ....<br><b>Altura de marca de agua</b> _____m |                                   |   |   |
| Longitud estimada _____m<br>Ancho estimado _____m<br>Área estimada de muestreo _____m <sup>2</sup><br>Profundidad estimada _____m<br>Velocidad de corriente _____ |               | <b>OBSERVACIONES:</b>  |                                   |   |   |
| PARAMETROS FISICOQUÍMICOS:  |               | pH   | T (°C)                            | CE  | TDS                                     |
| Equipo utilizado:   |               | Sal%   | OD                                |   |   |
| <b>Olor del agua</b><br>. Norma/Ninguno .... Desagüe ....<br>. Petróleo .... Químico .... Pescado .... Otro _____   |               | <b>Turbidez (si no es medida)</b><br>. Clara .... Levemente turbio .... Turbio ....<br>. Otro _____  |                                   |   |   |
| <b>SUSTRATOS INORGANICOS</b> (deben sumar 100%)   |               |  |                                   |   |   |
| Tipo de sustrato  | Diámetro      | % de composición en el área de muestreo  | Tipo de sustrato                  | Característica                                      | % de composición en el área de muestreo |
| Roca madre  |               |  | Hojarasca                         | Palos, madera, plantas, en tamaños pequeños         |   |
| Boulder   | > 256 mm      |  | Estiércol                         | De cualquier tipo de ganado o animales de la zona   |   |
| Canto rodado  | 64-256 mm     |  |                                   |   |   |
| Grava   | 2-64 mm       |  |                                   |   |   |
| Arena   | 0.06-2mm      |  | Marga (roca sedimentaria)         | Arcilla amarillenta o grisácea, de origen biológico |   |
| Limo  | 0.004-0.06 mm |  |                                   |   |   |
| Arcilla   | < 0.004 mm    |  |                                   |   |   |
| <b>PLANKTON:</b> litros filtrados / diámetro de poro de red   |               |  | <b>PERIFTON:</b> tipo de sustrato |   |   |
| <b>MACROINVERTEBRADOS</b>   |               |  | <b>PESCA:</b> Esfuerzo            |   |   |

Fuente: Métodos de Colecta e identificación de Comunidades Biológicas (2011)

## Apéndice J. Trabajo en Laboratorio

Resultado de las familias Bioindicadoras detectadas, en el laboratorio, durante el muestreo y su identificación taxonómica.



|          |           |
|----------|-----------|
| CLASE    | Insecta   |
| ORDEN    | Hemiptero |
| FAMILIA  | Vellidae  |
| RIQUEZA  | 75        |
| ABSOLUTA |           |



|          |                |
|----------|----------------|
| CLASE    | Insecta        |
| ORDEN    | Odonata        |
| FAMILIA  | Calopterygidae |
| RIQUEZA  | 26             |
| ABSOLUTA |                |



|          |             |
|----------|-------------|
| CLASE    | Oligochaeta |
| ORDEN    | Tubificida  |
| FAMILIA  | Naididae    |
| RIQUEZA  | 9           |
| ABSOLUTA |             |



|          |              |
|----------|--------------|
| CLASE    | Insecta      |
| ORDEN    | Dipteros     |
| FAMILIA  | Chironomidae |
| RIQUEZA  | 26           |
| ABSOLUTA |              |



|                  |            |
|------------------|------------|
| CLASE            | Insecta    |
| ORDEN            | Hemiptera  |
| FAMILIA          | Naucoridae |
| RIQUEZA ABSOLUTA | 15         |



|          |               |
|----------|---------------|
| CLASE    | Insecta       |
| ORDEN    | Ephemeroptera |
| FAMILIA  | Baetidae      |
| RIQUEZA  | 9             |
| ABSOLUTA |               |



|                  |            |
|------------------|------------|
| CLASE            | Insecta    |
| ORDEN            | Coleóptera |
| FAMILIA          | Carábidae  |
| RIQUEZA absoluta | 10         |



|                  |           |
|------------------|-----------|
| CLASE            | Insecta   |
| ORDEN            | Diptero   |
| FAMILIA          | Empididae |
| RIQUEZA ABSOLUTA | 2         |



|                  |                |
|------------------|----------------|
| CLASE            | Insecta        |
| ORDEN            | Trichoptera    |
| FAMILIA          | Hydropsychidae |
| RIQUEZA ABSOLUTA | 7              |



|                  |            |
|------------------|------------|
| CLASE            | Insecta    |
| ORDEN            | plecóptera |
| FAMILIA          | Perlodidae |
| RIQUEZA ABSOLUTA | 6          |



|                  |              |
|------------------|--------------|
| CLASE            | Oligochaeta  |
| ORDEN            | Haplotaxida  |
| FAMILIA          | Haloptaxidae |
| RIQUEZA ABSOLUTA | 6            |



|                  |           |
|------------------|-----------|
| CLASE            | Insecta   |
| ORDEN            | Hemiptera |
| FAMILIA          | Alydidae  |
| RIQUEZA ABSOLUTA | 2         |



|                  |            |
|------------------|------------|
| CLASE            | Insecta    |
| ORDEN            | plecóptera |
| FAMILIA          | Perlidae   |
| RIQUEZA ABSOLUTA | 6          |



|                  |                 |
|------------------|-----------------|
| CLASE            | Phylactolaemata |
| ORDEN            | plumatellida    |
| FAMILIA          | Fredericellidae |
| RIQUEZA ABSOLUTA | 14              |



|                  |                 |
|------------------|-----------------|
| CLASE            | Insecta         |
| ORDEN            | Diptera         |
| FAMILIA          | Ceratopogonidae |
| RIQUEZA ABSOLUTA | 3               |



|                  |                |
|------------------|----------------|
| CLASE            | Insecta        |
| ORDEN            | Ephemeroptera  |
| FAMILIA          | Ephemerellidae |
| RIQUEZA ABSOLUTA | 36             |

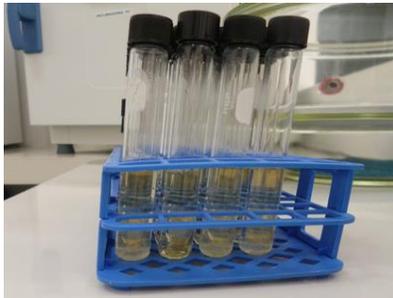


|                  |                 |
|------------------|-----------------|
| CLASE            | Insecta         |
| ORDEN            | Odonata         |
| FAMILIA          | platycnemididae |
| RIQUEZA ABSOLUTA | 7               |

Análisis bacteriológico a través del medio LMX fluorocult. Realizados en los laboratorio de la UFPSO.



## Conservación de las muestras



## Presencia de *E. coli*

## Análisis de parámetros físico-químicos en el laboratorio de la UPB-Sede Bucaramanga.

