



**MONITOREO, VALORACION Y EVALUACION DIAGNOSTICA DE LA CALIDAD
DEL AGUA DEL RIO ALGODONAL EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LOS
MUNICIPIOS DE ABREGO Y OCAÑA, NORTE DE SANTANDER**

ESTUDIANTE

ROCIO ANDREA MIRANDA SANGUINO

UNIVERSIDAD DE MANIZALES

FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS

MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE

MANIZALES, COLOMBIA

2018

**MONITOREO, VALORACION Y EVALUACION DIAGNOSTICA DE LA
CALIDAD DEL AGUA DEL RIO ALGODONAL EN EL TRAMO
COMPRENDIDO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ABREGO Y OCAÑA, NORTE
DE SANTANDER**

ROCIO ANDREA MIRANDA SANGUINO

Ing. Ambiental

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de Magíster en
Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

Director/asesor

PhD HENRY REYES PINEDA

Co-investigadores

Ing. ROIMAN DAVID RAMÍREZ MARTÍNEZ

Ing. KATIUSKA HERNÁNDEZ

Esp. DIEGO LEONARDO BLANCO ARENAS

Línea de investigación:

Biosistemas Integrados

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE
MANIZALES, COLOMBIA**

2018

Dedicatoria

Doy gracias a Dios Padre Celestial por la oportunidad brindada para cursar esta Maestría, además por contar con el apoyo incondicional del equipo investigador principal (Ing. Ramírez Roiman y la Ing. Hernández Katiuska y Miranda R.) y el equipo de co-investigadores, (Msm Diego Leonardo Blanco Arenas de la UPB-Bucaramanga y equipo humano de laboratorio) que en equipo se aportó en este estudio para la generación de conocimiento, colectivo pertinente al contexto.

Nada es más útil que el agua, pero apenas servirá para comprar algunas cosas pueden obtenerse a cambio de ella. Un Diamante, por lo contrario, tiene apenas un valor de uso, pero puede adquirirse con frecuencia una gran cantidad de otros bienes a cambio del mismo. Adam Smith; la Riqueza de la Naciones (1776).

Agradecimientos

Gracias a Dios por la oportunidad brindada, la cual me permitió un proceso de apropiación y generación de conocimientos participativo a través de esta Maestría, al potencial humano del cuerpo de docentes que soportan este plan de estudios y por el talentoso equipo humano de coinvestigadores que aportaron sus Conocimientos para enriquecer este producto y además de permitirme vivir en la mejor región (Catatumbo) que tiene Colombia, un territorio rico en agua y mega diverso.

Resumen

La permanente evaluación diagnóstica de la calidad del agua de las fuentes abastecedoras en Colombia, para la destinación de los diferentes usos sobre todo para consumo humano en prioridad, y en segundo lugar para la producción de alimentos, tal como lo afirma el Decreto N° 1640 de 2012¹; es necesario y obligación del gobierno procurar por la calidad del recurso, que implica la toma de decisiones y ejecutar acciones que garanticen una gestión integral del agua a nivel de región, la cual se logra desde un monitoreo, vigilancia y control de un conjunto de indicadores como lo son: calidad, oferta superficial y reducción de riesgos por contaminación hídrica y desabastecimiento.

Esto es un reto, que le compete a las autoridades desde lo institucional pero mismo tiempo compromiso de las comunidades, pues la gestión del agua es un compromiso de todos, pues esto no es solo gestión por parte del Estado en los diferentes órdenes del gobierno, sino que además se requiere de la gestión social de la sociedad civil como veedores del bienestar de las diferentes poblaciones que representan, las cuales están asentadas en cada una de las áreas hidrográficas.

Pues se considera que el acceso agua de calidad (apta para consumo humano y demás usos) es un derecho colectivo que amerita de la gestión institucional y comunitaria para garantizar calidad de agua según el uso; pues para (Díaz, Marín, & G., 2014): *“El agua es un bien común, un derecho colectivo, el cual debe ser gestionado comunitariamente bajo instrumentos legales, tecnológicos, metodológico, eficaces y rotundos, donde se garantice su abastecimiento y saneamiento”* (Díaz, Marín y Gutiérrez, 2016) y tal como lo afirma (Sierra, 2011): *“En vista de la complejidad de los factores que determinan la calidad del agua y la gran cantidad de variables utilizadas para describir el estado de los cuerpos de*

¹ Decreto por el cual se reglamenta la ordenación, manejo y planificación de cuencas hidrográficas y acuíferos en Colombia. Y otras disposiciones.

agua en términos cuantitativos, es difícil dar una definición simple de calidad del agua, composición que está expuesta a variaciones espaciales y temporales debido a factores externos e internos al cuerpo de agua”.

Por tanto partiendo del anterior planteamiento y aterrizando la situación en el nivel local se realizó durante diez (10) meses, transcurridos entre diciembre del año 2015 a octubre del año de 2016 un monitoreo de la calidad hídrica del Rio Algodonal en un segmento objeto de estudio, seleccionado claro está por su importancia ecosistemica, ubicación estratégica en la cuenca y por cuestiones de disponibilidad de recursos económicos con el fin de obtener una valoración y evaluación en fase diagnostica de la *calidad del agua del Rio Algodonal*.

El tramo del rio donde se desarrolló la evaluación diagnostica conto con una longitud de cauce de 30.27 km, comprendido entre los municipios de Abrego y Ocaña, Norte de Santander, donde se aprovechó el periodo de lluvias (diciembre-abril-mayo) y periodo seco (enero a marzo y junio) de esta zona.

Se realizó una valoración detallada y análisis de variables tanto independientes (calidad del agua y oferta superficial del rio Algodonal) como de variables dependientes, tales como fisicoquímico y microbiológico al agua, en donde, se establecieron previamente bajo criterio técnico según metodología del IDEAM cinco estaciones de control-aforo (E1, E2, E3, E4 y E5) en el tramo seleccionado del río algodonal, a fin de evaluar a manera de fase diagnostica la calidad del agua a partir de la estimación de índices de calidad del agua mediante utilización de software código libre ICATEST con correspondencia al enfoque que busca la metodología del IDEAM y Metodología Calidad del agua, evaluación y diagnóstico (Sierra, 2011).

Pues se estimaron indicadores de calidad y contaminación del agua como, por ejemplo: *a. El IQA/Col y el ICACOSUS para su comparación con los estándares nacionales e internacionales de calidad contemplados (Decreto 1594 de 1984), la OMS (1996) y*

resolución 2115 de (2007); referente a la destinación del recurso para el consumo humano;
b. ICOMI (contaminación por mineralización; c. índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO), ICOpH y ICOtemp.

Para ello se trazó un plan de monitoreo de calidad del agua de la fuente superficial objeto de estudio para el logro de los objetivos y para la optimización de los diferentes recursos, según el plan se monitoreo durante diez (10) meses mediante la realización de dos (2) muestreos con una frecuencia de muestreo trimestral aproximadamente, donde, se tomaron muestras simples e integradas para su correspondiente análisis a nivel de laboratorio en primer lugar, y posteriormente generar la valoración y evaluación diagnóstica de las variables definidas en esta investigación.

Palabras Claves: Calidad del agua, gestión integral del agua, gestión de cuencas hidrográficas, vertimientos, aguas residuales, variables fisicoquímicas y microbiológicas, agua cruda, índices de calidad, agua para consumo humano, gestión comunitaria

Abstract

The permanent diagnostic evaluation of the water quality of the water supply sources in Colombia, for the destination of the different uses especially for human consumption in priority, and secondly for the production of food, as stated in Decree No. 1640 of 2012; it is necessary and obligation of the government to seek for the quality of the resource to truly guarantee a comprehensive water management at the regional level, which is achieved through monitoring, surveillance and control of a set of indicators such as: quality, superficial supply and reduction of risks due to water pollution and shortages.

This is a challenge, which falls to the authorities from the institutional but also the time commitment of the communities, because water management is a commitment of all, because this is not only management by the State in the different levels of government, but also requires the social management of civil society as overseers of the welfare of the different populations they represent, which are settled in each of the hydrographic areas.

Well, it is considered that quality water access (suitable for human consumption and other uses) is a collective right that deserves institutional and community management to guarantee water quality according to use; So for (Diaz, Marin, & G., 2014): "Water is a common good, a collective right, which must be managed communally under legal, technological, methodological, effective and resounding instruments, where its supply and supply is guaranteed. sanitation "(Díaz, Marín and Gutiérrez, 2016) and as stated (Sierra, 2011):" In view of the complexity of the factors that determine the quality of water and the large number of variables used to describe the state of the water bodies in quantitative terms, it is difficult to give a simple definition of water quality, composition that is exposed to spatial and temporal variations due to external factors and internal to the body of water"

Therefore starting from the previous approach and landing the situation at the local level was carried out for ten (10) months, between December 2015 to October 2016 a monitoring of the water quality of the Algodonal River in a segment under study, selected clearly is for its ecosystem importance, strategic location in the basin and for reasons of availability of economic resources in order to obtain an assessment and evaluation in diagnostic phase of the water quality of the Algodonal River.

The section of the river where the diagnostic evaluation was developed with a channel length of 30.27 km, comprised between the municipalities of Abrego and Ocaña, Norte de Santander, where the rainy season (December-April-May) and dry period were used (January to March and June) of this area.

A detailed assessment and analysis of both independent variables (water quality and surface supply of the Algodonal River) and dependent variables, such as physicochemical and microbiological to water were carried out, where, under technical criteria according to the IDEAM methodology, five stations were previously established of control-gauging (E1, E2, E3, E4 and E5) in the selected section of the cotton river, in order to evaluate as a diagnostic phase the quality of the water from the estimation of water quality indexes by using water free code software ICATEST corresponding to the approach sought by the IDEAM methodology and Water Quality, Assessment and Diagnosis Methodology (Sierra, 2011).

Keywords: Water quality, integrated water management, watershed management, discharges, wastewater, physicochemical and microbiological variables, raw water, quality indexes, water for human consumption, community management

Índice

Introducción	xiv
Capítulo 1. Problemática	1
1.1 Descripción General Contexto.....	1
1.1.1 Régimen hídrico	6
1.1.2 Características Generales suelos de la Cuenca del Rio Algodonal	7
1.1.3 Oferta Hídrica	9
1.1.4 Distribución Temporal de los Caudales	11
1.2 Descripción de Área Objeto de estudio	13
1.3.1. Pregunta Problema	20
1.4 Hipótesis	20
1.5 Justificación	21
Capítulo 2. Referente Teórico	24
2.1 Parámetros estandarizados para determinación de calidad de agua	30
2.1.1 Parámetros físicos	30
2.2 Parámetros microbiológicos	32
2.3 Parámetros químicos.....	33
2.4 Sustancias químicas	35
2.5 Determinación de la calidad del agua de fuentes superficiales por índices de calidad	44
2.6 Descripción del Software ICATEST V1.0.	51
Capítulo 3. Objetivos.....	55
3.3 Alcance	56
3.4 Estaciones de Control-Aforo	58
Capitulo 4. Metodología.....	64
4.1 Diseño de Investigación.....	64
4.2 Metodología de la Investigación.....	65
4.3 Universo.....	66
4.4 Población	67
4.5 Muestra	67
4.6 Variables.....	67
4.6.1 Independientes	67

4.6.2 Dependientes	67
4.6.3 Variables de oferta hidrica superficial	68
4.7 Criterios de evaluacion	72
4.7 Monitoreo de la calidad y oferta hidrica del rio algodonal.....	73
4.7.1 Frecuencia de Muestreos.....	73
4.7.2 Tipos de Muestreo.....	73
4.7.4 Orden del muestreo	74
4.7.4 Técnicas de muestreo	76
4.8 Métodos y procedimientos.....	78
4.8.1 Plan de Monitoreo.....	78
4.8.2 Procedimientos para análisis de variables a nivel de laboratorio	80
4.8.3 Recipientes y volúmenes de muestras.....	82
4.9 Toma de muestras, preparación, conservación y transporte.....	84
4.9.1 Método de preservación y conservación de muestras.....	85
4.10 Tratamiento y Analsis de la informacion	90
4.10.1 Triangulación de la Información.....	92
5. Resultados	95
5.1 Análisis de la oferta superficial tramo (30.27 km) rio algodonal.....	95
5.2 Descripción organoleptica del agua del rio algodonal.....	100
5.3 Análisis fisicoquímico del rio algodonal tramo objeto de estudio	102
5.4 Resultados de análisis y evaluación microbiológica	109
5.5 Análisis de parámetros de plaguicidas.....	112
5.7 Índices de contaminación	114
Conclusiones	118
Recomendaciones.....	120
Bibliografía.....	122
Anexos.....	127

Lista de Tablas

Tabla 1.....	3
Tabla 2.....	5
Tabla 3.....	6
Tabla 10.....	11
Tabla 11.....	18
Tabla 12.....	26
Tabla 13.....	27
Tabla 14.....	45
Tabla 16.....	49
Tabla 17.....	52
Tabla 18.....	53
Tabla 19.....	57
Tabla 20.....	59
<i>Tabla 21.....</i>	68
Tabla 22.....	72
Tabla 23.....	75
Tabla 24.....	77
Tabla 25.....	77
Tabla 26.....	78
Tabla 27.....	80
Tabla 28.....	83
Tabla 29.....	84
Tabla 30.....	86
Tabla 31.....	89
Tabla 32.....	95
Tabla 33.....	95
Tabla 34.....	97
Tabla 35.....	98
Tabla 36.....	98
Tabla 37.....	102
Tabla 38.....	104
Tabla 39.....	112

Lista de Figuras

Figura 1. Ubicación Cuenca rio Algodonal.....	1
Figura 2. Modelo de elevación de la cuenca del Río Algodonal.....	2
Figura 3. Páramos, subparamos y nacimientos de agua en la cuenca del Río Algodonal.....	4
Figura 4. Porcentajes de las Áreas de los tributarios del Rio Algodonal	5
Figura 6. Precipitación promedia anual Cuenca Rio Algodonal, por método de Isoyetas....	6
Figura 7. Distribución de precipitaciones en la Cuenca del Rio Algodonal	7
Figura 8. Mapa de Pendientes Cuenca Rio Algodonal.....	9
Figura 9. Área de Escurrimiento dela Cuenca R. Algodonal	10
Figura 10. Caudales Relativos en las Estaciones de la Cuenca Río Algodonal	13
Figura 12. Área objeto de estudio	13
Figura 13. Río algodonal, tramo comprendido entre los municipios de Abrego y Ocaña, Norte de Santander.....	14
Figura 14. Rio Algodonal, municipio de Abrego, Norte de Santander	15
Figura 15. Vertimiento puntual de un barrio del municipio de Abrego Norte de Santander	16
Figura 17. Ilustración Situación de derrame de hidrocarburos, Rio Algodonal en el tramo comprendido entre Abrego y Ocaña Norte de Santander.....	19
Figura 18. Vías de infección principalmente por contacto con aguas superficiales muy contaminadas	28
Figura 24. Parámetros evaluados por los índices de contaminación de Ramírez y Viña (1997)	48
Figura 25. Estaciones de control-aforo	60
Figura 26. Estación de Control de Aforo N°1	61
Figura 27. Estación de Control de Aforo N°2	61
Figura 28. Estación de Control de Aforo N°3	62
Figura 29. Estación de Aforo-control N°4.....	62
Figura 30. Estación de Aforo-control N°5.....	63
Figura 31. Propuesta de Diagrama de Investigación Calidad del Rio Algodonal.....	65
Figura 32. Esquema de Perfiles de Flujo a partir de lecturas de Molinete.....	69
Figura 33. Monitoreo Rio Algodonal, Municipio de Abrego	73
Figura 34. Esquema Plan de Monitoreo	79
Figura 35. Procedimiento para envasado de muestras	82

Figura 36. Cadena de Custodia para la preservación y conservación de las muestras.....	85
Figura 37. Esquema Resumen Análisis de la información.....	92
Figura 38. Esquema Ilustrativo Triangulación de la información.....	93
Figura 39. Perfil de secciones transversales trazados en el tramo del Rio Algodonal, E1.	96
Figura 40. Perfil de secciones transversales trazados en el tramo del Rio Algodonal E5 ..	96
Figura 41. Sección transversal del E1.	97
Figura 42. Resultados físico-químicos evaluados en las cinco estaciones para temporada de lluvia.....	106
Figura 43. Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en temporada seca	106
Figura 44. Resumen estadístico descriptivo de variables microbiológicas	109
Figura 45. Diagrama de Cajas y bigote para Coliformes totales.....	110
Figura 46. Diagrama Box-Plot para Coliformes fecales	110
Figura 47. Representación gráfica de las concentraciones de orto fosforados presentes en el Rio Algodonal	114
Figura 48. Índices de contaminación determinadas para cada estación y Época de Estudio	114
Figura 49. Resumen de promedios de índices de contaminación Rio Algodonal.....	115
Figura 50. Rango de evaluación de los ICOs y Convenciones	116
Figura 51. Índices de contaminación en las cinco estaciones de estudios	116

Introducción

El agua es un recurso natural fundamental e insustituible, sin el cual no es posible la vida, ni la actividad del hombre (Hanssen, 1996); necesario para el funcionamiento de los procesos biológicos y ambientales (ecosistémicos) e imprescindible para el Desarrollo individual, social y económico en el marco de la sostenibilidad, como lo son las actividades socioeconómicas asociadas con su aprovechamiento en los diferentes usos (consumo humano, producción de alimentos, industrial, recreacional y demás).

El Río Algodonal es considerada como la principal fuente abastecedora de agua para la Población de los municipios de Abrego y Ocaña del Norte de Santander, fuente hídrica susceptible a procesos de contaminación hídrica, sobre el cual se viene ejerciendo una fuerte presión sobre su calidad, ya que es el cuerpo receptor de todo tipo de vertimiento sin ningún tipo de tratamiento previo, es decir, una cloaca, donde las aguas residuales o vertimientos generados por las comunidades y por el sector productivo vierten directamente al río, factores causantes de la contaminación del recurso hídrico lo que trae consigo alteración y/o deterioro de la calidad del recurso hídrico con afectación indirecta a la salud pública y al desarrollo y funcionamiento de los ecosistemas.

Por tanto, es necesario el análisis de la calidad físico-químico y microbiológica del Río Algodonal mediante muestreos periódicos cuyos resultados se conviertan en un insumo técnico para la toma decisiones por parte de las autoridades competentes responsables de garantizar condiciones óptimas de calidad al recurso con el fin de responder a las necesidades de acceso al agua potables y de saneamiento.

Capítulo 1. Problemática

1.1 Descripción General Contexto

El Río Algodonal nace en el *Cuenca del Río Algodonal (1605)* al occidente del departamento de Norte de Santander. Al norte limita con las cuencas de los Ríos Catatumbo y Río de Oro (departamento del Cesar), al sur y occidente limita con la cuenca del Río Lebrija Regidor, la cuenca del 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 (CORPONOR, 2007).

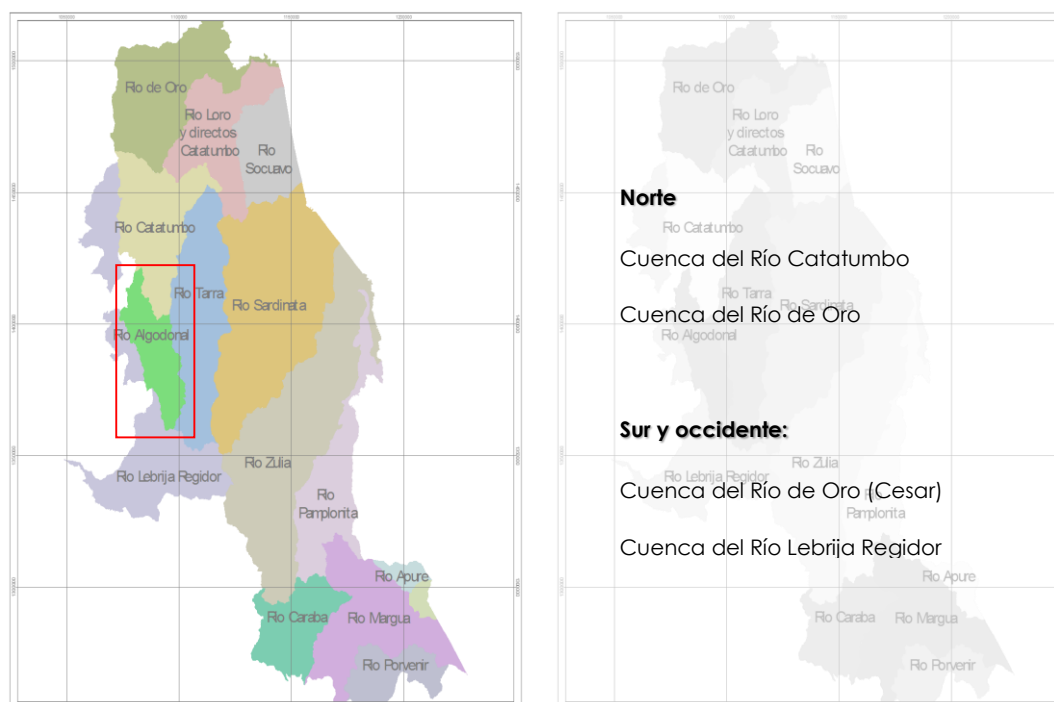


Figura 1. Ubicación Cuenca río Algodonal

Fuente: Grupo Diagnóstico POMCHRA, Río Algodonal. 2006.

Cuenta con un área total de 74.639,8 hectáreas (ha); su longitud es de 62.7 kilómetros con una forma 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 (CORPONOR, 2007).

En la figura 2. Se ilustra el área de la cuenca del Río Algodonal:

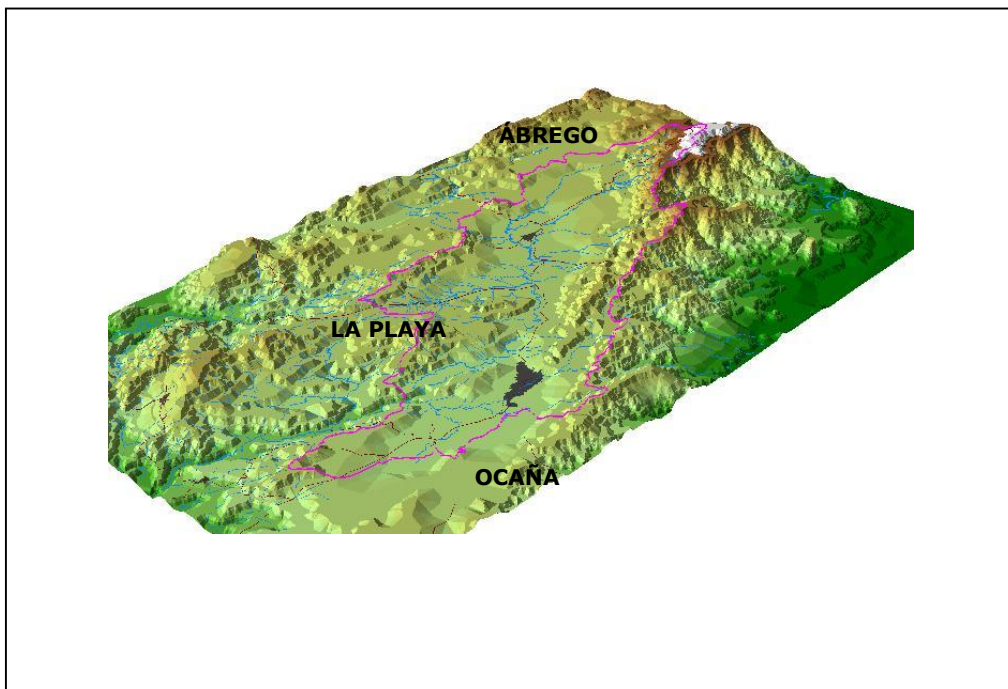


Figura 2. Modelo de elevación de la cuenca del Río Algodonal

Fuente: Grupo Diagnóstico POMCHRA, Río Algodonal. 2.006.

Esta cuenca también es llamada *cuenca alta del Río Catatumbo*, porque tributa sus aguas al Río Catatumbo, la cual es una cuenca transfronteriza “Binacional”; debido a que está última desagua en el Lago de Maracaibo (Venezuela).

De hecho el Río Algodonal cobra una gran importancia ecosistémica gracias a la provisión de los diferentes servicios ambientales que provee bajo la visión de Cuenca “*con enfoque sistémico, como un todo funcionalmente indivisibles e interdependiente, en el que interactúan en el tiempo y en el espacio los subsistemas que la soportan*” (Jimenez, 2005),

de los cuales se aprovecha las comunidades asentadas en este territorio como los demás actores externos.

EL Algodonal nace en el páramo de Jurisdicciones ubicado en el municipio de Abrego, Norte de Santander, específicamente en la laguna de Pan de Azúcar, ubicada a una altura promedio de 3.600 m.s.n.m; allí se da el nacimiento, captación, concentración y regulación hídrica de dos (2) subcuencas: *Río Frio* y *Río Oroque*; características que hace de esta área una de las principales fuentes del recurso hídrico para la cuenca del Río Algodonal (CORPONOR, 2007). Estos afloramientos se dan específicamente entre el Cerro Pelado y el Alto de Las Cruces; que aguas abajo de la Cuenca se da la confluencia de estas dos vertientes en la vereda del Hoyo del municipio de Abrego, que finalmente desaguan en el cauce principal conocido como *Río Algodonal*, el cual es la principal fuente principal abastecedora de agua para consumo humano y demás usos de los pobladores de los municipios de Abrego y Ocaña.

El área del Páramo de Jurisdicciones cuenta con una superficie de 1.301,6 ha, la cual pertenece a la zona hidrográfica del Caribe, a la cuenca del Río Catatumbo y a la Subcuenca del Río Algodonal (IDEAM, 2004). De igual forma las dos sub-cuencas Río Frio y la del Río Oroque, a las que les corresponde el 52% y el 45% del área páramo se codificaron; en la siguiente tabla se muestra la codificación:

Tabla 1.

Codificación Cuenca Río Algodonal.

Orden						
0	1	2	3			
Zona Hidrográfica	Cuenca	Subcuenca	Cuenca	Código	Área (ha)	%Área
Caribe	Catatumbo	Río Algodonal	Río Frio	1605 037	– 694,1	52
			Río Oroque	1605 036	– 607,6	45

Fuente. IDEAM, 2004.

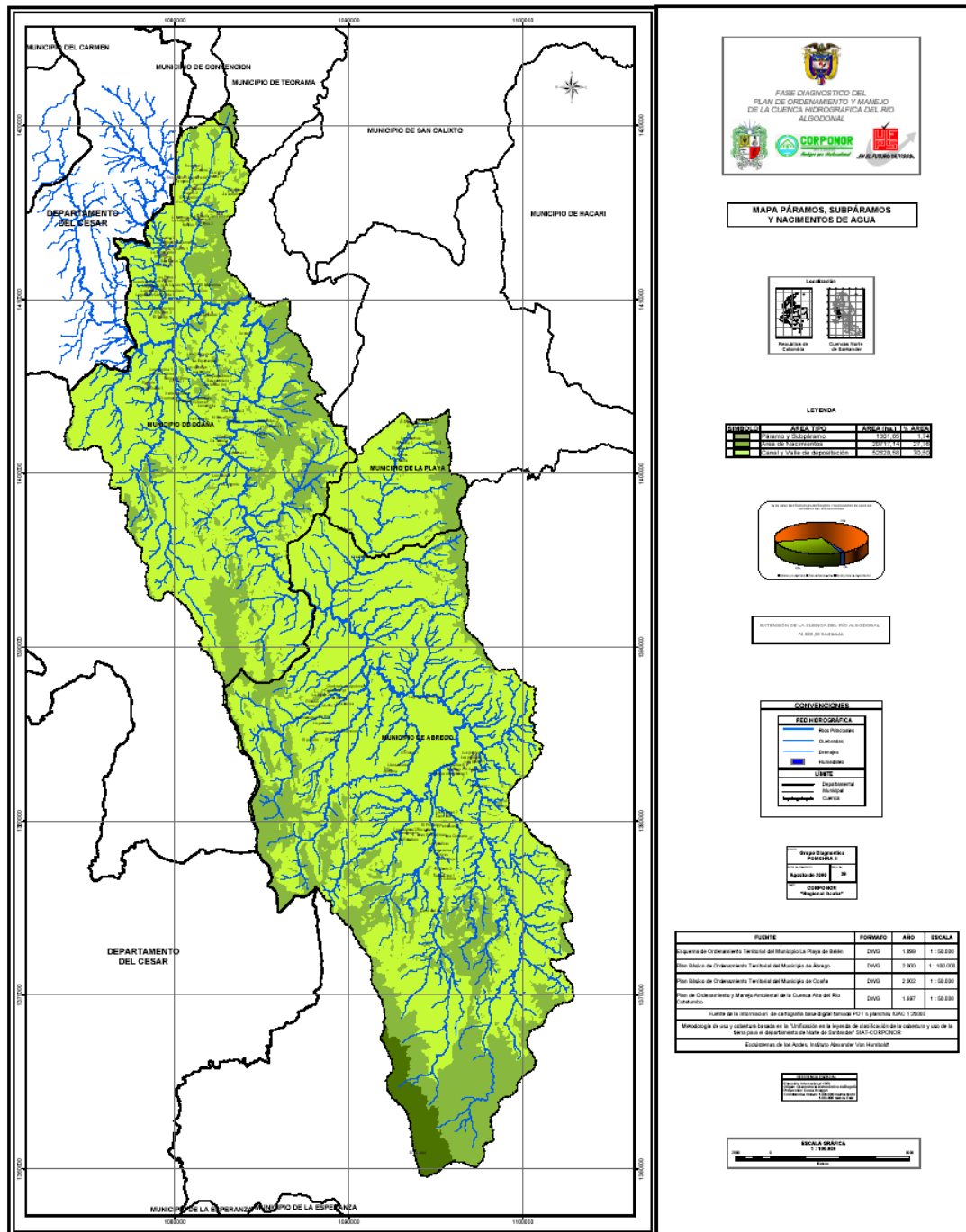


Figura 3. Páramos, subparamos y nacimientos de agua en la cuenca del Río Algodonal
 Fuente: Grupo Diagnóstico POMCHRA, Río Algodonal. 2.007.

A continuación se discrimina el área total de cada Subcuenca que tributan al Río Algodonal (CORPONOR, 2007):

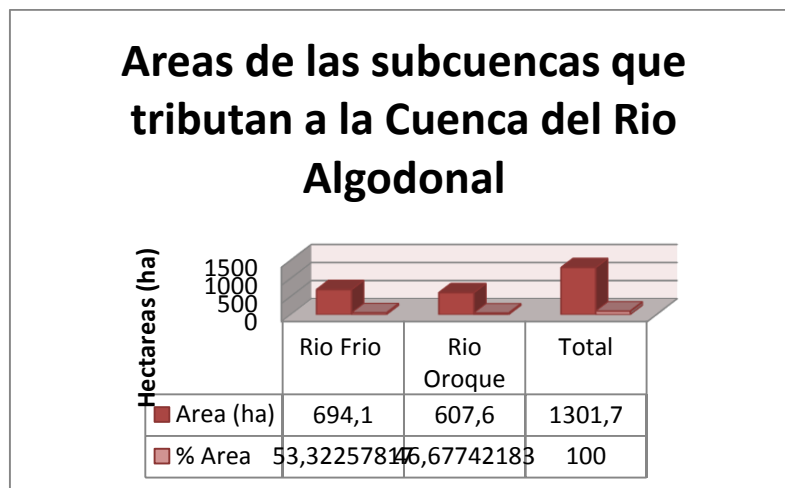


Figura 4. Porcentajes de las Áreas de los tributarios del Río Algodonal

Fuente. Plan de Ordenación y manejo de la Cuenca Río Algodonal POMCHRA, 2006.

Además, la cuenca río Algodonal cuenta con un valor de escorrentía igual a 409.155 mm en un rango medio y mínimo de 55.25 mm con mayor escurrimiento y concentración en el municipio de Abrego, gracias a las características hidrometeorológico de precipitación encontradas allí y unos valores de escorrentía medios para el Municipio de Ocaña.

En la siguiente tabla 2 se relacionan los valores de escorrentía para la cuenca:

Tabla 2.

Valor de Escorrentía (Lamina Modal) para la Cuenca Río Algodonal

CUENCA	Media (mm)	Rango (mm)	Mín (mm)	Máx. (mm)	Desv. Stad. (mm)
RÍO ALGODONAL	409,155	820,00	55,25	875,25	217,459

Fuente: Grupo Diagnostico POMCHRA, Río Algodonal. 2006.

De hecho en la cuenca se presentan valores de escurrimiento máximos de 800 mm encontrándose no muy por debajo de la oferta existente en las partes altas del Magdalena y Cauca donde se tiene un escurrimiento de 1000 mm. Cuya distribución del caudal de aguas

bajas o de estiaje, permite reconocer la reducción homogénea de los caudales, a la mitad de los caudales medios (CORPONOR, 2007), debido a su accidentada topografía, las lluvias son abundantes con mayor intensidad en la segunda temporada de lluvias.

1.1.1 Régimen hídrico. El régimen hídrico de la cuenca del río algodonal presenta una variación de la precipitación entre 1.214 mm a 1.262 mm (CORPONOR, 2007); con un valor medio de precipitación para la cuenca de 1230 mm según método de isohietas, lo cual le otorga una consistencia temporal, factible de ser proyectada a lo menos 10 años (UNESCO-2004).

Tabla 3.

Precipitación media de la Cuenca

Método	P media Cuenca
Media Aritmética	1262 mm
Polígonos de Thiessen	1214 mm
Isohietas	1230 mm

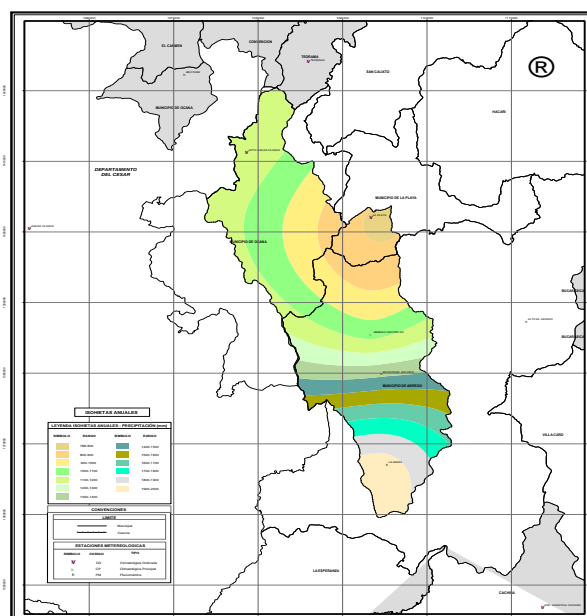


Figura 5. Precipitación promedio anual Cuenca Río Algodonal, por método de Isoyetas

Fuente: Grupo Diagnostico POMCHRA, Río Algodonal. 2.006.

Cuya distribución de lluvias de acuerdo a los datos arrojados de las estaciones del área de influencia de la cuenca es:

- ✓ Se tienen dos periodos lluviosos uno en Abril-Mayo (254 mm) con un 20% de total de las lluvias anuales.
- ✓ Se presenta otro periodo en Septiembre-Octubre con un 30% del total de las lluvias anuales en todas las estaciones y valores mínimos más acentuados en el periodo de menores precipitaciones Diciembre-Febrero.
- ✓ El segundo periodo de bajas precipitaciones se enmarca entre los meses de Julio y Junio pero es atenuado frente al otro periodo con mínimos no tan altos, los demás periodos se pueden considerar de transición.

Tal como se ilustra en la siguiente gráfica:

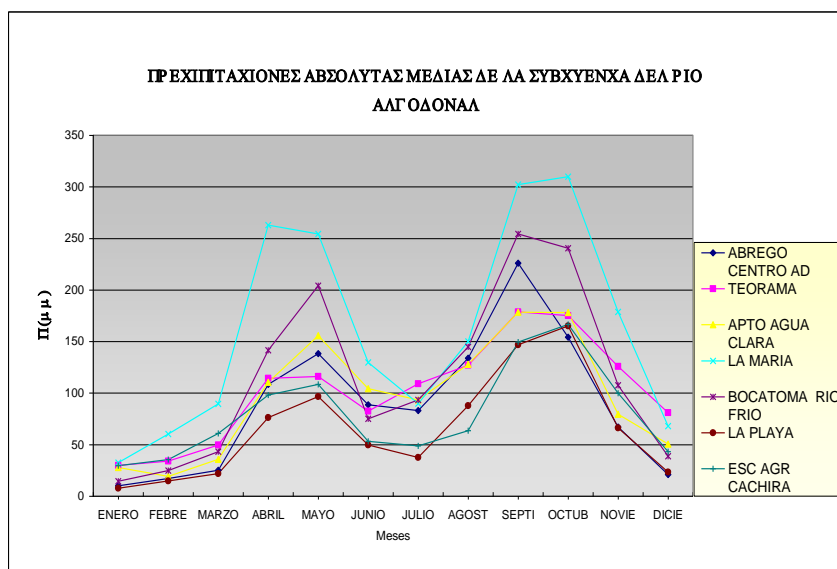


Figura 6. Distribución de precipitaciones en la Cuenca del Río Algodonal

Fuente: Grupo Diagnostico POMCHRA., Río Algodonal. 2.006

1.1.2 Características Generales suelos de la Cuenca del Río Algodonal. La cuenca del río Algodonal cuenta con características generales de los suelos son diversas, presentándose texturas desde arenosa franca hasta arcillosa ocupando un área de 23.130,69 ha, correspondientes al 30.99% del total de la cuenca, con profundidades efectivas desde

muy superficiales hasta profundas, fertilidad natural de baja hasta alta y predominio de drenajes naturales buenos a excesivos. Sin embargo, existen características que sobresalen en la cuenca, debido a su abundancia, este es el caso de la textura franca arenosa a franco arcillosa y franco arcillo gravilosa a arcillo gravilosa, igualmente la fertilidad natural baja y media son las más frecuentes en más del 60% de la cuenca (IGAC, 2004).

En el paisaje de montaña los suelos originados a partir de materiales ígneos –granito-, metamórficos -gneiss- y areniscas, han desarrollado clases texturales predominantemente francas, arenosa franca y/o arenosa, y especialmente los que su composición es de rocas metamórficas -esquistos y gneiss- las clases texturales son franco arcillosas y franco arcillo-arenosas. En el paisaje de valle las texturas de los suelos son muy variables ya que el patrón de sedimentación de los diferentes materiales ha sido en épocas distintas.

Los suelos de las clases texturales francas, franco arenosas, franco arcillo arenosas y arenosas francas, se caracterizan por tener una consistencia friable y muy friable en estado húmedo y los materiales ofrecen poca a nula pegajosidad y plasticidad, esto expresa la consistencia del suelo húmedo. Esto se debe a que tanto la cohesión como la adhesión son bajas, debido al gran tamaño de las partículas y a la poca proporción de agua que pueden almacenar. En estos suelos la susceptibilidad a la remoción del suelo es muy alta, como resultado de la acción del agua. Además la cuenca se caracteriza por ser bueno a excesivo, como consecuencia de su ubicación en el paisaje predominante de montaña y con pendientes fuertemente onduladas a moderadamente quebradas (IGAC, 2004).

En lo que concierne a la pendiente de la cuenca según CORPONOR, 2006: predomina una pendiente fuertemente ondulada a moderadamente quebrada, pues, del 28.30% del área de la cuenca, es decir, 21.119,7 ha corresponden a esta característica, articulado con los procesos geomorfológicos que por lo general se producen y algunas condiciones de los terrenos. Por otro lado, la pendiente plana también representa un área

importante de la cuenca, esto es el 26.62%, es decir, 19.872,2 ha, la cual corresponde a los valles de los ríos Oroque, Frío, Tejo y Algodonal, principalmente. Además, se presentan pendientes escarpada y muy escarpada en menor proporción con 0.88 y 0.01%, respectivamente.

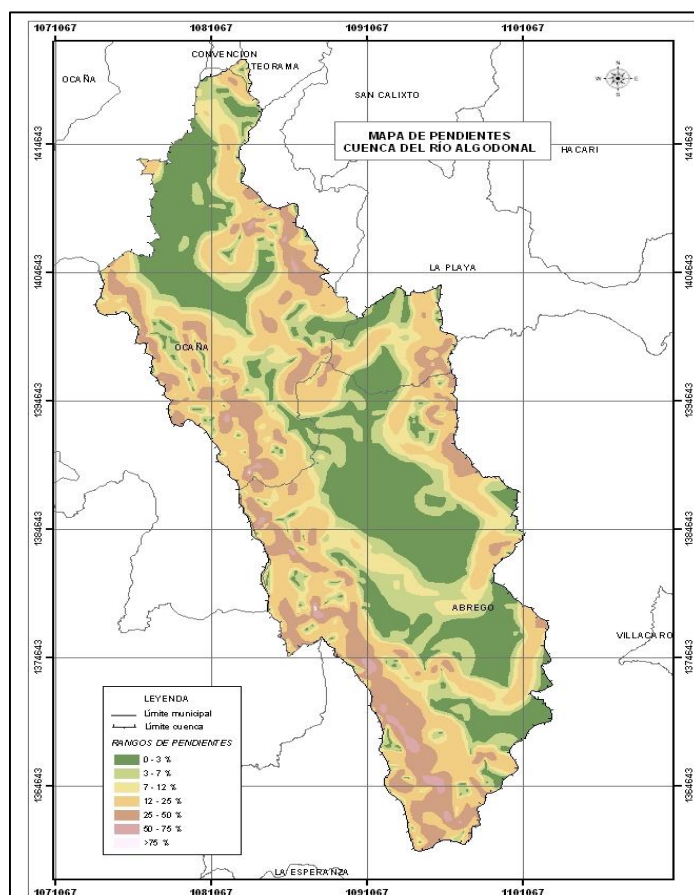


Figura 7. Mapa de Pendientes Cuenca Río Algodonal

Fuente: Grupo Diagnóstico POMCHRA, Río Algodonal. 2.006

1.1.3 Oferta Hídrica. Para la cuenca solamente encontramos tres puntos de medición de caudales gracias a la disponibilidad a tres estaciones del IDEAM; dos, en la parte alta de la cuenca que registran los caudales de los Ríos Frío a la altura de la Vereda Santa Lucía y el Río Oroque en la vereda Oroque parte alta, después de realizarse la captación para el Acueducto de Abrego, los caudales del río Algodonal fueron medidos en la Vereda la Rinconada, municipio de Ocaña, estación La Cabaña que incluye los caudales de los Río Frío

y Oroque después de realizarse las captaciones del distrito de riego que abastece de agua a las actividades productivas realizadas en el Valle de Abrego, sumándose los aportes de las quebradas de la parte media existentes en la cuenca, que si bien es un área mucho más extensa que la registrada en las otras fuentes los aportes en caudales son muy bajos a razón de las bajas precipitaciones en el área.

Se estimó la oferta de agua a partir del análisis de los caudales registrados en la estaciones de medición, utilizando una serie de tiempo comprendida entre 1972 a 2003 que permitió caracterizar el estado del recurso, en cuanto a su cantidad, la cual repercute sobre la cobertura del recurso, abastecimiento y acceso al mismo, efectuada por los procesos productivos y sociales (CORPONOR, 2007).

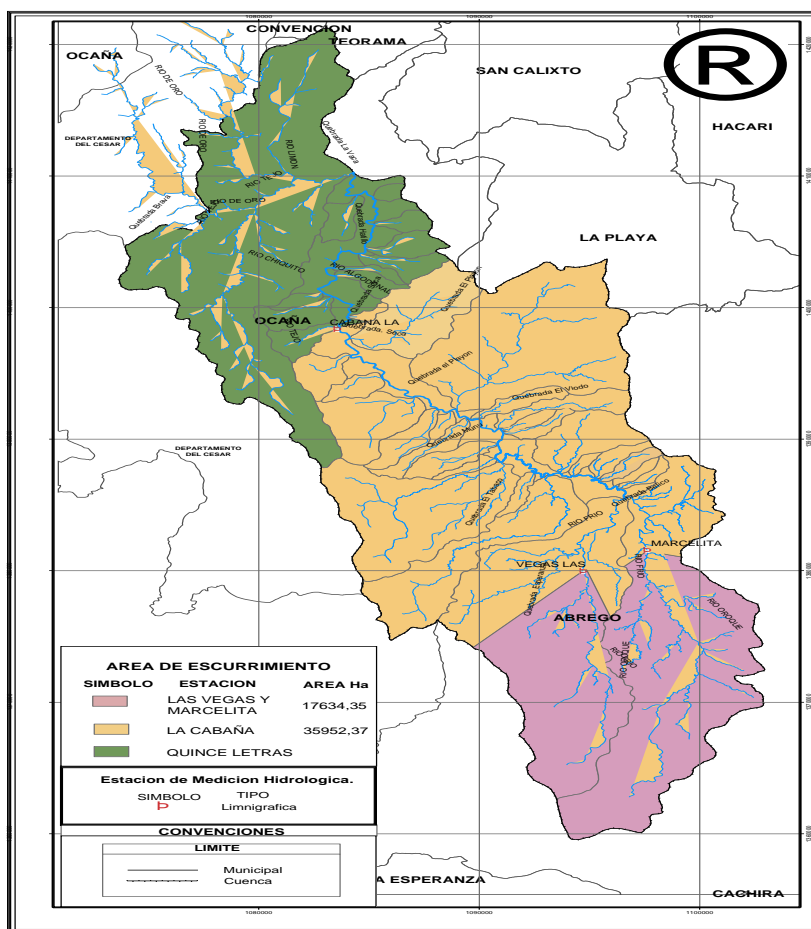


Figura 8. Área de E scorrimento dela Cuenca R. Algodonal
 Fuente: Grupo Diagnostico POMCHRA, Río Algodonal. 2.006.

Según información técnica la cuenca del río Algodonal presentan altos valores que adquieren los coeficientes de variación, que en su mayoría superan un 40%, denotando para los meses de Febrero a Mayo y Octubre variaciones entre 40-50%, definidos como caudales de variabilidad media con valores ni tan alejados o cercanos a la media contrastando con los valores de Agosto – Septiembre y Enero con variaciones entre 60 a 70%, determinando una alta variabilidad y la poca confiabilidad del caudal medio para este periodo, para el mes de Enero se condiciona este comportamiento a la fluctuaciones de valores muy bajos y altos de precipitación (CORPONOR, 2007).

En este sentido se relaciona en la siguiente tabla el caudal que ha ocurrido con una mayor frecuencia (caudal modal) y el caudal de estiaje que ocurre con una probabilidad del 97.5% (normalmente en épocas de baja precipitación), contemplándolos como valores más acertados a la hora de tomar decisiones sobre las posibles intervenciones de aprovechamiento que se le puedan hacer al recurso:

Tabla 4.

Valores de Probabilidad de Caudales Anuales de Estiaje y Modales para la Cuenca del Río Algodonal

Caudal Modal y de Estiaje en la Cuenca del Algodonal						
Estación	Código	Qmed	Cv	Cs	Qa 97,5%	Qa modal
La Marcelita	1605702	2,69	0,33	0,81	1,09	2,32
La Cabaña	1605703	6,94	0,38	0,59	2,68	5,93

Fuente: Grupo Diagnostico POMCHRA, Río Algodonal. 2.006.

1.1.4 Distribución Temporal de los Caudales. El comportamiento de los caudales para la Cuenca es bimodal, se puede observar la correspondencia entre los periodos de máximos caudales y el periodo de lluvias para los meses de Mayo y Octubre, excluyéndose a los meses de Abril y Septiembre, que no obstante de presentar altas precipitaciones iguales

a las de Mayo y Octubre, solamente se ven reflejadas en los caudales del mes siguiente, equiparándose los caudales Septiembre con los de Noviembre debido a los aportes de las lluvias de Octubre y aun así no de forma tan marcada los de Abril con los de Junio con aportes de las lluvias del mes de Mayo; reflejando el retraso del escurrimiento de la precipitación en los caudales y la dinámica de regulación del flujo hídrico. Para los demás meses se expone un decaimiento de los caudales, a razón de la disminución de las precipitaciones.

La época de excesos presenta una gran correspondencia entre las corrientes del Río Oroque y Algodonal, determinado la influencia de los caudales del Río Oroque sobre el Algodonal, el primer periodo de exceso comienza a inicios de Abril para el Río Catatumbo y Frío y en Abril para las corrientes del Río Algodonal y Oroque terminando en Junio para el Río Catatumbo y posteriormente para las demás corrientes, denotándose el pequeño periodo de excesos que sufre esta corriente; el otro periodo de excesos comienza en agosto corriéndose de nuevo para el río Frío y Catatumbo llegando hasta diciembre. Los periodos de sequía son más extensos para las corrientes Catatumbo y Frío y más cortos para el Algodonal y Oroque enmarcadas por sus mayores periodos de excesos.

De tal manera que se tiene una concentración de los caudales anualmente para el mes de Septiembre a Noviembre al reconocer que para los meses posteriores al periodo seco de diciembre a marzo no hay acumulación de agua sino decaimiento de los caudales, esta concentración de los caudales más altos en estos meses se ve incrementada en mayor manera para los Ríos Algodonal y Catatumbo, al tenerse de acuerdo al gráfico 30 caudales relativos mayores diferencias en los valores máximos y los mínimos; observable en los picos sobresalientes máximos y mínimos frente al comportamiento de los río Fríos y Oroque donde estas variaciones de caudal mes por mes son más leves.

En cuanto a los valores esperados de los caudales (caudales medios) como se muestra

en el gráfico 31, se establecen los aportes del río Frío y Oroque son equivalentes al 60% del caudal del río Algodonal evaluado hasta la estación la Cabaña vereda El Rincón, contribuyendo en una mayor proporción el Río Oroque a razón de su mayor área, que permite mayores caudales. De igual manera el caudal del río Algodonal aumenta hasta el doble de su valor medido en la estación de Quince Letras ubicada en el municipio de Teorama.

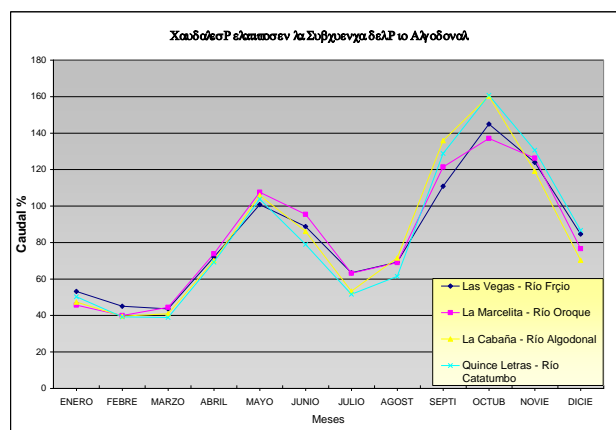


Figura 9. Caudales Relativos en las Estaciones de la Cuenca Río Algodonal
Fuente: Grupo Diagnostico POMCHRA, Río Algodonal. 2.006.

1.2 Descripción de Área Objeto de estudio

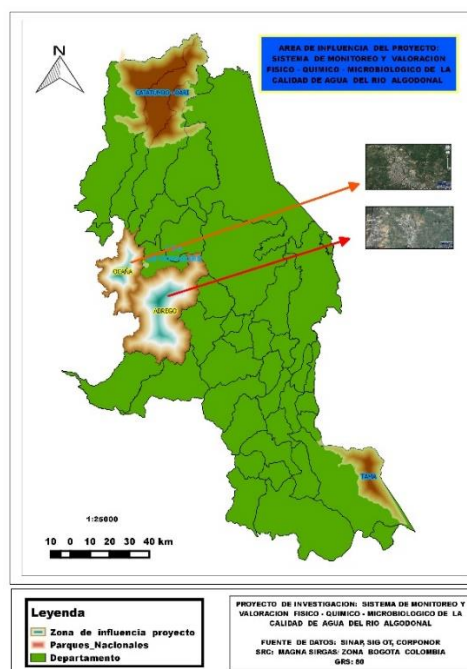


Figura 10. Área objeto de estudio

Fuente. SIGOT, 2016.

De acuerdo al contexto anterior y dimensiones del mismo se delimito estratégicamente (Sierra, 2011); con criterio técnico (IDEAM., 2007) el área objeto de estudio (Río Algodonal) para efectos del alcance de la investigación y optimización de recursos, definiéndose un tramo del río con una longitud objeto de estudio de 30.27 km entre los municipios de Abrego y Ocaña con cinco (5) estaciones de control-aforo.

A continuación, se ilustra las estaciones de control de aforo ubicadas en el área objeto de estudio:

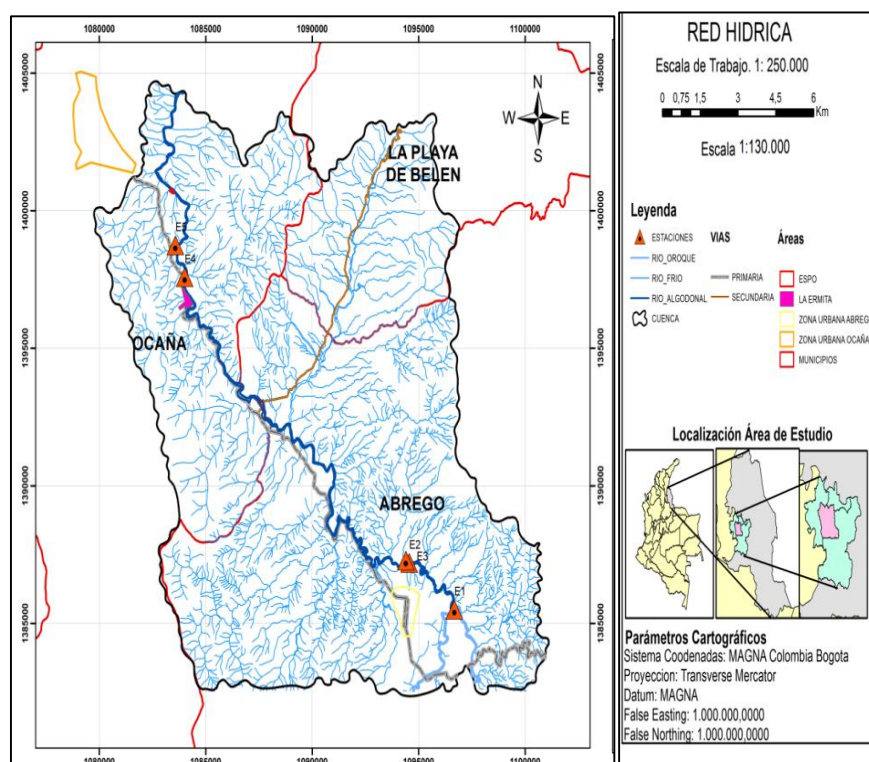


Figura 11. Río algodonal, tramo comprendido entre los municipios de Abrego y Ocaña, Norte de Santander.

Fuente. Grupo de Investigación en Asuntos Ambientales y Desarrollo Sostenible, 2016

1.3 Problemática

La actual problemática socio ambiental en el marco de la gestión del recurso hídrico es la afectación a la calidad físico, química, microbiológica y biológica del agua de las cuencas abastecedoras en Colombia, situación que está asociada a los impactos generados

por los vertimientos de aguas residuales domésticas, vertimientos de las actividades de explotación minero-energética, sistemas de producción agropecuaria insostenible y el manejo inadecuado y transporte de sustancias peligrosas; donde las corrientes hídricas se ha convertido en el cuerpo receptor de efluentes generados por el hombre en el desarrollo de sus actividades; tal como lo afirma el investigador Sierra (2011):” *Problema actual en cuanto a la calidad del agua que se tiene es que surge principalmente por las descargas de residuos provenientes de actividades humanas y naturales que , de alguna manera afectan el uso deseable² del agua*”.



Figura 12. Rio Algodonal, municipio de Abrego, Norte de Santander

Fuente: Imagen tomada por Miranda R., 2016.

El problema principal asociado a la alteración de la calidad fisicoquímico y microbiológica del agua del Rio Algodonal es por la contaminación del cuerpo de agua generada por la permanente descarga de las aguas residuales de tipo doméstico y vertimientos de las actividades agropecuarias de los municipios de Abrego, La Playa de Belén y Ocaña, del Norte de Santander, las cuales son vertidas sin ningún tratamiento previo. Pues el Rio Algodonal es considerado como la principal fuente abastecedora de agua para consumo humano y demás usos para la población de Abrego y Ocaña, pero está a la final se convierte en un sistema de cloaca, ya que es el cuerpo receptor de todas las descargas de

² Ministerio de Agricultura, 1984. Decreto N°1594 de 1984. Reglamentación “Usos del Agua y Residuos Líquidos”, Art 29.

aguas residuales domésticas y vertimientos de los sistemas productivos insostenibles que se dan por esta región.

Un constante vertido de contaminantes de materia orgánica, químicos, sustancias patógena y microbiológicas que generan impacto en la integralidad de su composición e inestabiliza el soporte el recurso hídrico para el mantenimiento de los ecosistemas, tal como lo afirma Lozano G., Pulido M., & Álvarez J. (2010): “ *el continuo e impecable vertido de aguas residuales debido a los usos del agua en las cuencas hidrográficas conlleva a la degradación de los ríos en muchas cuenca en el mundo, a pesar de los esfuerzos por la descontaminación de las aguas residuales en las cuencas, ya que estos no han sido coordinados dentro de una valoración integral de acuerdo a con las condiciones en muchas de estas cuencas*”.

De hecho esta fuente abastecedora de agua está expuesta a ciertos riesgos³ asociados a la oferta, calidad y disponibilidad del agua, como por ejemplo:

- ✓ Contaminación hídrica
- ✓ Desabastecimiento tanto medido en criterio de temporalidad y espacialidad.
- ✓ Desertificación



Figura 13. Vertimiento puntual de un barrio del municipio de Abrego Norte de Santander Fuente. Fotografía de Miranda R, 2016. Rio Algodonal, municipio de Abrego, Norte de Santander

³ Riesgos definidos por la Política de Gestión Integral del recurso hídrico de 2010. Componente III Diagnostico, Pág. 49.

Situación que lleva a afirmar que desencadena además de las alteraciones a la calidad y disponibilidad del agua, afectaciones directas a los ecosistemas acuáticos, por ende, a la estructura ecológica del río e indirecta a la salud pública de los ocañeros y abreguenses. *De hecho el mayor impacto sobre la salud se da a través de los sistemas de abastecimiento de agua; la alteración de las características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas de la fuente de abastecimiento incide directamente sobre el nivel de riesgo sanitario presente en el agua, el cual se define como el riesgo de transportar agentes contaminantes que puedan causar enfermedades de origen hídrico a los seres humanos* (Torres, Hernán, & Patiño, 2009).

A su vez se está vulnerando el Derecho Colectivo contemplado en la Constitución Política de Colombia de 1991, Art. 79; el cual establece que los colombianos tienen derecho a: *“a gozar de un ambiente sano”*, pues, con estas acciones se atenta no solo contra el patrimonio natural y ambiental, sino que incluso se puede generar afectaciones indirectas a la salud pública, ya que estos descargas y vertimientos contienen sustancias contaminantes.

Además cada día se ejerce mayor presión sobre el recurso hídrico debido a los sistemas productivos insostenibles como es el caso de la agricultura tradicional, caracterizada por el uso indiscriminado de agroquímicos, cuyas trazas por lavado del escurrimiento superficial de las aguas lluvias vierten finalmente en el río, alterando la composición físico química y microbiológica del agua con sustancias químicas tóxicas (organofosforados, organoclorados y carbamatos), pues, *se ha demostrado que la presencia de metales pesados y sustancias químicas con niveles altos de toxicidad como sustancias radioactivas, plaguicidas y herbicidas en el agua para consumo humano puede producir cáncer y toxicidad en los usuarios* (Sierra, 2011); pero que debido al modelo de ocupación y aprovechamiento extractivista insostenible que vienen generando procesos de deterioro ecosistémicos y ambientales, donde, el componente socio-humano del sistema ejerce una

gran presión sobre sus elementos naturales en el desarrollo de las diferentes actividades socioeconómicas, las cuales se caracterizan por ser insostenibles.

Pues en este sentido actualmente se tiene una demanda alta, por ejemplo, hídrica en la cuenca está por encima de la oferta hídrica superficial, es decir un se cuenca con un índice de escasez en categoría Alto, ligado a la presencia de bajos caudales. *Realmente lo anterior no significa que la oferta no esté cubriendo la demanda, sino que es necesario tomar medidas preventivas al considerarse una variación en los diferentes consumos de tipo estructural, es decir que requieren un tiempo considerable para su modificación* (CORPONOR, 2007).

En la siguiente tabla se discrimina aspectos de demanda, oferta y % de Índice de escasez por municipio:

Tabla 5.

Índice de Escasez Cuenca del Río Algodonal.

MUNICIPIO	AREA(Km ²)	Y_MO D	AÑO MODAL		DEMANDA TOT(m ³)	INDICE ESCASEZ (%)
			OFERTA MODAL (m ³)	RENDIMIEN TO (l/s/Km ²)		
ABREGO	425,01	268,79	114238485,9	114,2384859	49.940.371,29	43,72
LA PLAYA	45,44	231,99	10540809,81	10,54080981	2.513.541,44	23,85
OCAÑA	275,95	115,68	31922171,44	31,92217144	15.029.717,57	47,08
CUENCA	746,40	215,10	160548931,3	160,5489313	67483630,3	42,03

Fuente: Grupo Diagnóstico POMCHRA, Río Algodonal. 2.006.

Una realidad que ha desencadenado problemáticas como la reducción de caudales aproximadamente del 50% en los últimos 15 años, afectación directa a la calidad físico química y microbiológica del agua del Río Algodonal, entre otras. Razones por las cuales dicha Subzona-hidrográfica (cuenca) fue priorizada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS, codificada con el código 1605 (IDEAM, 2004) para su

correspondiente ordenación, manejo y planificación, ya que amerita de ser sometida a procesos reales de conservación, protección y usos razonables coherentes a la vocación de la cuenca.

Y lo que concierne a *nivel de suelo graves limitaciones para uso agrícola y pecuario debido a las condiciones de pendiente quebrada a escarpada* desprovistos de vegetación que proteja el suelo por consecuencia de la tala con una alta susceptibilidad a procesos de erosión y sedimentación, *limitantes físicas y climáticas* (Cañizares, P., E., 2015).

A continuación se ilustra el riesgo por contaminación hídrica al que está expuesto el Rio Algodonal, entre el tramo Abrego y Ocaña Norte de Santander:



Figura 14. Ilustración Situación de derrame de hidrocarburos, Rio Algodonal en el tramo comprendido entre Abrego y Ocaña Norte de Santander

Fuente. Fotografías Periódico la Opinión de Cúcuta, 2015. Rio Algodonal, Ocaña Norte de Santander.

1.3.1. Pregunta Problema

¿Cuál es el nivel, el estado actual de las fuentes de contaminación y su magnitud, que afectan la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua cruda del río Algodonal en el tramo comprendido entre los municipios de Abrego y Ocaña, Norte de Santander?

1.4 Hipótesis

El agua del Río Algodonal, principal fuente abastecedora de los municipios de Abrego y Ocaña, Norte de Santander, además de ser el cuerpo receptor de las aguas residuales domésticas y demás vertimientos del sector productivo; actualmente su estado natural de la composición fisicoquímica y microbiológica de la calidad del agua se caracteriza por tener un nivel de contaminación por materia orgánica y sustancias de trazas de agroquímicos; contaminación que representa riesgo directo a la salud pública y a los ecosistemas acuáticos por contaminación hídrica, desabastecimiento agua para consumo humano y procesos de eutrofización. A partir de este planteamiento de investigación se pretende dar a conocer la relación directa que tienen los parámetros fisicoquímicos, y microbiológicos en la dinámica natural del recurso hídrico evaluados con la determinación del índice de calidad y de contaminación; tal como lo confirman los estudios de Kolkwitz & 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* (Citado en Jalón, 1984 P.1). Como sus impactos de alcance y permanencia variable sobre las actividades económicas de las comunidades.

1.5 Justificación

“*El agua se concibe como un derecho progresivo de la población soportado en su uso racional en el desarrollo de las actividades socioeconómicas, a fin de garantizar su protección y acceso al agua, bajo una concepción ordenada del territorio y de Desarrollo sostenible*” (Gobierno & FARC, 2016), en este sentido y en atención a la importancia ecosistémica y ambiental que cobra la fuente abastecedora, *Rio Algodonal (objeto de estudio)* para la población de los municipios de Abrego y Ocaña, Norte de Santander; que es el de abastecimiento tanto para consumo humano en primer orden de prioridad, producción de alimentos en segundo lugar y demás usos que se le dan al interior de la Cuenca; además del de aprovisionamiento de servicios ecosistémicos.

Pues en cuanto a abastecimiento de agua para consumo humano específicamente la población beneficiada de este cuerpo de agua superficial es de setenta y nueve mil doscientos cuarenta y cuatro (79.244)⁴ habitantes representados en diecinueve mil ochocientos once (19.811) usuarios; de los cuales sesenta y dos mil doscientos treinta y cinco (62.235) habitantes son de la población de Ocaña, es decir el 70 % de la población del casco urbano se abastece de esta fuente y diecisiete mil nueve (17.009)⁵ habitantes pertenecen a la población de Abrego (la totalidad de la población del casco urbano de Abrego además de la población rural), pues esto significa que es un gran número de habitantes que dependen del preciado líquido, y esto es solo consumo humano.

Por tanto se considera de gran importancia asumir la realidad del estado actual de la calidad del agua del Rio Algodonal y la complejidad de los factores externos que de algún u otro modo representan riesgo asociados a la afectación a las propiedades físico químicas y

⁴ Plan de Desarrollo municipal de Ocaña 2016-2019. A Ocaña le llegó la hora. Alcaldía municipal de Ocaña, Norte de Santander.

⁵ Plan de Desarrollo municipal de Abrego 2016-2019. Conmigo la gente gobierna. Alcaldía municipal de Abrego, Norte de Santander.

microbiológicas de calidad del agua y a la reducción de la oferta; tanto en temporalidad como espacial al interior de la Cuenca, a partir de un estudio serio en cuanto a calidad del recurso (generación de conocimiento y apropiación del mismo), a fin de realizar posteriormente con elementos sólidos propuestas, estrategias y/o mecanismos para una gestión oportuna según contexto (estado de calidad y oferta del recurso hídrico) desde lo local bajo sustentos técnicos en el marco de la Política de Gestión Integral del agua en Colombia, 2010 la cual plantea: *“el reto de garantizar la sostenibilidad del recurso, entendiendo que su gestión se deriva del ciclo hidrológico que vincula una cadena de interrelaciones entre diferentes componentes naturales y antrópicos”*. De hecho, el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 establece: *“además que se requiere abordar el manejo del agua como una estrategia de carácter nacional desde una perspectiva ambiental e integral que recoja las particularidades de la diversidad regional y las potencialidades de la participación de actores sociales e institucionales”*.

Con esta investigación se busca realizar un monitoreo, evaluación diagnóstica y seguimiento de una serie de variables de tipo independiente y dependiente de carácter físico química y microbiológica permite determinar la composición de la calidad del agua cruda en términos cuantitativos y cualitativos para determinar calidad bajo criterios técnicos de evaluación, tal como lo reitera Sierra C, 2011: *“En vista de la complejidad de los factores que determinan la calidad del agua y la gran cantidad de variables utilizadas para describir el estado de los cuerpos de agua en términos cuantitativos; donde la descripción de la calidad del agua puede realizarse básicamente de dos formas:*

- ✓ *Midiendo variables físicas (turbiedad, sólidos totales, etc.), químicas (pH, acidez, etc.) o biológicas (bioensayos)*
- ✓ *Utilizando un índice de calidad del agua.*

Estos estudios deben realizarse periódicamente por parte de las autoridades competentes de acuerdo a los lineamientos definidos del orden nacional con correspondencia a lo establecido internacionalmente con el fin de contar con información veraz, confiable y oportuna que permita la toma de decisiones para garantizar la calidad y gestión del recurso hídrico, soportada en lo posible con una gestión desde la base comunitaria para garantizar acceso a calidad de agua, oferta hídrica, gestión de riesgos asociados al agua y gobernanza. *Pues el manejo efectivo y justo del agua requiere una estrategia multinivel: desde el individuo hasta la comunidad, pasando por los actores privados y las empresas de servicios públicos, permeando las instituciones y los países, y por ultimo llegando a las regiones* (Diaz, Marin, & G., 2014).

Capítulo 2. Referente Teórico

El agua es el preciado líquido (un tipo de oro traslucido) que se encuentra en el ambiente en diferentes estados y formas integrada por un conjunto de características o propiedades fisicoquímicas y biológicas de manera natural que determinan la calidad del recurso, claro está que depende de la posición geográfica, origen y hábitos de las comunidades, pues estas condiciones varían de una cuenca a otra. El agua se percibe como un bien natural de carácter público del cual permanentemente se obtienen beneficios para el soporte de vida, ya que se convierte en un eje estructurante para el desarrollo de las diferentes expresiones de vida y de los territorios, permitiendo interacciones, relacionamientos y equilibrio de la estructura ecológica-ecosistémica en el marco del Ambiente, como un todo, como un Suprasistema, es decir el agua genera dependencia.

En el momento cuando el agua entra al sistema en su ciclo natural, entra en contacto con el suelo, la atmósfera y demás elementos naturales adquiere sustancias que alteran su composición, pues, *posiblemente fenómenos naturales como la erosión arrastran sedimentos que hacen variar la calidad del agua de los ríos, quebradas, etc. Tal vez la causa más importante en la variación de la calidad del agua original de una fuente superficial es la actividad humana. Actividades como la industria, el uso extensivo de pesticidas y abonos en la agricultura, la explotación minera, la descarga de basuras y el vertimiento de los desechos domésticos son los causantes del deterioro en que se encuentran actualmente nuestros ríos, lagos y quebradas* (Sierra, 2011).

Situación que genera directamente impactos en la salud pública y demás ecosistemas debido a la ingesta del agua, que posiblemente cuenta con presencia de sustancias químicas en ciertas concentraciones que pueden estar por encima de los parámetros permisibles establecidos en la normatividad legal vigente, y más si son sustancias tóxicas como las trazas

de agroquímicos en consideradas concentraciones que alteran la calidad del agua, a partir de estas condiciones dadas en cuanto a la composición del agua esto influye en los diferentes usos del agua.

Se ha demostrado que cierto número de contaminantes químicos causan efectos adversos para la salud de las personas como consecuencia de una exposición prolongada por el agua de consumo. No obstante, se trata sólo de una proporción muy pequeña de las sustancias químicas que pueden estar presentes en el agua de consumo procedentes de diversas fuentes. *Se han evaluado los posibles efectos sobre la salud de las sustancias contempladas en el presente documento, y sólo se han propuesto valores de referencia para aquellas sustancias consideradas peligrosas para la salud* (OMS, 2008). En general, hay dos tipos de métodos de gestión de los peligros de tipo químico en el agua de consumo: los peligros derivados fundamentalmente del agua de origen se controlan, por ejemplo, mediante la selección del agua de origen, el control de su contaminación, su tratamiento o su mezcla con otras aguas, mientras que los procedentes de materiales y sustancias químicas utilizados en la producción y distribución de agua de consumo se controlan optimizando los procesos o especificando las características de los productos utilizados.

El grupo de contaminantes de origen natural, por ejemplo, comprende muchas sustancias químicas inorgánicas presentes en el agua de consumo como consecuencia de su liberación, por la acción de la lluvia, de rocas y suelos, algunas de las cuales pueden convertirse en un problema cuando existe perturbación medioambiental, como en las zonas mineras.

Las sustancias químicas se dividen en seis grupos principales en función de su origen, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6.

Clasificación de sustancias químicas en función de su origen.

Origen de componentes químicos	Ejemplos
Origen natural	Rocas, suelos, geología y el clima
Industrias y núcleos habitados	Minería, industrias, agua residuales, residuos sólidos, escorrentía urbana, fugas de combustible
Actividades agropecuarias	Materia fecal de los animales, fertilizantes, ganadería extensiva y uso indiscriminado de agroquímicos
Tratamiento del agua o materiales en contacto con el agua de consumo	Coagulantes, SPD, materiales de tubería
Plaguicidas añadidos al agua por motivos de salud pública	Larvicidas utilizados en el control de insectos vectores de enfermedades
Cianobacterias	Lagos eutróficos

Fuente. OMS, 2008.

En lo que concierne a la contaminación de la calidad del agua por fuentes de tipo microbiano también representa un alto riesgos a la salud pública por la ingesta de esta; ya que puede desencadenar enfermedades infecciosas causadas por agentes patógenos como bacterias, virus y parásitos (por ejemplo, protozoos y helmintos). *Pues la gama de agentes patógenos cambia en función de factores variables como el aumento de las poblaciones de personas y animales, el incremento del uso de aguas residuales, los cambios de los hábitos de la población o de las intervenciones médicas, las migraciones y viajes de la población, y presiones selectivas que favorecen la aparición de agentes patógenos nuevos o mutantes, o de recombinaciones de los agentes patógenos existentes* (OMS, 2008).

A continuación, se relaciona los patógenos que pueden ser transmitidos al ser humano por la ingesta de agua contaminada Con agentes patógenos de tipo microbiano:

Tabla 7.

Agentes patógenos transmitidos por el agua y su importancia en los sistemas de abastecimiento de agua

Agente patógeno	Importancia para la salud	Persistencia en los sistemas de abastecimiento de agua ^a	Resistencia al cloro ^b	Infectividad relativa ^c	Fuente animal importante
Bacterias					
<i>Burkholderia pseudomallei</i>	Baja	Puede proliferar	Baja	Baja	No
<i>Campylobacter jejuni</i> , <i>C. coli</i>	Alta	Moderada	Baja	Moderada	Sí
<i>Escherichia coli</i> patógena ^d	Alta	Moderada	Baja	Baja	Sí
<i>E. coli</i> enterohemorrágica	Alta	Moderada	Baja	Alta	Sí
<i>Legionella</i> spp.	Alta	Moderada	Baja	Moderada	No
Micobacterias no tuberculosas	Baja	Prolifera	Alta	Baja	No
<i>Pseudomonas aeruginosae</i>	Moderada	Prolifera	Moderada	Baja	No
<i>Salmonella typhi</i>	Alta	Puede proliferar	Baja	Baja	No
Otras salmonelas	Alta	Moderada	Baja	Baja	Sí
<i>Shigella</i> spp.	Alta	Moderada	Baja	Moderada	No
<i>Vibrio cholerae</i>	Alta	Puede proliferar	Baja	Baja	No
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Alta	proliferar	Baja	Baja	Sí
		Corta			
		Corta			
		Larga			
Virus					
Adenovirus	Alta	Larga	Moderada	Alta	No
Enterovirus	Alta	Larga	Moderada	Alta	No
Virus de la hepatitis A	Alta	Larga	Moderada	Alta	No
Virus de la hepatitis E	Alta	Larga	Moderada	Alta	Potencialmente
Norovirus y sapovirus	Alta	Larga	Moderada	Alta	Potencialmente
Rotavirus	Alta	Larga	Moderada	Alta	No
Protozoos					
<i>Acanthamoeba</i> spp.	Alta	Larga	Alta	Alta	No
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Alta	Larga	Alta	Alta	Sí
<i>Cyclospora cayetanensis</i>	Alta	Larga	Alta	Alta	No
<i>Entamoeba histolytica</i>	Alta	Moderada	Alta	Alta	No
<i>Giardia intestinalis</i>	Alta	Moderada	Alta	Alta	Sí
<i>Naegleria fowleri</i>	Alta	Puede proliferar ^f	Alta	Alta	No
<i>Toxoplasma gondii</i>	Alta	proliferar ^f	Alta	Alta	Sí
		Larga			
Helmintos					
<i>Dracunculus medinensis</i>	Alta	Moderada	Moderada	Alta	No
<i>Schistosoma</i> spp.	Alta	Corta	Moderada	Alta	Sí

Fuente. OMS, 2008.

De hecho, la afectación a la salud humana para que haya transmisión de agentes patógenos por el agua se puede presentar vía oral, fecal, respiratoria y por contacto directo (dermis) a través del contacto directo con el agua por ejemplo baño; en la siguiente imagen

se ilustra las vías por donde se puede presentar la transmisión de agentes patógenos microbianos:

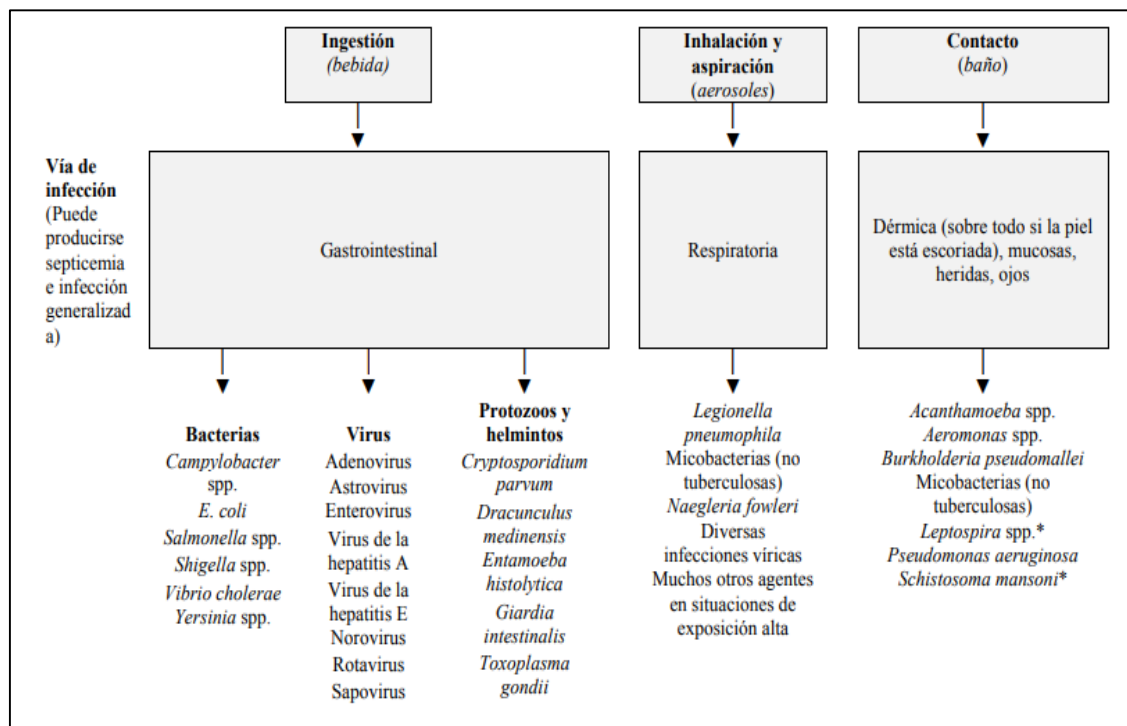


Figura 15. Vías de infección principalmente por contacto con aguas superficiales muy contaminadas

Fuente. OMS, 2008.

Por tanto para determinar la calidad del agua es necesario realizar estudios que permitan la valoración de las propiedades del agua, lo que significa que es necesario estimar una serie de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos bajo criterios estandarizados de calidad y métodos del orden internacional como es el caso del Método Estándar (Rice, Baird, Eaton, & Clesceri, 2012).

Calidad del agua es un concepto relativo que depende del uso que va a tener el agua o el sistema hídrico que se quiere evaluar (Sierra, 2011), pero para hablar de Calidad de Agua en términos cuantitativos y cualitativos es necesario determinar calidad de acuerdo a al uso y a su estado por medio de dos caminos:

- ✓ En primer lugar, es determinar calidad del agua según el uso mediante el análisis de un conjunto de variables de parámetros físico químicos y microbiológicos para la correspondiente evaluación bajo criterios de calidad conforme a los parámetros permisibles establecidos por los lineamientos normativos y estándares internacionales

- ✓ En segundo lugar, medir calidad del agua mediante la determinación de Índices de calidad del agua e índices de contaminación, con base a aspectos físico químico y microbiológico, aspectos biológicos y aspectos no acuáticos. Pero para esta investigación se determinarán índices de calidad de contaminación a través de aspectos físico químico y microbiológico. *Por lo tanto, en la selección o elaboración de los índices de calidad se requiere la integración de todos los parámetros o variables que puedan definir el recurso hídrico como ecosistema. Esta integración no es fácil y en los manuales más modernos sobre calidad de las aguas no se encuentra todavía una solución definitiva (CHAPRA, 2008) citado por (Sierra, 2011).*

El componente de calidad de agua en este ENA (2014), se concentra en evaluar el estado y tendencias de las condiciones de calidad de agua superficial y las presiones por contaminación que potencialmente se están ejerciendo sobre los sistemas hídricos y cuerpos d agua del país. Teniendo como referente conceptual los procesos fundamentales del ciclo del agua, su interacción con procesos del medio natural y de actividades antrópicas, se evalúan las condiciones de calidad y de cargas contaminantes generadas por vertimientos puntuales o difusos provenientes de sectores usuarios del agua (actividades productivas), que no están siendo tratados, y que potencialmente alcanzan los cuerpos de agua lenticos y lóticos.

Esta evaluación se desarrolla a partir de las características físicas, químicas, y biológicas, teniendo como base el monitoreo sistemático de variables medidas en la red de

referencia nacional del IDEAM que incluye el análisis de concentraciones y cargas de metales pesados en sedimentos, y el índice de calidad del agua. (IDEAM, Estudio Nacional del Agua ENA, 2015)

2.1 Parámetros estandarizados para determinación de calidad de agua

Los parámetros de calidad del agua se dividen en: Físico, químico y Microbiológicos, a continuación se detallan conceptualmente según su propiedad (Sierra, 2011):

2.1.1 Parámetros físicos. Son aquellas sustancias que tienen incidencia en la estética del agua:

Turbiedad. Es la capacidad que tiene el material suspendido en el agua para obstaculizar el paso de la luz, debido a ciertas causas como, por ejemplo: la erosión natural de las cuencas la cual aporta sedimentos a los cauces de los ríos y la contaminación causada por las aguas residuales y vertimientos. La turbiedad se expresa en unidades de turbiedad UNT.

Color. Es un parámetro físico que está íntimamente ligado a la turbiedad, el color en el agua puede considerarse como una característica independiente, pues el color se considera que es generado por sustancias disueltas y por los coloides. El color está clasificado como color aparente (se considera al producido por el material suspendido) y el color verdadero (es el que permanece en el agua después de remover la turbiedad). El color se expresa en unidades de color (UC).

Olores y sabores. En el agua están asociados con la presencia de sustancias indeseables causando el rechazo del consumidor. Los olores y sabores objetables se pueden deber a la presencia del plancton, compuestos orgánicos generados por la actividad de las bacterias y algas, a los desechos industriales o a la descomposición de la materia orgánica. Específicamente la sustancia que produce olores en la descomposición de la materia orgánica es el H₂S. No existen instrumentos para determinar los olores y sabores en el agua; generalmente estos se reportan en los análisis de aguas como presentes o no presentes

Temperatura. Se considera el parámetro físico más importante del agua; el cual afecta la viscosidad y la velocidad de las reacciones químicas, interviene en el diseño de la mayoría de los procesos de tratamiento del agua (coagulación, sedimentación, etc.).

Sólidos. Se debe determinar la cantidad de material sólido que está presente en el agua, los cuales se dividen en:

- ✓ **Sólidos totales (ST)**, se definen como todo el material que queda después de evaporar el agua a 105 °C, es decir, ST es todo aquello presente en la muestra, excepto agua. Los sólidos totales se dividen en sólidos suspendidos y sólidos disueltos. La cantidad y naturaleza de los sólidos presentes en el agua varía ampliamente. En el agua la mayoría de los sólidos se hayan disueltos (SD) y consisten principalmente en sales y gases.
- ✓ **Sólidos disueltos** se calculan pasando la muestra por un papel de filtro y luego determinando los sólidos totales del filtrado. Si se somete la muestra filtrada a evaporación en una mufla a aproximadamente 600 °C y se pesa el residuo se obtienen los sólidos disueltos fijos (SDF). Por diferencia se determinan los sólidos disueltos volátiles (SDV).

- ✓ **Los sólidos suspendidos (SS)** se determinan restando los sólidos disueltos de los sólidos totales. Los SS son, tal vez, el tipo de sólidos más importantes de determinar en los estudios de calidad del agua en nuestro medio, principalmente porque se utilizan para el cobro de las tasas retributivas y el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales.
- ✓ **Sólidos Sedimentables**, se definen como el material que se sedimenta en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono de Imhoff) en el transcurso de un período de 60 minutos. Los sólidos sedimentables se expresan en ml/L.
- ✓ **Sólidos suspendidos fijos (SSF) y los sólidos suspendidos volátiles (SSV)**
Se determinan de forma análoga a los SDF y SDV.

2.2 Parámetros microbiológicos

Se tienen definido tres grupos microbiológicos para determinar calidad microbiológica del agua, los cuales son:

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 animales. *Los Coliformes totales son un grupo de bacterias relacionadas que (con algunas excepciones) no son dañinas para los humanos. Una variedad de bacterias, parásitos y virus, conocidos como patógenos, pueden causar problemas de salud si los humanos los ingieren, considera que los Coliformes totales son un indicador útil de otros patógenos para el agua potable. Los Coliformes totales se utilizan para determinar la adecuación del tratamiento del agua y la integridad del sistema de distribución (EPA, 2013) .*

Coliformes Fecales. Es un indicador indirecto del riesgo potencial de contaminación con bacterias o virus de carácter patógeno, ya que las Coliformes fecales siempre están

presentes en las heces humanas y de los animales. Indicación de la contaminación fecal del agua.

Estreptococos totales. Es un indicador de la contaminación fecal de origen humano o animal, usado porque presenta una alta resistencia al cloro. Se usa ampliamente en otros países como indicador bacteriológico en balnearios y playas, es decir, en sitios para la recreación en general.

2.3 Parámetros químicos

Se dividen en dos clases: Indicadores (pH, acidez, alcalinidad) y sustancias químicas.

Indicadores. Los parámetros cuyas concentraciones en el agua se deben a la presencia e interacción de varias sustancias, los cuales son:

pH. Es el término utilizado para expresar la intensidad de las condiciones Ácidas o Básicas del agua; está definido como: $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$. Por análisis químicos se sabe que el pH siempre se encuentra en una escala de 0 a 14.

Conductividad. Es un indicador de las sales disueltas en el agua y mide la cantidad de iones especialmente de Ca, Mg, Na, P, bicarbonatos, cloruros y sulfatos; se mide en micromhos/cm o Siemens/cm; es una medida indirecta de los sólidos disueltos. De acuerdo con la experiencia se pueden correlacionar con la siguiente expresión: Sólidos totales disueltos (mg/L) = 0,55 a 0,7 * conductividad ($\mu\text{mhos/cm}$). Las aguas que contienen altas concentraciones de conductividad son corrosivas.

Acidez. Se considera que todas las aguas que tienen un pH inferior a 8,5 unidades tienen acidez. La acidez en las aguas naturales es ocasionada por la presencia de CO₂ o la presencia de un ácido fuerte (H₂SO₄, HNO₃, HCl). El CO₂ es un componente normal de las aguas naturales. Entra al agua por absorción de la atmósfera. También, puede presentarse debido a que el CO₂ se produce en la descomposición biológica de la materia orgánica. Los resultados se expresan en mg/L como CaCO₃.

Alcalinidad. Es la capacidad que tiene para neutralizar los ácidos. La alcalinidad puede considerarse como la presencia de sustancias básicas en el agua, principalmente, sales de ácidos débiles o bases fuertes (sustancias caracterizadas por el radical OH⁻, por ejemplo, la soda cáustica NaOH). La alcalinidad se reconoce por la presencia de los iones, [OH⁻], [CO₃²⁻] y [HCO₃⁻]. La alcalinidad es importante en la calidad del agua por diferentes razones:

- ✓ En altas concentraciones le comunica un sabor desagradable al agua.
- ✓ En presencia de iones de Ca o Mg (dureza) forma precipitados que ocasionan problemas de taponamiento y obstaculizan el flujo en las tuberías.
- ✓ Controla el proceso de coagulación en el tratamiento del agua potable, y la digestión anaeróbica en el caso del tratamiento del agua residual.
- ✓ Al igual que la acidez, la alcalinidad se mide en el laboratorio por titulación y los resultados se expresan en mg/L de CaCO₃.

Dureza. Se denomina dureza a la propiedad que tienen ciertas aguas de cortar el jabón, es decir, requieren grandes cantidades de jabón para producir espuma. Las aguas duras también tienen la particularidad de que a elevadas temperaturas forman incrustaciones en los

equipos mecánicos y las tuberías; la dureza la ocasiona la presencia de cualquier catión bivalente en el agua, principalmente Ca^{2+} y Mg^{2+} . La dureza ingresa al agua en el proceso natural de disolución de las formaciones rocosas presentes en el suelo. La dureza se mide en el laboratorio por titulación (método del EDTA) y los resultados se reportan en mg/L de CaCO_3 .

Conductividad. Se mide en $\mu\text{mhos/cm}$ o $\mu\text{S/cm}$. Indica la presencia de sales en forma ionizada, como los cloruros o iones de sodio, carbonatos, entre otros. Permite establecer relaciones e interpretación de resultados con los sólidos disueltos en las descargas o cuerpos de agua. Es la mejor medida indirecta de la salinidad, ya que por otros métodos se torna engorroso e impreciso. Mediante el establecimiento de relaciones empíricas de la conductividad en soluciones estándar, posibilita resultados más rápidos y funcionales.

2.4 Sustancias químicas

Materia Orgánica.

✓ **Demanda bioquímica de oxígeno en cinco días DBO5** Se considera como un bioindicador bioquímico. Parámetro de mayor significación cuando se trata de determinar la carga polución que pueden generar los desechos domésticos e industriales de carácter orgánico al ser descargados en corrientes de agua en las que persistan condiciones aeróbicas. Normalmente se determina la demanda a los 5 días y mediante ecuaciones de cinética bacteriana se extrapolan los resultados a los 20 días, para obtenerlos más rápidamente. *La DBO5 se usa como medida del contenido de la materia orgánica biodegradable y se mide por la cantidad de oxígeno requerida para su*

oxidación en la muestra de agua y como resultado de la acción de oxidación bioquímica aerobia. La demanda de oxígeno de las aguas residuales es resultado de tres tipos de materiales: Materiales orgánicos carbónicos, utilizables como fuente de alimentación por organismos aeróbicos, Nitrógeno oxidable, derivado de la presencia de nitritos, amoniacos, y en general compuestos orgánicos nitrogenados que sirven como alimentación para bacterias específicas y Compuestos químicos reductores (Iones ferrosos, sulfitos, sulfuras) que se oxidan por oxígeno disuelto (Londoño, Giraldo, & Gutierrez, 2010).

✓ **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**, es una medida del oxígeno equivalente al contenido de materia orgánica de una muestra que es susceptible a oxidación por un oxidante químico fuerte. La oxidación bajo ciertas condiciones de acidez, temperatura y tiempo, transforma la materia orgánica en bióxido de carbono y agua. La prueba de demanda química de oxígeno es muy usada para medir la carga polución de los desechos domésticos e industriales.

Oxígeno Disuelto (OD). Indicador de la presencia de vida acuática. Gobierna la capacidad de autodepuración en el agua. Es una de las pruebas más simples e importantes, para determinar por su concentración la contaminación de corrientes o los cuerpos de agua. Es una de las condiciones más importantes para que exista crecimiento y reproducción de una población normal de peces y otros organismos acuáticos.

Grasas. Se aplica a una amplia variedad de sustancias orgánicas que se extraen de soluciones acuosas o en suspensión, generalmente, se pueden considerar grasas compuestos

como los hidrocarburos, esteroides, aceites, ceras y ácidos grasos de alto peso molecular, dado que todos estos compuestos son solubles en hexano.

Detergentes. Aplica a toda la variedad de materiales utilizados para remover la “mugre” de la ropa, los platos, etc., es decir, todas las sustancias que producen espuma cuando el agua es agitada. Los detergentes son sustancias orgánicas que tienen la propiedad de reducir la tensión superficial del agua. A los detergentes, también, se les conoce como tenso-activos o surfactantes.

Los detergentes pueden ser de dos tipos:

- ✓ Detergentes LAS (Alkyl-benceno Sulfonato Lineal). En este caso el ión alkyl es lineal, es decir, compuestos derivados de las parafinas. La característica más importante de este tipo de detergentes es que son biológicamente degradables.
- ✓ Detergentes ABS (Alkyl-benceno Sulfonato ramificados). En este caso el ión alkyl no es lineal, es ramificado. Estos compuestos son generalmente polímeros del propileno. La característica más importante de estos compuestos es que no son biológicamente degradables.

Hierro y manganeso. Se encuentran en la naturaleza siempre juntos. Estos compuestos son básicamente importantes en las aguas subterráneas en las cuales se encuentran en altas concentraciones. La presencia de hierro y manganeso en las aguas superficiales y subterráneas se debe al poder disolvente que tiene el CO₂ sobre los estratos del suelo reduciendo los compuestos férricos a hierro soluble. Se considera que

concentraciones mayores a 0,3 mg/L de Fe total y de 0,1 de Mn crean problemas de calidad del agua en los sistemas de agua potable.

Magnesio. El contenido de dureza está asociado al contenido de magnesio, la formación de incrustaciones y propiedades corrosivas del agua

Nitrógeno. El nitrógeno (N) así como el fósforo son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes o bioestimuladores. Debido a que el N es absolutamente básico para la síntesis de proteínas, será preciso conocer datos sobre la presencia del mismo en las aguas, y en qué cantidades, para valorar la posibilidad de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales mediante los procesos biológicos.

- ✓ **Nitrógeno total** está compuesto de nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato. La prueba más común de determinación de nitrógeno es el Kjeldahl (NTK). El NTK determina la concentración de nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal. Si se desea obtener solamente el orgánico, durante la prueba de laboratorio se elimina el N amoniacal hirviendo la muestra.
- ✓ **Nitrógeno amoniacal**, es por lo tanto, un indicador de contaminación orgánica. En los ambientes lenticos (lagos, embalses), es factible que se presenten altas concentraciones de nitrógeno amoniacal debido a la descomposición de la materia orgánica en condiciones anóxicas.
- ✓ **Nitrógeno de nitritos**, cuya determinación se realiza colorimétricamente, es relativamente inestable y fácilmente oxidable a nitratos. La concentración de nitritos

raramente excede la cantidad de 1 mg/L en las aguas residuales y de 0,1 mg/L en el caso de las aguas superficiales y subterráneas.

✓ **Nitrato** es la forma más oxidada del nitrógeno que se puede encontrar en el agua. Se forman en la descomposición de las sustancias orgánicas nitrogenadas, principalmente proteínas. Es importante considerar los nitratos en el tratamiento del agua porque en concentraciones mayores de 10 mg/L como N (45 mg/L como NO₃), se ha comprobado que producen una enfermedad en los niños llamada metahemoglobinemia.

Carbono orgánico total (COT). Este parámetro es el más conveniente y directo para determinar la cantidad total de materia orgánica presente en el agua. Con sus resultados se pueden establecer relaciones con la DBO, DQO, y por tanto, obtener conclusiones sobre su consistencia o no.

Fósforo. Es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido a que en las aguas superficiales ocurren nocivas proliferaciones incontroladas de algas, actualmente existe mucho interés en limitar la cantidad de fósforo que alcanzan las aguas superficiales por medio de vertimientos de aguas residuales domésticas, industriales y por escorrentía. Como ejemplo se puede citar el caso de las aguas residuales municipales cuyo contenido de fósforo como P puede variar entre 4 y 15 mg/L.

Fósforo Total. Puede ser utilizado como indicador de cantidad de detergentes sintéticos vertidos a una corriente, ya que éstos poseen entre el 12 al 13% de fósforo en sus formulaciones. Desde el punto de vista de la eutroficación de cuerpos de agua, el nivel crítico es aproximadamente 0,01 mg/L

Calcio. Son la causa más frecuente de la dureza y afectan vitalmente las propiedades incrustantes y corrosivas de un agua.

Cianuros. Su presencia tiene un efecto de significación sobre la actividad biológica del sistema. Los organismos causantes de autopurificación de los cuerpos de aguas son inhibidos por un contenido de 0,3 mg/L de CN⁻. Su toxicidad aumenta cuando se asocia a variables tales como temperatura, pH, OD y la concentración de ciertas sustancias minerales.

Cloruros. Son una medida indirecta de contaminación de origen orgánico humano, así como de la presencia de sales ionizables.

Hidrocarburos. Están englobados dentro de las grasas y aceites. Sin embargo, por su importancia y efectos ambientales se deben determinar independientemente. Generan olores fuertes y deterioro estético de los cuerpos de agua. Su presencia origina incremento de la DBO, alteran los procesos biológicos e impiden el intercambio del oxígeno gaseoso.

Hierro Total. Aguas con altos contenidos de este metal, al entrar en contacto con el aire, se puede precipitar, originando sólidos sedimentables, y coloración de las aguas. Su presencia imposibilita el uso del agua en algunas actividades industriales y posibilita el crecimiento de las bacterias del hierro (crenothrix), que causan taponamiento en las tuberías de acueducto.

Sulfatos. Los sulfatos, al mezclarse con iones de calcio y magnesio en aguas de consumo humano, producen un efecto laxante. En aguas residuales al entrar en contacto con el concreto inducen la formación de cristales de sulfato aluminato que originan una expansión del material que destruye su textura. Bajo la acción de bacterias anaerobias los

reducen hasta la formación de sulfuros, que luego en condiciones aeróbicas favorecen la formación de ácido sulfúrico, con los problemas de olor y corrosión asociados a estos compuestos

Sulfuros. Son grandes causantes de olores y disminución del pH. Es un estado intermedio de la reducción de los sulfatos bajo condiciones anaeróbicas y bacterias sulfurosas. Atacan directamente los metales e indirectamente la corrosión de tuberías. Es tóxico para los peces y otros organismos acuáticos.

Salinidad. Es una propiedad importante para las aguas naturales e industriales, es la medida de la masa de sales disueltas. Actualmente, la salinidad se determina indirectamente por la medida de propiedades físicas del agua tales como la conductividad, la densidad y la velocidad del sonido. A través de relaciones empíricas con las propiedades físicas se determina la salinidad de las aguas. La precisión de la determinación de las propiedades físicas, determina la precisión de la medida de salinidad. En orden de precisión el método estándar recomienda: a) la conductividad, b) la densidad y c) la velocidad del sonido en el agua. Aunque la conductividad tiene la mayor precisión, ella sólo responde a los iones disueltos. La densidad del agua, aunque menos precisa, incluye todas las sales disueltas.

Zinc. Es un elemento esencial para las plantas y animales, pero en elevadas concentraciones es tóxico para algunas especies de la vida acuática. En aguas alcalinas pueden originar opalescencia en concentraciones de 5 mg/L. Su presencia es un indicador de descargas contaminantes industriales.

Aluminio. En las corrientes de los EE. UU., se encuentran valores de 400 $\mu\text{g/L}$. En aguas de consumo debe estar en 54 $\mu\text{g/L}$ y en aguas subterráneas se encuentra en valores menores de 0,1 $\mu\text{g/L}$. Los minerales principales asociados al aluminio son la bauxita y óxidos de aluminio que son usados como abrasivos. Se usa en intercambiadores de calor y construcción de partes de aviones, contenedores y en material de construcción. El sulfato de aluminio se usa en la potabilización del agua como floculante. A valores mayores de 1,5 mg/L constituye un tóxico peligroso en los ambientes marinos. La Organización Nacional de Alimentos recomienda un valor máximo de 5 mg/L en aguas para riego. *Para aguas de consumo recomienda concentraciones máximas permisibles de 0,05 mg/L (EPA, 2013).*

Arsénico. La contaminación por As aparece asociada a la fabricación o utilización de herbicidas o pesticidas. Obstaculiza reproducción celular. Los tejidos de muchos organismos lo acumulan, por tanto, sus efectos dañinos pueden durar un tiempo cuando la concentración es baja, pero a pesar de ello es mortal.

Cadmio. Es especialmente peligroso ya que se puede combinar con otras sustancias tóxicas. Afecta principalmente a los micromoluscos (no se desarrolla la concha). Produce graves enfermedades cardiovasculares en el hombre, además, es un irritante gastrointestinal

Cobre. Su toxicidad sobre los organismos acuáticos varía con la especie, características físicas y químicas del agua, como temperatura, dureza, turbiedad y contenido de CO_2 .

Cromo. Su toxicidad varía con el tipo de peces, con la temperatura y el pH del agua, así como también con su estado de oxidación, siendo el Cr^{6+} el más nocivo. Las sales de cromo imparten una coloración en el agua.

Mercurio. Cuando está presente en agua de consumo de una u otra forma invade el cuerpo humano a través de los tejidos de la piel o ingestión de comida, preparada con dicha agua. Debilita progresivamente los músculos, pérdida de la visión, deteriora otras funciones cerebrales, genera parálisis eventual, estado de coma o muerte

Níquel. En bajas concentraciones es vital para el desarrollo de plantas y animales, pero en elevados valores causan problemas graves en la salud humana.

Plomo. Compuesto tóxico acumulativo en el cuerpo humano. Produce una variedad de síntomas en los tejidos vulnerables. Cuando el agua está contaminada con sales de plomo, se les forma a los peces una película mucosa coagulante, primero sobre las agallas y luego sobre todo el cuerpo, causándoles sofocación.

Fenoles. Estos compuestos se utilizan ampliamente en varios procesos industriales. Entre los más conocidos están: la producción de polímeros sintéticos, Industria del teñido, pigmentos, herbicidas y pesticidas

Pesticidas. Son hidrocarburos clorados que cuando están presentes en el agua son rápidamente asimilados por los animales acuáticos entrando de esta manera a hacer parte de la cadena alimenticia. Tienen la característica de que son persistentes en los suelos y los sedimentos. Su origen en el agua se debe a su aplicación en la agroindustria y desechos

industriales. Actualmente esta tiene prohibido el uso de Aldrin, DDT, Endrin, Heptacloro, Lindano y Clorano (EPA, 2013).

Y demás sustancias de interés sanitario definidas en el orden internacional como: EPA, OMS, NSF y del orden nacional lo definido por el Decreto N° 1594 de 1984, por el cual se reglamenta usos del agua y residuos líquidos (vertimientos); específicamente en el Art N° 20, el Artículo 37, donde se establece los criterios de calidad para destinación del recurso (agua de fuentes superficiales) y el artículo N° 29 donde se establecen los usos del agua según orden de prioridades.

2.5 Determinación de la calidad del agua de fuentes superficiales por índices de calidad

Un índice de calidad del agua es la expresión global o integrada en la cual se combinan factores naturales de tipo morfológico, geográfico y/o climático con las características fisicoquímicas y biológicas del agua, sin ignorar la estética de la zona (Sierra, 2011); para ello es necesario determinar calidad mediante la definición de expresiones matemáticas que permita el relacionamientos e integración de un conjunto de variables (parámetros fisicoquímicas y microbiológicos) del agua, como elemento de la naturaleza que soporta un ecosistema y como un bien público. De hecho, al determinar índices de calidad se precisan grados de contaminación del recurso y de fácil estimación cuantitativa.

Índices de calidad existen un sin número, por ejemplo: en Colombia está definido un índice de calidad para fuentes superficiales llamado *ICACOSU (Índice de calidad del agua para corrientes superficiales)* (IDEAM, Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de Calidad del agua superficial. 10 p. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios

Ambientales, 2011), el cual permite evaluar el recurso hídrico en Colombia. También está el IAQA que define hasta siete niveles de Calidad del agua usando cinco parámetros (*conductividad, temperatura, carbono Orgánico total, oxígeno disuelto y sólidos suspendidos*) (CHAPRA, 2008).

Además del ICA planteado por la National Science Foundation de los Estados Unidos (NFS). Dependiendo del ICA que se desarrolle los parametros a aplicar son, por ejemplo:

Tabla 8.

Parámetros de calidad de agua

Parámetro
Oxígeno disuelto (mg/L)
Conductividad
pH
TEMPERATURA (°c)
COT
ST (mg/L)
Coliformes fecales (NMP/100 ml*104)
DBO5 (mg/L)
PO4 (mg/L)
Turbiedad (UJ)
NO3 (mg/L)

Fuente. IDEAM, 2011 & NFS

Como referente teórico se tuvo en cuenta aportes científicos generados por diferentes investigadores tanto del nivel internacional como nacional para la determinación de los índices de calidad y de contaminación que permitan un análisis comparativo integral del nivel de calidad del agua del Rio Algodonal; tal como se estableció en la cuenca del Amajac, Tulancingo, Estado de Hidalgo, México donde el Índice de calidad del agua se consideró un método estandarizado para poder comparar la categoría del agua de manera integral entre localidades y a través del tiempo en los distintos almacenamientos de agua, ríos y arroyos de la; cuyos resultados permiten contribuir a arrojar información veraz y confiable para

predecir el grado de contaminación y establecer estrategias de planeamiento en el manejo de los recursos hídricos; donde la calidad del agua de acuerdo al uso se clasificó como de calidad media con un ICA igual a 50-69 en el 29 % de los sitios muestreados, pues el 59 % de los cuerpos de agua estuvieron en la categoría de contaminados dentro del intervalo ICA de 30 a 49, valores con los que el líquido sólo podría tener uso industrial o agrícola con tratamiento. Por último, el 12% de los cuerpos de agua medidos estuvieron altamente contaminados (ICA menor a 30); prácticamente inaceptables para cualquier uso (Alvarez, A., Rubiños, J., Gavi, E., Alarcón, F., Hernández, J., Ramírez, Mejía, C., Pedrero, S., Nicolas, F., & Salazar, E., 2006).

Para ello eso existe una infinidad de estructuras matemáticas basadas en la correlación de variables físico químicas independientes para calcular Índices de Calidad del Agua de cualquier cuerpo hídrico que permitan estimar las concentraciones para que de esta manera se categorice el nivel de calidad de las agua, tal como lo afirma (Torres, Hernán, & Patiño, 2009): *“se basa en la normalización de los parámetros que los conforman de acuerdo con sus concentraciones, para su posterior ponderación en función de su importancia en la percepción general de la calidad agua; se calcula mediante la integración de las ponderaciones de los parámetros a través de diferentes funciones matemáticas, pues, existen dos enfoques para el cálculo: i) el producto ponderado en el cual los pesos dan importancia a los puntajes y todos ellos son ponderados de acuerdo a la importancia de los pesos y luego son multiplicados y ii) la suma ponderada, en la cual cada puntaje es multiplicado por su peso y los productos son sumados para obtener el índice si los pesos son iguales para cada puntaje”*.

Los parámetros más frecuentemente usados para la estimación de los diferentes ICA`'s son:

- ✓ Oxígeno Disuelto (OD)
- ✓ pH
- ✓ Demanda biológica de Oxígeno (DBO5)
- ✓ Nitratos
- ✓ Coliformes fecales
- ✓ Temperatura
- ✓ Turbiedad
- ✓ Sólidos disueltos totales.

También se existen los Índices de contaminación (ICO's) que 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's fue similar al proceso para la determinación del 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 Trófico (ICOTRO). (Castro, Almeida, Ferrer, & Diaz, 2014). A continuación, se relacionan los parámetros de los ICO'S:

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

Figura 16. Parámetros evaluados por los índices de contaminación de Ramírez y Viña (1997) Fuente. Grupo de Investigación en Asuntos Ambientales y Desarrollo Sostenible Mindala con base en información adaptada de Rodríguez B. y Fontecha A., (2011)

Con base a los índices de calidad descritos anteriormente se tuvieron como referente una serie de investigaciones que generaron análisis interesante, por ejemplo:

Análisis de Calidad de Agua de la Quebrada La Ayurá, en Medellín realizado por la Universidad de Antioquia, pues esta investigación que se basó en un análisis de variables fisicoquímicas y Macroinvertebrados acuáticos que busco analizar variables fisicoquímicas, índices de calidad, y se empleó de Macroinvertebrados como testigos de la calidad del agua son métodos complementarios en los procesos de evaluación de las condiciones ambientales, como indicadores. Se evaluaron nueve variables consideradas relevantes, que permitieron entender la dinámica de la quebrada a partir del comportamiento de las variables. A continuación, se relaciona los resultados de la investigación.

Tabla 9.

Resultados de variables caso Análisis de Calidad de Agua de la Quebrada La Ayurá, en Medellín

Variables Físico Químicas	Períodos de muestreo y estaciones								
	28 de noviembre 2007			24 de enero de 2008			26 de febrero de 2008		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
Temperatura del agua °C	17,5	19,2	20,2	18,0	18,0	21,0	17,5	16,5	21,7
Oxígeno Disuelto (mg/L)	7,2	6,9	5,8	8,3	8,2	7,5	6,4	6,8	6,1
CO ₂ (mg/L)	0,0	2,4	3,4	6,6	7,0	5,5	2,4	2,1	2,5
pH	7,1	7,8	7,5	7,3	7,5	7,6	7,4	7,6	7,5
Conductividad Eléctrica (µs/cm)	21,2	45,1	67,5	21,3	46,7	76,9	18,0	39,4	68,9
Alcalinidad Total (mg/L CaCO ₃)	12,0	21,8	25,8	30,0	20,0	70,0	20,0	40,0	80,0
Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	20,0	22,0	24,0	8,9	17,7	26,7	26,7	26,7	26,7
Sólidos disueltos (mg/L)	19,0	40,0	59,0	19,0	42,0	69,5	19,0	41,0	67,0
Turbiedad (UNT)	1,3	11,1	8,2	1,0	4,0	10,0	8,0	4,9	71,2

Fuente. Universidad de Antioquia, 2009.

Donde la Temperatura del agua, oxígeno disuelto (OD), dióxido de carbono, pH y dureza total presentaron poca variación de los resultados entre estaciones, con lo que se podría decir que sus valores permanecieron estables en el tiempo. Además, las variables de conductividad eléctrica, alcalinidad total, sólidos disueltos y turbiedad, tuvieron mayor incidencia en la quebrada respecto a las variables antes mencionadas con relación a la dispersión de los datos, donde sobresalen los valores de alcalinidad total ($\sigma^2= 566,90$) y conductividad eléctrica ($\sigma^2= 498,30$). La dispersión de estos resultados se ve reflejada en los niveles mínimos y máximos entre las estaciones 1 y 3 (Valverde, Caicedo, & Aguirre, 2009). El índice de diversidad de Shannon-Weaver y los resultados derivados del dendograma guardan una estrecha relación con el comportamiento de las variables físicoquímicas que conforman el segundo grupo y con la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos determinados en la quebrada La Ayurá.

En lo que concierne a investigaciones de sustancias de interés como es el caso de pesticidas se tiene como un referente la investigación realizada en Venezuela denominada

como: “Residuos de plaguicidas en aguas para consumo humano en una comunidad agrícola del estado Mérida, Venezuela”, se determinó la presencia de plaguicidas en agua potable, provenientes de seis acueductos en una región de intensa actividad agrícola del Estado Mérida, Venezuela. El estudio fue realizado durante cuatro semanas continuas, entre mayo y junio de 2008. Los residuos de plaguicidas fueron analizados mediante extracción en fase sólida y HPLC con detector de arreglo de diodos. El método SPE-HPLC-DAD cumplió con los criterios de validación analítica: linealidad (R^2 : 0,9840-0,9999), precisión (coeficiente de variabilidad inter-día 1,47-6,25%), exactitud (desviación estándar relativa 0,9-9,20%) y sensibilidad (límite de detección 0,012 $\mu\text{g/L}$; límite de cuantificación 0,030 $\mu\text{g/L}$, excepto mancozeb con 0,400 $\mu\text{g/L}$).

Donde Siete de los trece plaguicidas seleccionados tienen un porcentaje de recuperación entre 100% y 70%, el resto, entre 61% y 37%. En 72 muestras analizadas, se detectaron diez plaguicidas de los grupos químicos: organofosforados, carbamatos, triazinas y derivados de urea. Los plaguicidas con mayor frecuencia de detección fueron: carbofuran y atrazina (39%), malation (25%), dimetoato y metribuzin (19%). Los plaguicidas que se encontraron en niveles más altos fueron: diazinon (26,31 $\mu\text{g/L}$), metamidofos (10,99 $\mu\text{g/L}$), malation (2,03 $\mu\text{g/L}$) y mancozeb (1,27 $\mu\text{g/L}$). Los niveles de plaguicidas no superaron los valores máximos permitidos por la Legislación Venezolana, sin embargo, fueron superiores al nivel máximo permitido por la Unión Europea y EPA-USA. Este estudio demuestra la urgente necesidad de hacer un monitoreo sistemático de la calidad del agua para consumo humano en las regiones de alta productividad agrícola (García, Morales, Quintero, Benítez, & Miranda, 2011).

2.6 Descripción del 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.

Estos ICO'S tienen importancia mundial, pues se implementaron con 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.

A continuación, se relación los métodos para determinar los índices de contaminación:

Tabla 10.

Método de Determinación de los Índices de contaminación propuestos por Ramírez y viña (1997)

N	Ecuación del indicador	Descripción
1	$ICOMI = \frac{1}{3}(I. conductividad + I. Dureza + I. Alcalinidad)$	ICOMI= Índice de contaminación por mineralización.
Calculo del subíndice del indicador ICOMI		
1	$I. Conductividad = \text{Log}_{10} I. Conductividad = 3.26 + 1.34 \text{Log}_{10} I. Conductividad$ ($\mu\text{S/cm}$) $I. Conductividad = 10^{\text{log}.I. Conductividad}$	Conductividades mayores a 270 $\mu\text{S/cm}$ tienen un índice de conductividad =1
	$I. Dureza = \text{Log}_{10} I. Dureza = 9.09 + 4.40 \text{Log}_{10} I. Dureza$ (mg/lit). $I. Dureza = 10^{\text{log}.I. Dureza}$	- Durezas mayores a 110 mg/lit tienen un índice =1. Durezas menores a 30 mg/lit tienen un índice =0
1	$I. Alcalinidad = -0.25 + 0.005 \text{Alcalinidad}$ (mg/lit)	Alcalinidades mayores a 250 mg/lit tienen un índice de 1. Alcalinidades menores a 50 mg/lit tienen un índice de 0.
2	$ICOMO = \frac{1}{3}(I. DBO + I. Coliformes + I. Oxígeno \%)$	ICOMO= índice de contaminación por materia orgánica. Conformado por demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno.
Calculo del subíndice del indicador ICOMO		
2	$I. DBO = -0.05 + 0.70 \text{Log}_{10} DBO$ (mg/L)	DBO > 30 (mg/l) =1 DBO < 2 (mg/l) =0
2	$I. coliformes totales = 1.44 + 0.56 \text{Log}_{10} Col. Tol$ (NMP/100ml)	- Coliformes totales > 20.000 (NMP/100ml)=1 Coliformes totales < 500 (NMP/100ml)=0
2	$I. Oxígeno \% = 1 - 0.01 \text{oxígeno}\%$	Oxígenos (%) > a 100% tienen un índice de oxígeno de =0. Para sistemas lenticos con eutrofización y porcentajes de saturación > al 100% se sugiere reemplazar la ecuación por: $I. Oxígeno \% = 0.01 \text{oxígeno}\% - 1$






N	Ecuación del indicador	Descripción
3	$ICOSUS = -0.02 + 0.0003 \cdot \text{solidos suspendidos (mg/L)}$	ICOSUS= índice de contaminación por solidos suspendidos Solidos suspendidos > a 340 mg/l tienen un ICOSUS =1. Solidos suspendidos < a 10 mg/l tienen un ICOSUS =0.
4	$ICOTEMP = -0.49 + 1.27 \cdot \text{Log}(Temp. vertimiento - Temp. cursoreceptor)$	ICOTEMP= índice de contaminación por temperatura. Si la diferencia de temperatura es menor a 2.5°C (275.5°K), ICOTEMP=0 Si la diferencia de temperatura es mayor a 15.0°C (288.5°K), ICOTEMP=1
5.	$ICOpH = e^{-31.08+3.45pH} / 1 + e^{-31.08+3.45pH}$	ICOpH= índice de contaminación por pH

Fuente⁶. Información adaptada del Capítulo 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).

Luego los resultados de los índices se comparan con base a una escala de juicio y valoración que determina el grado de contaminación con su correspondiente color:

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	

Fuente: Ramírez et al. (1999).

⁶ 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 algodonal.

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.

Capítulo 3. Objetivos

3.1 General

Realizar el monitoreo, valoración y evaluación diagnóstica de la calidad físico-química, y microbiológica del agua Rio Algodonal en el tramo comprendido entre los municipios de Abrego y Ocaña, Norte de Santander.

3.2 Específicos

Analizar cuantitativamente la calidad del agua del Rio Algodonal con base a los estándares permisibles de calidad del agua cruda, tanto del orden nacional como lineamiento del orden internacional mediante la determinación de variables (parámetros físico químicos y microbiológicos del agua)

Determinar la calidad del agua mediante Índices de calidad del agua del Rio Algodonal.

Evaluar la calidad del agua del rio Algodonal mediante un análisis estadístico descriptivo y correlacional de calidad del agua.

De acuerdo a los objetivos y alcance del proyecto de investigación se realizará una valoración y análisis con fundamentación matemática mediante determinación de índices de calidad del agua para la caracterización integral de variables físico –química, y microbiológica del agua con adopción de metodologías adaptadas a las características y particularidades del área objeto de estudio (cuerpo hídrico) y de sus comunidades.

3.3 Alcance

Para el alcance del proyecto se determinarán los siguientes índices de calidad:

- ✓ Índice de calidad fisicoquímica se tiene como por ejemplo el IQA definido por National Science Foundation de los Estados Unidos NFS y aplicación de la herramienta de evaluación del recurso hídrico en Colombia mediante el ICACOSU propuesto por el IDEAM 2009.
- ✓ ICOMI (contaminación por mineralización e índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO))

En lo que concierne a parámetro de interés sanitario como es el caso de Trazas de Plaguicidas (organoclorados, organofosforados y carbamatos) e Hidrocarburos totales.

Se evaluó la presencia de estos en el agua y se realizó un análisis comparativo frente a lineamientos establecidos por la Organización Mundial de Salud OMS. Los Parámetros en general a determinar en la calidad del Agua del Rio Algodonal son los siguientes:

Una vez obtenidos el análisis matemático se procedió a realizar una evaluación de la calidad del agua mediante análisis estadístico descriptivo y correlacional entre los resultados de las variables de calidad del agua del Rio Algodonal y su relacionamiento por grupo de variables y su variabilidad por estación de control definidas para este estudio con su correspondiente determinación de la desviación estándar para la significancia estadística de los resultados.

Además, se diseñó una *Matriz descriptiva de Evaluación* que permita el análisis comparativo-descriptivo de los resultados arrojados en el estudio con los parametros permisibles definidos en la legislación vigente nacional en coherencia con criterios

internacionales, que permita la fácil interpretación de las condiciones de calidad del agua, tal como se evidencia en la siguiente Tabla:

Tabla 12.

Matriz Comparativa de Resultados.

VARIABLES	LIMITE DE DETECCION	METODO	RESULTADOS	COMPARATIVO RESPECTO A LA NORMA
PH/T°	0.1/5.0	SM4500.h+b,25 50-B		
COLOR	15 UPC	Colorimetría		
TURBIEDAD	2.0 UNT	SM 2130 B		
ALCALINIDAD TOTAL	200mg/l	volumétrico		
POTENCIAL DE HIDROGENO	Unidades de pH	Electrométrico		
CONDUCTIVIDAD	1000 uS/Cm			
OXÍGENO DISUELTO	0.2 mg/l	% Saturación volumétrico		
DBO5	0.2 mg/l	-		
DQO	mg/l	-		
SOLIDOS TOTALES	0.2 mg/l			
SOLIDOS SUSPENDIDOS		Gravimétrico		
COLIFORMES TOTALES	0.0 UFC/100 ml			
COLIFORMES FECALES E-COLI		MNP		
AEROBIOS MESOFILOS	100 UFC/100 ml			
DUREZA TOTAL	2.0	SM 2340 C		
GRASAS & ACEITES	0.58	NTC 3362-C		
NITRITOS	0.1 mg/l			
NITRATOS	10 mg/l	Fotométrico		
COLORO LIBRE	0.3-2.0 mg/l	-		
ORGANOCOLORADOS	0.03 ug	EPA 3510C- EPA 8081 B		
ORGANOFOSFORDOS	0.03 ug	EPA 3510C- EPA 8081 B		
CARBAMATOS	ppb	GC M/SIM		

3.4 Estaciones de Control-Aforo

Para el desarrollo de la investigación se establecieron un total de cinco (5) Estaciones de control -aforo bajo criterio técnico de acuerdo a las recomendaciones dadas por el Protocolo para el Monitoreo y seguimiento del agua establecido por el IDEAM. Estaciones de control (E) ubicadas en el recorrido del cauce principal del Rio Algodonal, en el tramo comprendido entre el municipio de Abrego y Ocaña en el departamento de Norte de Santander de acuerdo a los siguientes criterios⁷:

- ✓ Selección de un tramo del río de fácil acceso.
- ✓ De acuerdo a la confluencia de tributarios que vierten al cauca principal y a la descarga de efluentes al río Algodonal se seleccionaron los puntos estratégicos donde se da una mezcla homogénea del flujo de agua.
- ✓ Las secciones seleccionadas se situaron en tramos rectos del río.
- ✓ Las estaciones se ubicaron en un flujo uniforme y paralela a los márgenes del río e igualmente que sean normales a la sección transversal de aforos, para que la medición de la velocidad sea precisa para la obtención del caudal.
- ✓ Las secciones del río fueron profundas con márgenes a cierta altura.
- ✓ La pendiente longitudinal del cauce permaneció uniforme, donde se evitó tramos con quiebres fuertes de pendiente que desequilibran la velocidad del flujo.
- ✓ Se buscó que el lecho del río tuviera geometría regular con un cauce estable y no tener obstáculos.
- ✓ Para distribuir uniformemente las distancias y segmentos del tramo del río objeto de estudio entre estaciones de control-aforo para la evaluación de la calidad del agua se incluyeron elementos metodológicos aplicados por (Sierra, 2011): “*cuando un*

⁷ Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial & Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Protocolo para el monitoreo y Seguimiento del Agua, 2007. ISBN 978-958-8067-23-0

vertimiento o tributario se considera afecta la calidad del agua debe establecerse otro segmento” (p. 147).

A continuación, en la siguiente tabla se relacionan las estaciones de control:

Tabla 13.

Descripción y Georreferenciación de las Estaciones de Control

AREA DE ESTUDIO	DE ESTACIONES DE CONTROL (E)	DESCRIPCIÓN DE LA ESTACIÓN DE CONTROL	COORDENADAS		ALTURA (msnm)
			N	W	
Rio Algodonal tramo comprendido entre el municipio de Abrego y Ocaña, norte de Santander.	E 1	Punto las Ajuntas Confluencia del rio Frio y rio Oroque), ubicada en la vereda el Hoyo, municipio de Abrego.	8°4'51,8"	73°12'02,4"	1373
	E.2	50 m Aguas arriba de la Laguna de Oxidación municipio de Abrego.	8°5'47"	73°13'10,2"	1337
	E3.	500 m aguas abajo del afluente de la laguna Oxidación, municipio de Abrego.	8° 5' 44"	73° 13' 23"	1353
	E4.	Aguas abajo del vertimiento del Corregimiento la Ermita, municipio de Ocaña	8°11'22,49"	73°18'58,97"	1253
	E5.	Estación la Cabaña (Aguas arriba bocatoma de la Empresa de servicio público de agua potable de Ocaña ESPO)	8°12'04"	73°19'08"	1231

Fuente: Elaboración propia.

Además, como se trató de una investigación no experimental tipo exploratoria para determinar y evaluar la calidad del agua se tuvo como referente el siguiente criterio técnico con base a lo recomendado por Sierra, (2017) para definir las cinco (5) Estaciones de control-aforo:

- ✓ *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.*
- ✓ *Cuando un vertimiento o tributario se considera que puede afectar la calidad del agua de la corriente principal, se debe establecer un nuevo segmento.*
- ✓ *Una regla práctica para considerar que un tributario o vertimiento es importante puede ser cuando el caudal promedio del tributario o vertimiento excede 10 veces el caudal promedio de la corriente principal.*
- ✓ *En sitios donde exista un puente, una estación de aforo u otro cambio importante en la geometría de la corriente, amerita la creación de un nuevo segmento.*

Tal como se ilustra en la siguiente imagen:

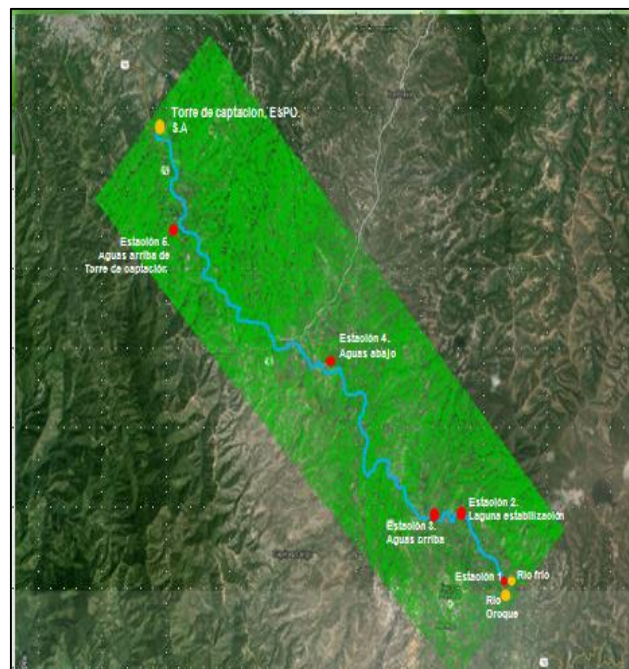
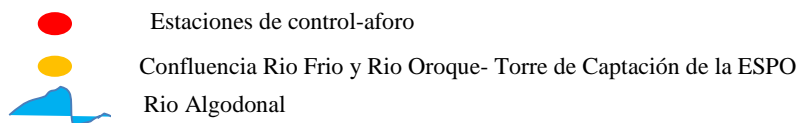


Figura 17. Estaciones de control-aforo

Fuente. Grupo de Investigación en Asuntos Ambientales y Urbanos Mindala, 2016

Convecciones Ilustración N°3



Acontinuacion se ilustran las estaciones de control según imagen satelital de Google Earth, 2016:



Figura 18. Estación de Control de Aforo N°1

Fuente: Imagen Satelital Google Earth, 2016. Vereda el Hoyo, municipio de Abrego Norte de Santander.



Figura 19. Estación de Control de Aforo N°2

Fuente: Imagen Satelital Google Earth, 2016. Vereda Ato viejo, municipio de Abrego, Norte de Santander.

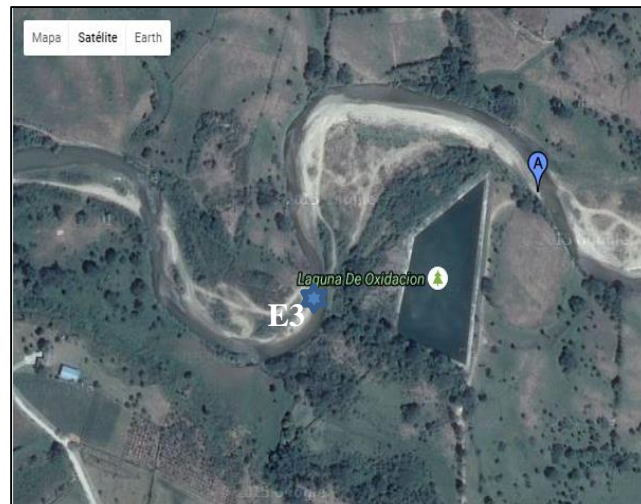


Figura 20. Estación de Control de Aforo N°3

Fuente: Imagen Satelital Google Earth, 2016. Vereda Ato viejo, municipio de Abrego, Norte de Santander.

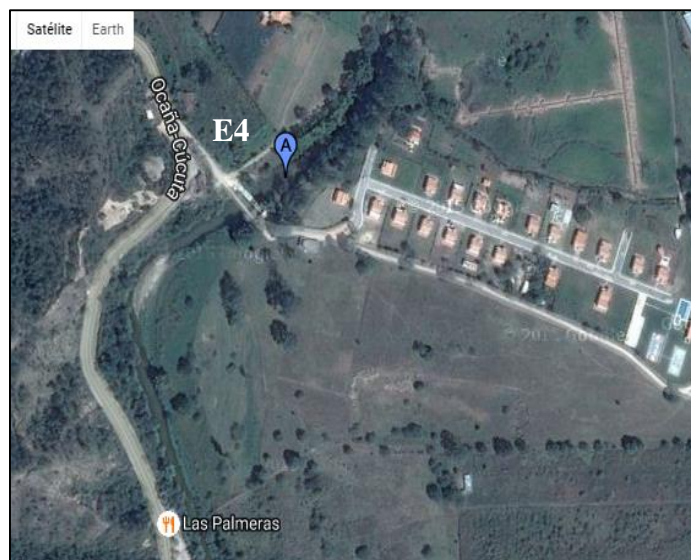


Figura 21. Estación de Aforo-control N°4

Fuente: Imagen Satelital Google Earth, 2016. Corremiento la Ermita, municipio de Ocaña, Norte de Santander

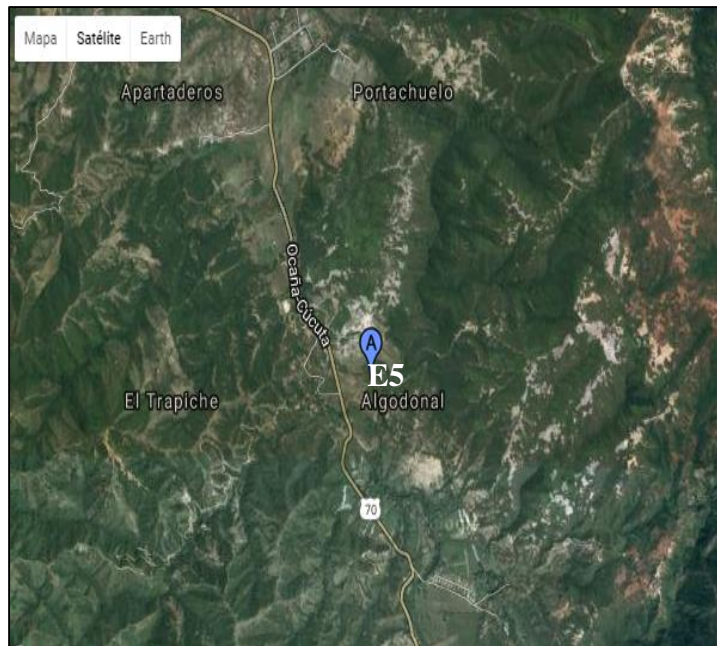


Figura 22. Estación de Aforo-control N°5

Fuente: Imagen Satelital Google Earth, 2016. (Punto la Cabaña) Municipio de Ocaña, Norte de Santander

Capítulo 4. Metodología

4.1 Diseño de Investigación

El diseño de investigación a desarrollar es una investigación de carácter explicativa no experimental con enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo), sistemática y empírica, donde las variables independientes no se manipularán, sino que se analizarán mediante estudio estadístico descriptivo correlacional para comprender el estado de la calidad físico-química, microbiológica y biológica en un determinado espacio (en las cinco estaciones de control establecidas en el tramo del río Algodonal) y en un determinado tiempo (aprovechamiento régimen de lluvias de la zona) con el fin de determinar la relación que existe entre conjunto de variables definidas para dicha investigación.

La metodología de investigación tiene un enfoque Mixto, la cual se caracteriza por tener un alcance exploratorio, descriptivo y correlacional de tipo transeccional descriptivo con relacionamiento de sus variables in situ (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2010) para explicar el fenómeno.

En este sentido a continuación se ilustra un esquema del Diseño de Investigación:

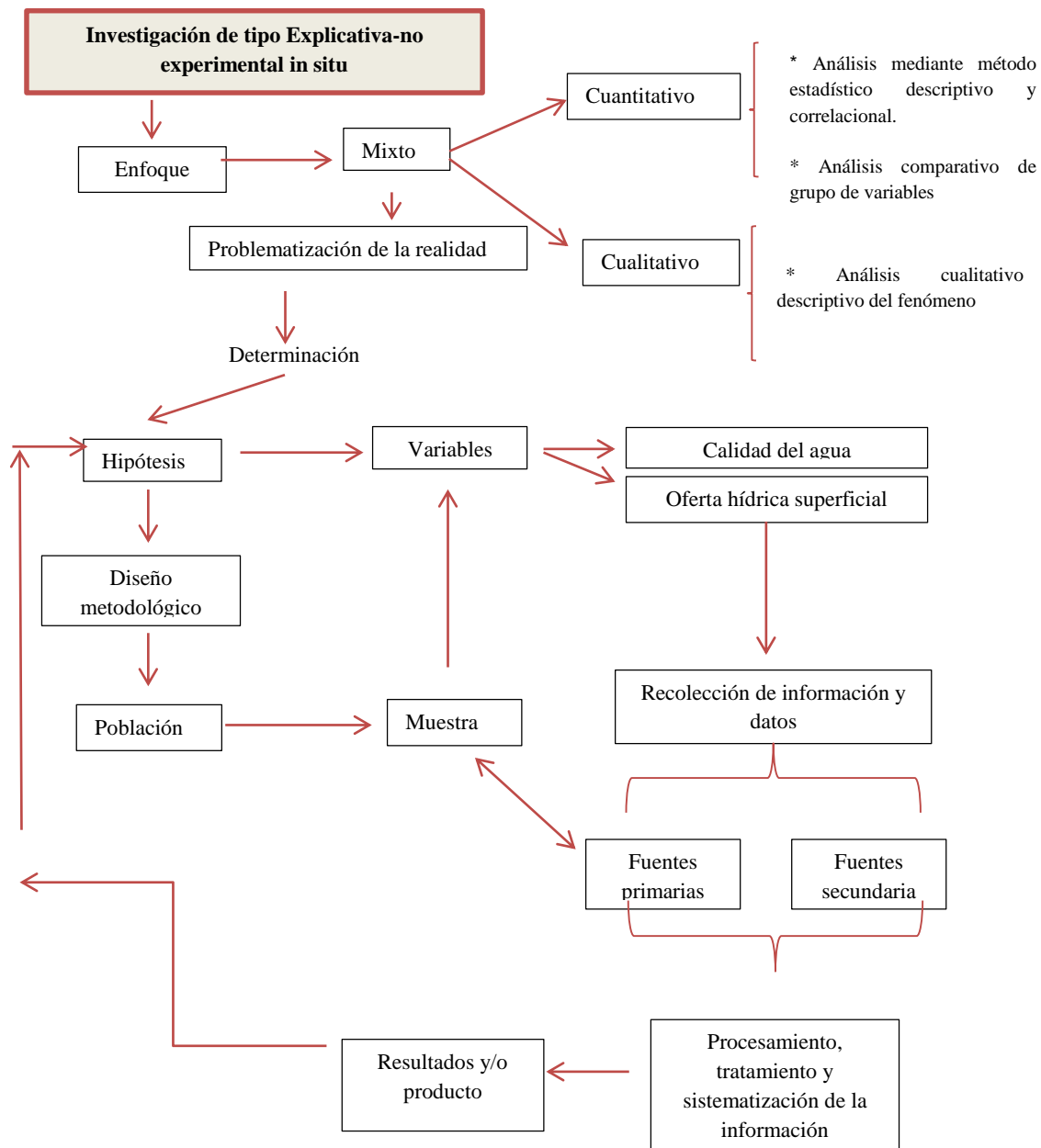


Figura 23. Propuesta de Diagrama de Investigación Calidad del Río Algodonal

Fuente. (Hernandez Sampieri, 2010)

4.2 Metodología de la Investigación.

La metodología a implementar según diseño de investigación es la siguiente:

- ✓ Recopilación y análisis de la información secundaria de la investigación
- ✓ Reconocimiento preliminar del área y reconocimiento de las condiciones de la red hídrica

- ✓ Levantamiento de la información primaria (en campo)
- ✓ Determinación de las cinco Estaciones de control Monitoreo de la calidad del Rio Algodonal para la realización de los cuatro muestreos de agua y aforos de caudales en cada periodo durante doce meses para su posterior análisis de variables in situ Fisicoquímicas, microbiológicas y biológicas del Rio Algodonal, según lineamientos estándares permisibles.
- ✓ Observación in situ para el monitoreo de la calidad del agua del rio Algodonal por doce meses.
- ✓ Análisis de laboratorio.
- ✓ Análisis comparativo de calidad (físico-químico y microbiológica) del agua del Rio Algodonal.
- ✓ Estimación de los índices de calidad del agua mediante utilización de software código libre ICATEST, con enfoque de la metodología del IDEAM y Metodología Calidad del agua, evaluación y diagnóstico (Sierra, 2011).
- ✓ Anàlisis estadístico descriptivo y correlacional de los resultados arrojados de las diferentes variables físico químicas, microbiológicas y biológicas de calidad del agua y oferta superficial del agua (caudales por medio de coeficientes de correlacion que determine la covariación, y de esta manera evaluar la calidad del agua.
- ✓ Triangulación de resultados, Sistematización y Documentación de la información veraz y confiable.

4.3 Universo

Cuenca alta del Catatumbo Rio Algodonal (1605⁸)

⁸ Codificación de Cuenca hidrográfica según priorización del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.

4.4 Población

Cuerpo de agua “Rio Algodonal” tramo comprendido entre los municipios de Abrego y Ocaña

4.5 Muestra

La muestra seleccionada para esta investigación es un tramo de una longitud de 30.27 kilómetros del recorrido del cauce del rio Algodonal ubicado estratégicamente entre los municipios de Abrego y Ocaña, Norte de Santander.

4.6 Variables

Las variables definidas según el alcance de la investigación son de tipo Independiente y Dependiente a fin de soportar la hipótesis para la comprensión del fenómeno objeto de estudio:

4.6.1 Independientes

- ✓ Calidad del agua del Rio Algodonal
- ✓ Oferta hídrica superficial

4.6.2 Dependientes

Son las que se medirán, a partir del análisis de laboratorio para su correspondiente valoración y análisis estadístico correlacional, estimación de índices que permitirá la evaluación integral de la calidad y oferta del rio Algodonal. Las variables a analizar son:

- ✓ Variables Físico-químicas
- ✓ Microbiológicas del agua.
- ✓ Biológicas del rio por bioindicadores de contaminación.

A continuación, se discriminan en la siguiente tabla:

Tabla 14.

Variables Físicoquímicas y microbiológicas.

VARIABLE	LIMITE DE DETECCION	METODO
PH, TEMPERATURA	0.1/5.0	SM 4500.H+B, 2550-B
COLOR	15 UPC	Colorimetría
TURBIEDAD	2.0 UNT	SM 2130B
ALCALINIDAD TOTAL	200 mg/L	volumétrico
POTENCIAL DE HIDROGENO	Unidades de pH	Electrométrico
CONDUCTIVIDAD	1000 uS/Cm	Electrométrico
OXÍGENO DISUELTO	0.2 mg/l	% SATURACION Volumétrico
DBO5	0.2 mg/L	APHA-AWWA
DQO	mg/L	APHA-AWWA
SOLIDOS TOTALES	0.2 mg/L	Gravimétrico
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	0.2 mg/L	Gravimétrico
ALCALINIDAD TOTAL		SM 2320 B
COLIFORMES TOTALES	0 UFC/100 ml	MNP
COLIFORMES FECALES - E-COLI	0 UFC/100 ml	MNP
AEROBIOS MESOFILOS	100 UFC/100 ml	MNP
DUREZA TOTAL	2.0	SM 2340 C
GRASAS Y ACEITES	0.58	NTC 3362-C
NITRITOS	0.1 mg/L	Fotométrico
NITRATOS	10 mg/L	Fotométrico
COLORO LIBRE	03-2 mg/L	
ORGANOCOLORADOS	0.03 ug	EPA 3510C-EPA 8081 B
ORGANOFOSFORADOS	0.03 ug	EPA 3510C-EPA 8141 B
CARBAMATOS	ppb	GC M/SIM

Fuente: APHA, AWWA, WPF edición 21 (2005).

4.6.3 Variables de oferta hídrica superficial

La oferta hídrica superficial como variable se analizó en términos de cantidad de flujo de agua (caudal) mediante la adopción del Protocolo para el Monitoreo y seguimiento del agua (IDEAM., 2007), donde el *Caudal* corresponde al volumen de agua que pasa instantáneamente por la sección de aforos en la unidad de tiempo y se expresa en metros

cúbicos por segundo (m³/s) o en litros por segundo (l/s), cuando se manejan pequeñas magnitudes. La medición de caudal se realizó con aforo con Micromolinete y tazando secciones transversales tal como se evidencia en la siguiente ilustración:

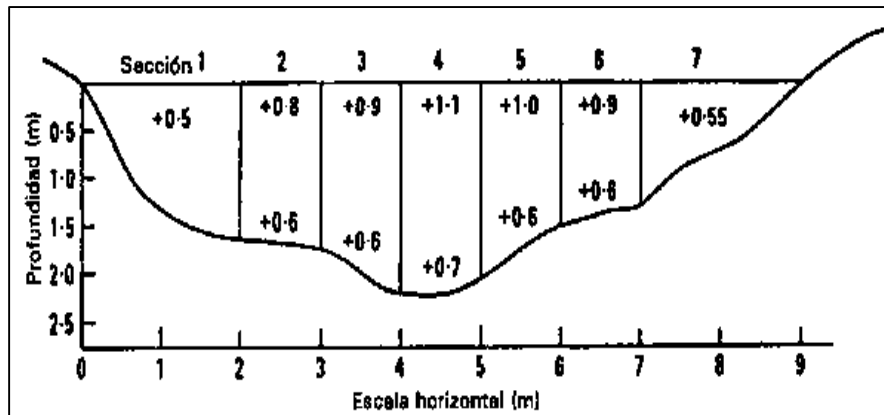


Figura 24. Esquema de Perfiles de Flujo a partir de lecturas de Molinete
Fuente. FAO, (2015).

Método de aforo con Micromolinete que permitió aprovechar las diferencias de Velocidad en cada sección transversal de cada estación de control, entre dos puntos con magnitud conocida. En virtud de la topografía del terreno, se tomó diferentes profundidades en diferentes secciones; en cada punto se midió 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 en metros.

Con los datos anteriores, se determinan los perfiles de flujo. Una vez se obtenido los perfiles de flujo del Río, se calcularon las áreas de las secciones transversales, se promedió la velocidad y para el cálculo del caudal a partir de la ecuación: $Q=V \times A$; método que permitió corregir las variaciones en las velocidades de las corrientes en un tiro de profundidad que no se puede por otras técnicas.

Las mediciones de caudal están orientadas a conocer las características geométricas e hidráulicas del cauce en diferentes estados hidrológicos, asociados con las temporadas de lluvias. El caudal en una corriente de agua es función del área de la sección de aforos (A) y de la velocidad media del flujo (V) y se obtiene mediante el producto de las siguientes variables:

- ✓ Velocidad del flujo del agua
- ✓ Areas de las Secciones transversales de las estaciones de control-aforo según regimen de lluvias durante los doce meses.

Por tanto, se determinaron las Sección de aforos en cada una de las cinco (5) Estaciones de control-aforo con el propósito de obtener mediciones confiables que permitieran facilitar la calibración total de la sección de aforos y que a su vez se tuviera facilidades logísticas para el desplazamiento del equipo investigador y con los equipos, de acuerdo a esto se buscó que la sección transversal cumpliera los siguientes requerimientos técnicos y logísticos:

- ✓ La sección debe estar situada a un tramo recto de la corriente. En lo posible, la longitud del tramo tendrá un mínimo equivalente a cinco (5) veces el ancho de la sección.
- ✓ La corriente debe mostrar líneas de flujo uniformes y paralelas a las márgenes de la corriente e igualmente que sean normales a la sección transversal de aforos, de tal manera que la medición de la velocidad sea preciso para la obtención del caudal. Cualquier desviación en las líneas de flujo produce alteración en la magnitud, por cuanto vectorialmente no corresponde al 100% de la velocidad, sino a una componente de la misma.
- ✓ La sección debe ser profunda y tener márgenes naturales altas, para evitar desbordamientos en aguas máximas, con lo cual se garantiza la calibración de caudales máximos.

- ✓ La pendiente longitudinal del cauce debe ser uniforme, evitándose tramos con quiebres fuertes de pendiente que desequilibran la velocidad del flujo (Manning), así mismo áreas de aguas muertas y contracorrientes o remolinos.
- ✓ El lecho del río debe tener geometría regular, cauce estable y no tener obstáculos (troncos de árboles, grandes rocas, vegetación, etc.).
- ✓ Se debe evitar los lechos fangosos.
- ✓ La geología del terreno deberá facilitar la construcción de las obras para medición como tarabitas, puentes, pasarelas, etc.

El método empleado para la estimación de la variable de caudal fue el método Área-velocidad con micromolinete, dado que el caudal es función del área de la sección y la velocidad media del flujo, este procedimiento se basa en la determinación de estas variables. Este sistema de aforo es el de mayor uso y requiere que el flujo tenga un comportamiento laminar y que las líneas de flujo sean normales a la sección transversal de aforo.

La precisión de las mediciones del caudal depende en gran parte del número de verticales que se tomen para la ejecución de las mediciones para el aforo, profundidad, velocidad, toma de muestras de agua, etc. Las abscisas de observación se deben definir de modo que se pueda precisar la variación de la configuración del lecho de la corriente y la variación vertical y horizontal de la velocidad. En general, la distancia entre verticales debe ser aquella que defina secciones parciales, por las cuales no pase más del 10% del caudal total.

Para cumplir tal requerimiento técnico, se recomienda tomar entre doce y quince verticales, dependiendo de la uniformidad del fondo del cauce. Posteriormente, se puede reducir o aumentar el número de estas, de tal forma que se cumpla con las recomendaciones pertinentes.

4.7 Criterios de evaluacion

Tabla 15.

Criterios de Evaluación de calidad físico-química y microbiológica de fuentes superficiales

Referencia	Expresado como	Valor
Amoníaco	N	1.0
Arsénico	As	0.05
Bario	Ba	1.0
Cadmio	Cd	0.01
Cianuro	CN-	0.2
Cinc	Zn	15.0
Cloruros	Cl-	250.0
Cobre	Cu	1.0
Color	Color real	75 unidades, escala Platino - cobalto
Compuestos Fenólicos	Fenol	0.002
Cromo	Cr ⁺⁶	0.05
Difenil Policlorados	Concentración de agente activo	No detectable
Mercurio	Hg	0.002
Nitratos	N	10.0
Nitritos	N	1.0
pH	Unidades	5.0 - 9.0 unidades
Plata	Ag	0.05
Plomo	Pb	0.05
Selenio	Se	0.01
Sulfatos	SO ₄	400.0
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	0.5
Coliformes totales	NMP	20.000 microorganismos/100 ml.
Coliformes fecales	NMP	2.000 microorganismos /100 ml.

Fuente. Decreto N° 1594 de 1984.

4.7 Monitoreo de la calidad y oferta hidrica del rio algodonal

Para el alcance de los objetivos de la investigacion se realizara un (1) monitoreo de la calidad y oferta del rio algodonal con una duracion estimada de diez (10) meses en el tramo seleccionado estrategicamente segun la dinamica social y comportamiento hidraulico del cuerpo de agua, el cual se fundamentara con la realizacion de dos (2) Muestreos manuales, distribuidos en el periodo de lluvia y sequia que se dan para esta zona en un año.



Figura 25. Monitoreo Rio Algodonal, Municipio de Abrego
Fotografia tomada por Miranda R.; 2016

4.7.1 Frecuencia de Muestreos. La frecuencia de los muestreos es trimestral (cada 3 meses) a fin de realizar los dos Muestreos programados para los 10 meses, distribuidos en el periodo de lluvia y periodos seco (verano), de acuerdo a metodologia del Ideam para muestreo de agua de fuentes superficiales.

4.7.2 Tipos de Muestreo. Las muestras a recolectar en cada monitoreo son muestras puntuales, integradas y compuestas (Londoño, Giraldo, & Gutiérrez, 2010):

- ✓ **Muestra puntual** la Muestra Puntual es recogida específicamente en el centro de la sección transversal para determinación de los parámetros in situ, en un momento determinado dependiendo del periodo en el que se esté pero que el cuerpo de agua este

constante en su composición. Se manejará un volumen por muestra de 2 litros para los análisis físico-químicos y microbiológicos.

- ✓ **Muestras compuestas** Se tomarán de varias muestras individuales tomadas en diferentes momentos y puntos haciendo un barrido en la sección transversal para obtener una alícuota, proporcional al flujo de caudal en el momento de su recolección
- ✓ **Muestras integradas** Es aquella que se forma de la mezcla de muestras puntuales tomadas de diferentes puntos haciendo un barrido en la sección transversal de manera simultánea en cada una de las secciones de cada estación de control.

4.7.3 Clase de Muestreo. En particular para la investigación se realizaron muestreos manuales, in situ en las cinco estaciones de control, en cada uno de los periodos muestreados. El Muestreo Manual *se realiza cuando se tienen sitios de fácil acceso o aquellos que por medio de ciertas adaptaciones puedan facilitar la toma de muestras. La ventaja de éste tipo de muestreo es permitir al encargado de tomar la muestra, observar los cambios en las características del agua en cuanto a sustancias flotantes, color, olor, aumento o disminución de caudales, entre otras.* (INS, 2011).

4.7.4 Orden del muestreo. *“Aunque la recolección de una muestra de agua parece sencilla, pueden producirse errores en la misma y necesita especial cuidado, ya que pueden surgir problemas independientemente de la técnica de muestreo utilizado. Las muestras deben satisfacer dos condiciones”* (INS, 2011). Para la presente investigación se recolectaron volúmenes de agua razonables (dos litros de agua por recipiente), pues se buscó que las muestras de agua fueran representativas de la fuente superficial de agua y en cantidad suficiente para los análisis a nivel de laboratorio.

Aquellas muestras que según protocolo requerían ser conservadas y preservadas se hacía in situ (en campo), ejemplo: variables químicas como Pesticidas e hidrocarburos con el fin de evitar alteraciones. Se manejaron concentraciones de las sustancias a determinar,

sin modificaciones entre el momento de la toma y el análisis, tal como lo sugiere el INS, 2011: “*Es esencial que el personal responsable del diseño de programas de muestreo asegure que se están tomando en cuenta y cumpliendo los requisitos de las regulaciones de seguridad pertinentes y que el personal de muestreo está informado de las precauciones necesarias que debe tomar en el desarrollo de su trabajo*”.

Previo a la toma de muestras de acuerdo al Plan de monitoreo trazado para dos muestreos según los dos periodos definidos objeto de estudio (tiempo de lluvias y tiempo seco), in situ en cada una de la Estaciones se contó con una ficha técnica de campo para el registro de resultados in situ en cuanto a las variables que se tomaban in situ y registro de demás variables y condiciones del monitoreo; pues al inicio se tomaba hora de inicio, se hacía una breve descripción del área, para luego iniciar con las actividades del monitoreo.

En primer lugar, se determinaba el caudal del cauce en cada una de las estaciones definidas mediante el método de aforo de caudales con Micromolinetete, trazando la sección transversal.

En segundo lugar, se tomaban las muestras de variables in situ en toda la mitad del área de la sección transversal del cauce, según recomendaciones dadas por el Laboratorio:

Tabla 16.

Variables in situ tomadas en el Rio Algodonal.

Parametros In situ.
Turbiedad
pH
Temperatura
Conductividad
Oxígeno Disuelto
Solidos sedimentables

Fuente. Protocolo Monitoreo de Aguas. Laboratorio de Estudios Ambientales/UPB-Bucaramanga.

Para asegurar que las variables in situ cumplieran con los requisitos de calidad para la medición, el laboratorio tiene desarrollado procedimientos de verificación y calibración de equipos y materiales.

En tercer lugar, se tomaban las muestras para las variables químicas según orden de toma de muestras dado por el Protocolo del Laboratorio de Estudios Ambientales de la UPB/Bucaramanga, el orden fue:

- ✓ Grasas y aceites
- ✓ Coliformes totales, fecales y aerobios Mesofilos
- ✓ DBO5
- ✓ DQO
- ✓ Metales
- ✓ Fenoles
- ✓ Fosfatos
- ✓ Nitratos, nitritos, sulfatos, entre otros.

Una vez finalizado el muestreo se realizaba la cadena de custodia y se procedía al proceso de preservación y conservación de las muestras según parámetros

4.7.4 Técnicas de muestreo. Los muestreos que se realizaran para la evaluación integral de la calidad del Agua del Río Algodonal son los siguientes:

Muestreo Físico se determinarían parámetros físicos organolépticos que permitieran detectar presencia de sustancias que tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas del agua, para lo cual se analizan las siguientes variables:

Tabla 17.

Variables físicas.

VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	METODO
Color Real	UPtCo	SM 2120 C
Turbiedad	UNT	SM 2130 B
Temperatura	°C	SM 2550 B
Solidos Suspendidos Totales SST	mg SST/L	SM 2540 D
Solidos Totales (ST)	mg SST/L	SM 2540 B

Muestreo Microbiológico: Recolección de muestras de agua con el objeto de analizar variables indicadoras de contaminación orgánica en el agua.

Tabla 18.

Variables microbiológicas

VARIABLES	UNIDAD DE MEDIDA	METODOS
Coliformes Totales	NMP 100/L	SM 9221 B
Coliformes Fecales - E-Coli	NMP 100/L	SM 9223 B
A. Mesófilos	NMP 100/L	SM 9215 D

Muestreo Químico: Recolección de muestras de agua con el objeto de analizar las variables químicas del agua y sustancias de interés sanitario:

Tabla 19.

Variables químicas

VARIABLE	UNIDAD MEDIDA	DE METODO LAB.
INDICADORES		
Conductividad	μS/cm	SM 2510 B
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L	SM 2320 B
pH	Por análisis químico en una escala de 0 a 14	SM 4500-H+ B
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	SM 2340 C
SUSTANCIAS QUIMICAS		
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SM 4500-O C
Fluoruros	mg F-/L	SM 4500- F C
Cloruros	mg Cl-/L	SM 4500-Cl- B
Nitratos	mg NO ₃ /L	SM 4500-NO ₃ B
Nitritos	mg NO ₂ /L	SM 4500-NO ₂ B
Nitrógeno amoniacal	mg NH ₃ /L	SM 4500-NH ₃ B, C
Tensoactivos		
DBO ₅	mg O ₂ /L	SM 5210 B, SM 4500-O C
DQO	mg O ₂ /L	SM 5220 C
Organoclorados	μg/L	EPA 3510C- EPA 8081 B -
Hidrocarburos totales	mg TPH /L	EPA 8015C
Organofosforados	μg/L	EPA 3510C- EPA 8141 B

4.8 Métodos y procedimientos

4.8.1 Plan de Monitoreo. Se preparó el plan de muestreo siguiendo el procedimiento estandarizado por el Instituto Nacional de Salud-INS-(2011) y el IDEAM , 2007.

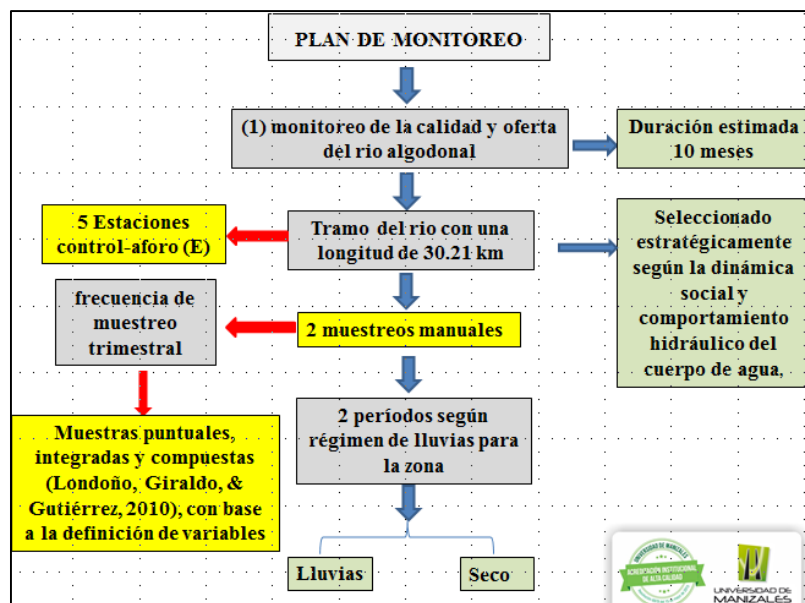


Figura 26. Esquema Plan de Monitoreo

Fuente. Laboratorio de Estudios Ambientales. Universidad Pontificia Bolivariana/Bucaramanga. 2015.

En cada uno de los muestreos realizados en cada una de las estaciones de control de aforo se realizó lo siguiente:

Medición de Caudal, se midió caudales con micromolinete o correntometro y se trazaron las secciones transversales para la determinación de áreas de cada sección.

Toma de muestras, las muestras fueron tomadas directamente en el río Algodonal luego de la realización de la medición de caudal, pues se tomaron en toda la mitad de la sección.

Medición de variables in situ, se midió inmediato los parámetros de campo OD, Conductividad, Ph, Temperatura.

Toma de variables puntuales e integradas (alícuotas) como grasas y aceites, luego coliformes, metales, fosfatos, entre otros.

4.8.2 Procedimientos para análisis de variables a nivel de laboratorio. Las variables dependientes de análisis se definieron con base a los parámetros fisicoquímicos establecidos en el Decreto N° 1594 del 1984, capítulo IV, donde se define técnicamente los criterios de calidad para fuentes superficiales con fines de destinación para consumo humano, las cuales se analizaron a nivel del del laboratorio de estudios ambientales-UPB, sede Bucarmanga. A continuación se detallan los parámetros a evaluar:

Tabla 20.

Criterios de calidad a nivel laboratorio (Ministerio de Agricultura., 1984)

REFERENCIA	EXPRESADO COMO	VALOR
NITRÓGENO AMONIACAL	N	1.0
CLORUROS	Cl ⁻	250.0
NITRITOS	NO ₂ ⁻	1.0
NITRATOS	NO ₃ ⁻	10.0
COLOR TOTAL	Color Real	75 Unidades Escala Platino Cobalto
DUREZA TOTAL	CaCO ₃	300*
ALCALINIDAD TOTAL	CaCO ₃	200
DQO	Demanda Química de O ₂	Indirecta**
DBO ₅	Demanda Biológica de O ₂ periodo de 5 días	Indirecta
OD	Oxígeno Disuelto	
PH	Unidades de pH	5.0-9.0 Unidades
SALES DISUELTAS	Peso Total	1000 micro siemens/cm
TURBIEDAD	Unidades Jackson de Turbiedad-UJT-	10
SOLIDOS TOTALES	Sólidos Totales -ST	-
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	Sólidos Suspendidos Totales -SST	-
COMPUESTOS DE METALES	-	[..]***
TENSO ACTIVOS (SAAM)	Sustancias Activas al azul de Metileno	0.5
COMPUESTOS FENÓLICOS	Fenoles	0.002
GRASAS Y ACEITES	-	Sin película flotante detectable
COLIFORMES FECALES	Unidades Formadoras de Colonia- UFC-	20.000
COLIFORMES TOTALES	UFC	2000

Fuente. Información Adaptada del decreto reglamentario, Decreto 1594 (1984) y la Resolución 2115 (2007).

*Los valores admisibles para los Parámetros de Dureza, Alcalinidad Total y Sales disueltas que se discriminan en el cuadro; si bien no aparecen dentro de los criterios de calidad admisible para la destinación del recurso Humano y Doméstico, art. 38, se han extraído de la resolución 2115 (2007) art. 3 y 7, sobre las Características Físicas-Químicas del agua para consumo Humano y que tienen efectos Indirectos sobre la salud Humana.⁹

** Los Parámetros de demanda Bioquímica de O₂ a cinco (5) días–DBO₅- y Demanda Química de O₂ –DQO- No están contemplados en el art. 38 del Decreto 1594, (1984) sobre los criterios de calidad admisible para agua de consumo Humano, pero son correlacionados a otro tipo de parámetros que sí están legislados. Por tanto, se considera su determinación para el análisis conjunto de resultados.

*** Los compuestos Metálicos a los que se refiere la norma vienen dados por la concentración de Iones de Al⁺, As⁺, Ba⁺, Be⁺, Cd⁺, Cr⁺, Fe⁺, Pb⁺, Li⁺, Hg⁺, Ni⁺, Se⁺, Ag⁺, Zn⁺, Mn⁺, Mo⁺, Co⁺. De los cuales, la mayoría de ellos se miden por Concentración Letal –CL-.

En cada uno de los muestreos de agua a realizar en el tramo definido del Río Algodonal, por periodo se realizarán aforo de caudales en cada una de las cinco Estaciones de control de agua según la metodología del IDEAM para análisis de la dinámica del agua, sus velocidades y caudales.

El método a aplicar para el aforo de caudales es Método Velocidad Área con utilización de Micromolinete marca SEBA Universal Current Meter, donde se aplicará el Protocolo para el Monitoreo y seguimiento del agua establecido por el IDEAM, donde, se

⁹Al margen de que los valores admisibles de concentración son más estrictos en la resolución 2115 (2007) sobre los valores máximo legales admisibles para el agua potable y que los mismos parámetros de los que habla la nota, no sean tenidos en cuenta como indispensables para la captación de agua con fines de consumo humano, se consideró necesario extraer la referencia para comparar resultados obtenidos de los parámetros evaluados en laboratorio.

determinarán dos (2) variables para el cálculo de los caudales: Área de la sección y Velocidad del flujo.

4.8.3 Recipientes y volúmenes de muestras. Durante los dos muestreos realizados, según plan de monitoreo definido en la metodología de la presente investigación se utilizaron diferentes tipos de recipientes, empaques y/o demás de acuerdo a las variables que se analizaron a nivel de laboratorio, de acuerdo al protocolo de procedimiento y cadena de custodia determinada por el Laboratorio de Estudios Ambientales de la Universidad Pontificia Bolivariana/Bucaramanga; en coherencia claro está con lo definido por el protocolo del IDEAM para la toma de muestras.



Figura 27. Procedimiento para envasado de muestras
Imagen tomada Martínez R., Hernández K., & Miranda R., 2016

A continuación, se detalla los recipientes y volúmenes tomados durante los dos muestreos de acuerdo a variable a analizar a nivel de laboratorio:

Recipientes de Plástico

- ✓ Recipiente de plástico (2000ml) refrigerada -6° cabeza de aire
- ✓ Recipiente de plástico (2000ml) refrigerada -6° sin cabeza de aire
- ✓ Recipiente de plástico (2000ml) preservada H₂SO₄ cabeza de aire

Empaques para las muestras para analizar variables microbiológicas

- ✓ Coliformes totales bolsa whirl pack (200ml) refrigerar -6° cabeza de aire
- ✓ Coliformes fecales bolsa whirl pack (200ml) refrigerar -6° cabeza de aire

Recipientes de Vidrio (Botella ámbar)

- ✓ Recipiente de vidrio organoclorados (1000ml) refrigerada -6° cabeza de aire
- ✓ Recipiente de vidrio organofosforados (1000ml) refrigerada -6° cabeza de aire
- ✓ Recipiente de vidrio carbamatos (1000ml) refrigerada -6° cabeza de aire

Botella transparente

- ✓ Recipiente de vidrio boca ancha hidrocarburos (1000ml) preservada H₂SO₄ o HCl - cabeza de aire
- ✓ Recipiente de vidrio boca ancha tensoactivos (1000ml) refrigerada -6° cabeza de aire
- ✓ Recipiente de vidrio boca ancha grasas y aceites(1000ml) preservada H₂SO₄ cabeza de aire

Nota: todos los recipientes y bolsas se rotularon debidamente (IDEAM., 2007) para enviar a laboratorio. De hecho, todas las muestras tomadas se identificaron con Stickers (rótulos adhesivos), que contenía por ejemplo la siguiente información básica:

Tabla 21.

Información de los rótulos de las muestras.

Ubicación.
Nombre de la fuente
Tipo de muestra
Fecha y hora
Parámetro
Preservación
Observaciones
Responsables

Fuente. Miranda R., 2016

El rotulo utilizado para la marcación de las muestras fue:

Tabla 22.

Stickers para la marcación de la muestra de agua.

Fecha:		Hora:
Empresa:		
Ciudad/Dpto.:		
Tipo de Muestra:		
Puntual	Compuesta	Integrada
Tipo de Preservación:		
Refrigeración	H₂SO₄	HNO₃
Tiosulfato		
Punto de Muestreo:		
Responsable:		

Fuente. Laboratorio de Estudios Ambientales de la UPB/Bucaramanga, 2016.

4.9 Toma de muestras, preparación, conservación y transporte

Muestras microbiológicas

Se tomaron las muestras in situ con bolsas de Whirpack para Coliformes totales, Coliformes fecales E. Coli., y A. Mesofilos en cada una de las estaciones de control por muestreo.

Una vez tomadas la muestra se realizó la correspondiente cadena de custodia para y se realizó el procedimiento para la preservación de las mismas, pues estas se mantuvieron refrigeradas en recipientes cavas de material de Icopor, las cuales contenían placas refrigerantes mientras se finalizaba el monitoreo y fueran recepcionadas en el laboratorio.



Figura 28. Cadena de Custodia para la preservación y conservación de las muestras

Fuente: Imagen tomada Martínez R., Hernández K., & Miranda R., 2016

4.9.1 Método de preservación y conservación de muestras. *Cuando transcurre mucho tiempo entre la toma de la muestra y el análisis en el laboratorio, pueden ocurrir reacciones químicas, físicas o biológicas que alteran los resultados o valores de ciertos parámetros, por ejemplo, la DBO, el NMP de Coliformes (Sierra, 2011).* Esta situación se debe evitar con el fin de garantizar la calidad y genuinidad de la muestra por tanto es necesario bajo criterio técnico realizar la preservación y conservación de las muestras de acuerdo a la propiedad del parámetro.

En el proceso de recolección de las muestras se buscó que los puntos donde se tomaran existiera una mezcla homogénea del agua, evitando vertederos; tomadas unas en el centro de la sección transversal del cauce y otras se tomaron haciendo un barrido para la conformación de las muestras integradas, es decir las alícuotas.

Las muestras se almacenaron en recipientes de plástico y de vidrio de acuerdo al parámetro a estimar, y para el caso de Coliformes se recolección en las bolsas de Whirl pack.

Todas las muestras se mantuvieron refrigeradas hasta su posterior recepción en el laboratorio, tal como lo afirma Sierra, 2011: *“las muestras se pueden preservar refrigerando*

los recipientes en neveras portátiles o con hielo, añadiendo soluciones ácidas, etc”.

Además, se tomaron los volúmenes necesarios de acuerdo al parámetro a analizar según el protocolo del laboratorio. Se buscó evitar puntos sinuosos en el río.

La forma o procedimiento para preservar las muestras depende de varios factores, entre ellos, el tipo de parámetro por analizar, el tiempo entre la toma de la muestra y el análisis en el laboratorio, las características del agua, entre otros.

Para esta investigación todas las muestras fueron preservadas y conservadas adecuadamente con el fin de garantizar la integridad de las mismas.

Para tal fin el proceso de preservación por parámetro se relaciona en la siguiente tabla:

Tabla 23.

Preservación de muestras.

parámetro	Tipo de recipiente	Volumen de la muestra (ml)	Cabeza de aire	Tipo de muestra		Tiempo Max. De almacenamiento (horas)	preservación
Acidez	Plástico o vidrio	100	no	x		24	Refrigerada a temperatura menor/o igual a 6 °C
alcalinidad	Plástico o vidrio	200	no	x		24	Refrigerada a temperatura menor/o igual a 6 °C
Aceites y grasas	Vidrio boca-ancha, colocar papel aluminio antes de tapar	1000	si	x		28	Adicionar HCL, o H2SO4 HASTA Ph menor de 2 Refrigerada a temperatura menor/o igual a 6 °C
Color	Plástico o vidrio	500	si	x	x	48	Refrigerada a temperatura menor/o igual a 6 °C

DBO5	Plástico o vidrio	1000	NO	X	X	6		Refrigerada a temperatura menor/o igual a 6 °C
DQO	Plástico o vidrio	100	SI	X	X	7		H2SO4 HASTA Ph menor de 2 Refrigerada a temperatura menor/o igual a 6 °C
Dureza	Plástico o vidrio	100	si	x	x	6		H2SO4 o HNO3 HASTA Ph menor de 2
Nitrógeno amoniacal	Plástico o vidrio	500	si	x	x	7		H2SO4 HASTA Ph menor de 2 Refrigerada a temperatura menor/o igual a 6 °C
Nitratos	Plástico o vidrio	100	si	x	x	48		Refrigerada a temperatura menor/o igual a 6 °C
Nitritos	Plástico o vidrio	100	si	x	x	No debe almacenarse		Refrigerada a temperatura menor/o igual a 6 °C
metales	Plástico o vidrio	1000	si	x	x	6 meses		HNO3 hasta Ph menor de 2
plaguicidas	Botellas de vidrio ámbar y tapa metálica	1000	si	x	x	7		Refrigerada a temperatura menor/o igual a 6 °C, adicionar 1 gr de ácido ascórbico/l
Detergentes	Plástico o vidrio	250	si	x	x	48		Refrigerada a temperatura menor/o igual a 6 °C
Fenoles	Botellas de vidrio ámbar y tapa metálica	500	si	x	x	Preferiblemente refrigerar durante su almacenamiento y analice lo más pronto posible		H2SO4 HASTA Ph menor de 2 Refrigerada a temperatura menor/o igual a 6 °C
OD	VIDRIO O BOTEL	300	NO	X		0.25 U 8 horas si se ha acidificado		ANALICE INMEDIATAMENTE O TITULE

	LA WINKL ER					para titulación	su	SI ACIDIFICO	SE
pH	VIDRIO O PLASTI CO	50	si	x		0.25 horas		Analice inmediato	
Fosfato	Vidrio lavado con HNO3 1:1	100	SI	X		48		Filtre inmediato Refrigerada a temperatura menor/o igual a 6 °C	
Fosforo total	Plástico o vidrio	100	si	x	x	28		Adicione H2SO4 HASTA Ph menor de 2 Refrigerada a temperatura menor/o igual a 6 °C	
Solidos totales	Plástico o vidrio	200	si	x	x	7		Refrigerada a temperatura menor/o igual a 6 °C	
Solidos disueltos	Plástico o vidrio	200	si	x	x	7		Refrigerada a temperatura menor/o igual a 6 °C	
Sulfatos	Plástico o vidrio	100	si	x	x	28		Refrigerada a temperatura menor/o igual a 6 °C	
Conductivi dad	-	in	si	x		Analizar inmediato	de	Refrigerada a temperatura menor/o igual a 6 °C	
Coliformes totales	Vidrio esteriliza do o bolsa WHIRL PACK	100	SI	X		6		Refrigerada a temperatura menor/o igual a 6 °C	
Coliformes fecales	Vidrio	100	SI	X		6		Refrigerada a temperatura menor/o igual a 6 °C	
Sulfuros	Plástico o vidrio	100	no	x	x	28 días		Agregar 4 gotas de acetato de zinc 2 normal/100 ml	

						Agregar NaOH hasta pH mayor de 9 Refrigerada a temperatura menor/o igual a 6 °C
Temperatura	Plástico o vidrio	-	x			Analice el mismo día
turbidez	Plástico o vidrio	100		x	x	Analice el mismo día, almacene en la oscuridad no más de 24 horas Refrigerada a temperatura menor/o igual a 6 °C

Fuente. Laboratorio de Estudios Ambientales. Universidad Pontificia Bolivariana/Bucaramanga. 2015.

Los criterios de calidad determinados para esta investigación de acuerdo a los límites permisibles estandarizados desde el orden local e internacional fueron:

Tabla 24.

Comparación Niveles Máximos Permisibles

PARÁMETROS ¹⁰	EXPRESADO S COMO	LÍMITES PERMISIBLES	
		Norma Nacional (mg/l)	Guidelines for Drinking Water Quality OMS (1996)
Oxígeno Disuelto	OD	5,0	---
Demanda Bioquímica O₂	DBO	5,0	No Hay Directriz
Demanda Química O₂	DQO	25,0	No Hay Directriz

¹⁰ Nota Informativa: ⁵ Cuando nitrato y nitrito están presentes, la suma de las dos concentraciones no debe exceder 10 mg/L.

¹⁰ Turbiedad promedio para una efectiva desinfección: = 1 UNT. Muestra simple: = 5 UNT.

¹⁵ Se aplica cuando más de un plaguicida considerado en las guías de calidad están presentes en el agua

Sólidos Suspendidos Totales	SST	1000	1000
Nitratos	NO	10.0	50 ⁵
Nitritos	NO	1.0	3
PH	Unidades	5-9 unidades	6,5-8,5
Temperatura	°C	Ausente	
Turbiedad	NTU		5 ¹⁰
Coliformes totales	NMP	20.000 microorganismos/100m l	0
Coliformes fecales	NMP	2.000 microorganismos/100m l	0
Alcalinidad	mg/l (CaCO ₃)	100	No hay Directriz
Dureza Total	mgO ₂ /L	169	500
Carbamatos	Ppb	---	---- ¹⁵
Organoclorados	mg/L	---	----
Órgano-fosforados	µg/l	---	2
Hidrocarburos Totales	mg/ C ₆ H ₆	0	0
Grasas y Aceites	mg/L (material Extraíble del Hexano)	MEH 0	0

4.10 Tratamiento y Análisis de la información

El tratamiento dado a la información cuantitativa de carácter matemático y estadístico correlacional que permitió la interpretación y análisis de la información primaria obtenida de los resultados de las variables fisicoquímicas y microbiológicas del agua y los índices de calidad, a partir de la fundamentación teórica, a fin de realizar un análisis comparativo de los resultados de las variables para realizar un comparativo frente a los estándares permisibles de calidad del agua, tanto del orden nacional como lineamiento del orden internacional que aplica a calidad de agua y oferta, que permita una evaluación integral del agua de forma disgregada.

Con los resultados de laboratorio se determinaron los índices de contaminación propuestos por Ramírez y Viña (1998-1999), a través del software de código libre denominado ICATEST V1.0 Fernández et al., (2004) bajo la metodología del IDEAM y Metodología Calidad del agua, evaluación y diagnóstico (Sierra, 2011); *Como fueron: ICOMI (Índice de Contaminación Por mineralización); ICOSUS (Índice de Contaminación por Sólidos suspendidos), ICOpH (Índice de Contaminación por pH), ICOMO (índice de contaminación por Materia Orgánica). Se determinó en forma manual; e ICOTEMP (índice de contaminación por temperatura)* (Martinez & Hernandez, 2016). Los resultados de los índices se compraron 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 de contaminación identificadas con un tipo de color.

A cada conjunto de datos se realizaron análisis estadísticos descriptivos para conocer las medidas de tendencia central y las medidas de variabilidad. 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.

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 y presentar los valores atípicos del muestreo. Los análisis estadísticos fueron realizados Utilizando los paquetes de Software estadísticos PAST ® versión 3.13 y SPSS Versión 23 (Martinez & Hernandez, 2016).

Es común que en los diagnósticos de la calidad del agua sea necesario establecer la relación entre dos o más variables. Para determinar dicha relación los métodos más importantes son la correlación y los análisis de regresión. Aunque las dos técnicas están estrechamente relacionadas, ellas se usan con diferentes propósitos y a menudo son

confundidas (Sierra, 2011). En lo que concierne al análisis correlacional se caracteriza por ser múltiple, ya que se trabajará con las diferentes variables físico químicas y microbiológicas de calidad del agua y oferta superficial del agua (caudales en tiempo seco y en de lluvias), donde se tomarán los resultados por variable por muestreo para realizar un cuadro comparativo, donde se establezcan las fluctuaciones de las variables por medio de coeficientes de correlación que determine la covariación, y de esta manera evaluar la calidad del agua.

La correlación se realizará por observación natural (observación in situ) y por análisis de la información tanto primaria como secundaria. El análisis estadístico se realizará con el manejo de software estadístico de código libre. A continuación, se ilustra esquema resumen del proceso para el análisis de la información:

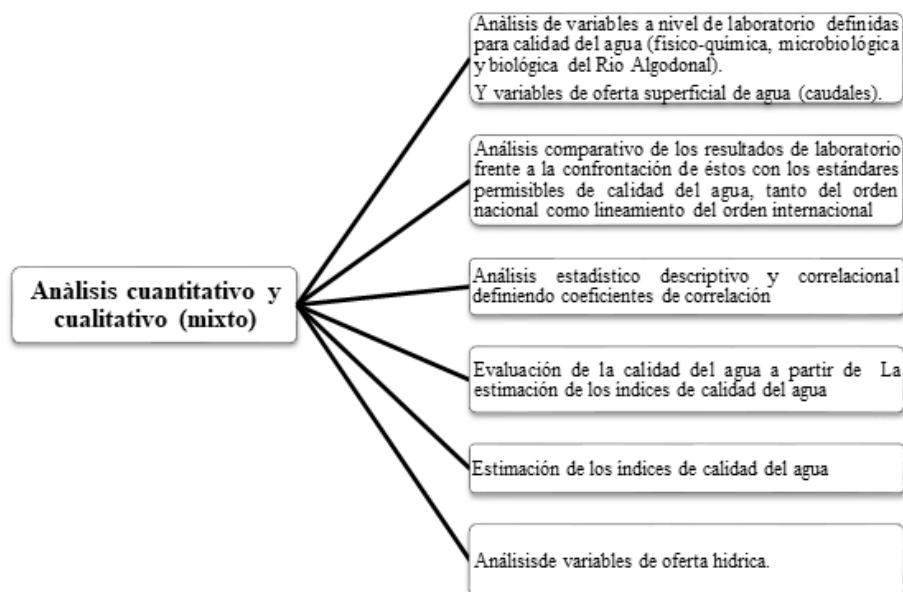


Figura 29. Esquema Resumen Análisis de la información

Fuente: Elaboración propia

4.10.1 Triangulación de la Información. De acuerdo al diseño metodológico de investigación propuesto para el logro de los objetivos trazados de esta investigación fue necesario de la triangulación de la información tanto primaria como secundaria para la

validación teórica y técnica del conocimiento generado mediante la presente investigación con el fin de comprobar la hipótesis, y para el alcance de los objetivos. Mediante la triangulación permitió el tratamiento de la información, análisis, evaluación y sistematización tal como se evidencia en el siguiente esquema ilustrativo:

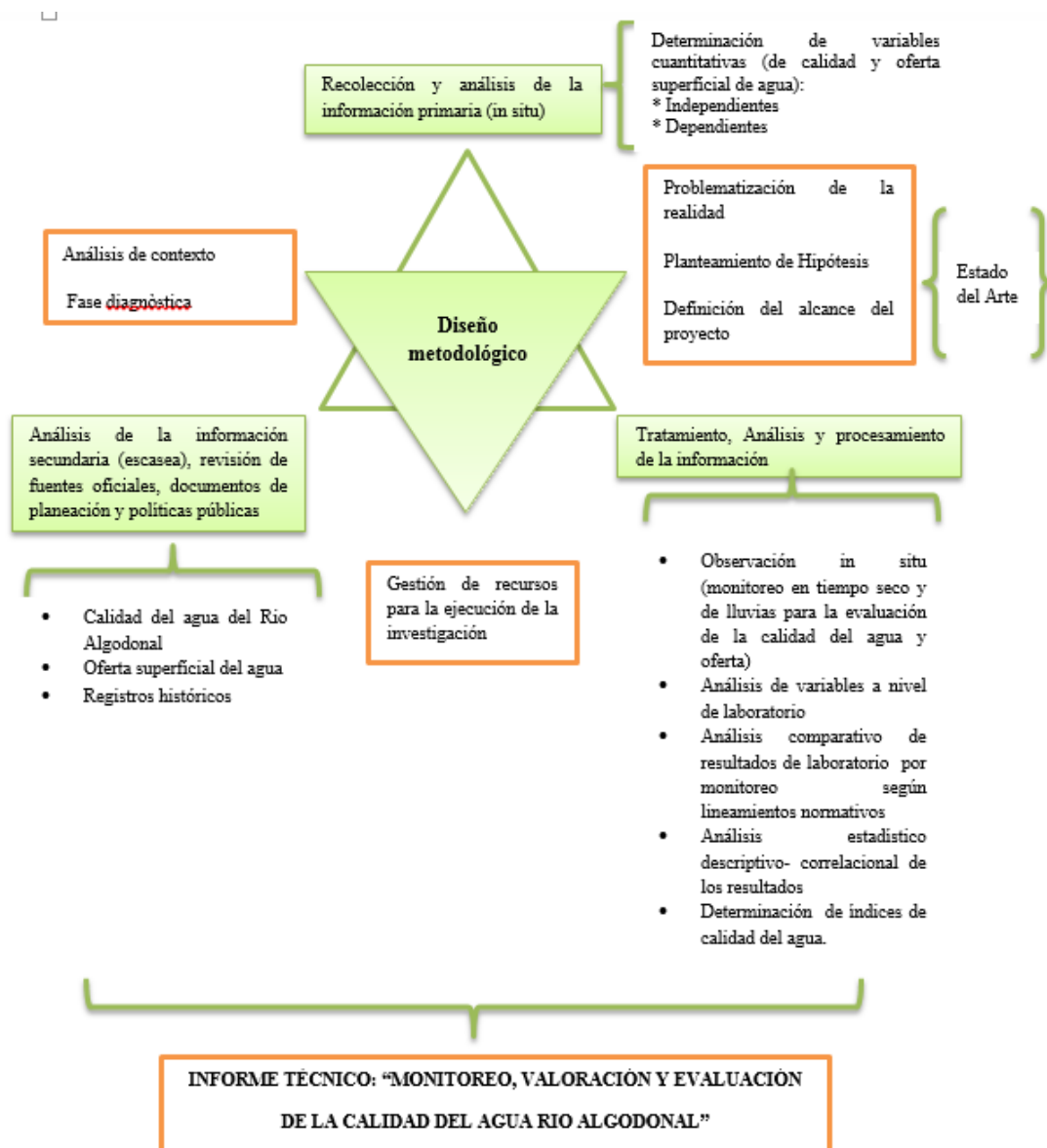


Figura 30. Esquema Ilustrativo Triangulación de la información

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la triangulación de la información para cada conjunto de resultados físicoquímicos y microbiológicos se realizó análisis estadísticos de carácter descriptivo, a

fin de observar el comportamiento de las medidas de tendencia central y de variación, esto es la desviación estándar y Varianza de los resultados analizados. Seguidamente 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 (Ramirez & Hernandez, 2016).

Para el caso de los resultados de los análisis microbiológicos uso la representación de Diagramas de cajas y bigotes que busco generar la representación gráfica de la tendencia de agrupación del 25%, 50% y 75% de la serie de datos analizados para interpretar la desviación de los datos. Además de evidenciar valores atípicos. Los análisis estadísticos fueron realizados Utilizando los paquetes de Software estadísticos PAST ® versión 3.13 y SPSS Versión 23.

5. Resultados

5.1 Análisis de la oferta superficial tramo (30.27 km) río algodonal

Variables Caudal Río Algodonal

La serie de resultados de caudales determinados durante el estudio en los dos periodos analizados del plan de Monitoreo en cada una de las estaciones de control-aforo (E), fueron:

Tabla 25.

Resultados de Caudales Río Algodonal en tiempo de Lluvias en las Estaciones de control (E)

Estaciones	Método de Aforo	Caudal (m³/s)
1	Molinete	1,009
2	Molinete	0,773
3	Molinete	1,080
4	Molinete	2,375
5	Molinete	2,711
Media Aritmética		1,5896

Fuente. Grupo de Investigación en Asuntos Ambientales y Desarrollo Sostenible Mindala
Elaboro. Ramírez, R.; Hernández, K.; & Miranda, R., 2016

Tabla 26.

Resumen de caudales en tiempo seco

Punto	Método de Aforo	Caudal (m³/s)
1	Molinete	0,555
2	Molinete	0,686
3	Molinete	0,99
4	Molinete	1,74
5	Molinete	1,72
Media Aritmética		1,138

Fuente. Grupo de Investigación en Asuntos Ambientales y Desarrollo Sostenible Mindala

En la determinación de caudales se trazó secciones transversales en cada una de las estaciones de control con el fin de calcular el área de la sección, a continuación se detallan ciertas secciones trazadas en tiempo lluvioso:

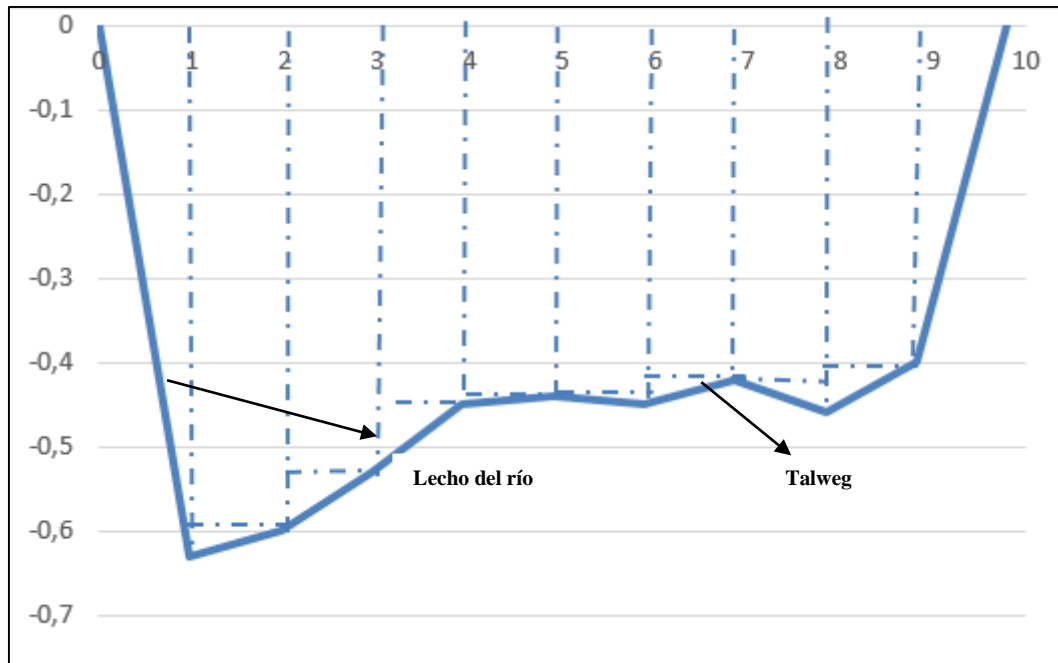


Figura 31. Perfil de secciones transversales trazados en el tramo del Río Algodonal, E1.
Fuente. Grupo de Investigación en Asuntos Ambientales y Desarrollo sostenible Mindala, 2016.

Elaboró. Casadiegos S., Ortiz S., & Miranda R., 2016.

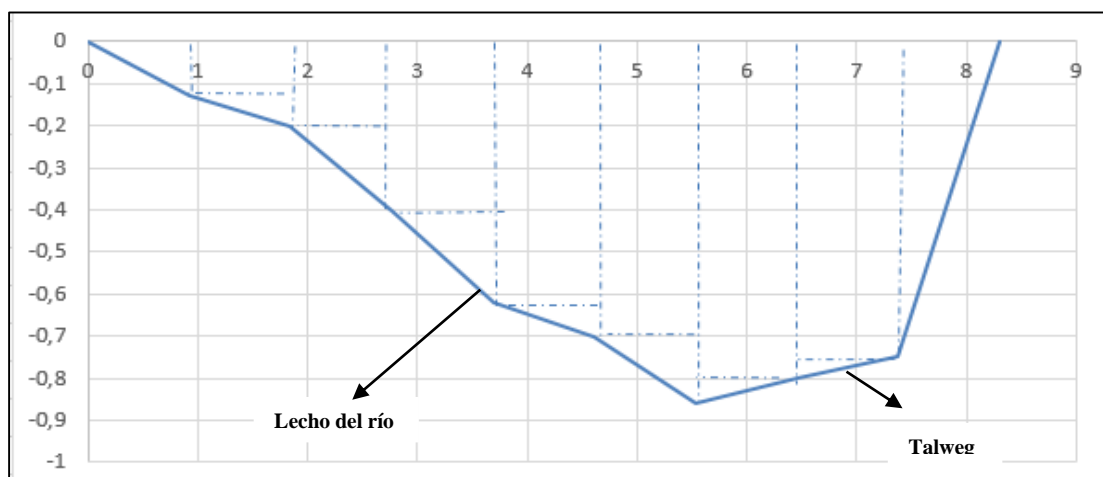


Figura 32. Perfil de secciones transversales trazados en el tramo del Río Algodonal E5
Fuente. Grupo de Investigación en Asuntos Ambientales y Desarrollo sostenible Mindala, 2016.

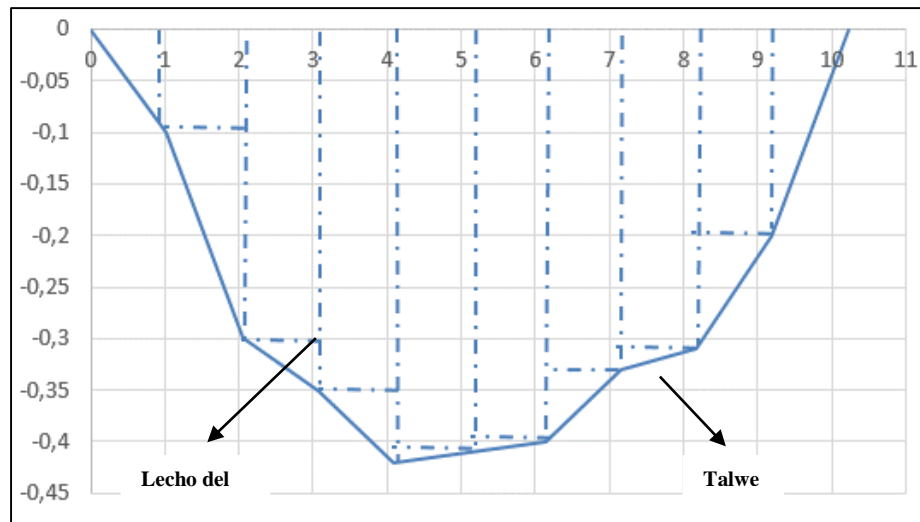


Figura 33. Sección transversal del E1.

Fuente. Grupo de Investigación en Asuntos Ambientales y Desarrollo sostenible Mindala, 2016.

Elaboró. Casadiegos S., Ortiz S., & Miranda R., 2016.

En este sentido una vez calculada área de las secciones y velocidades del flujo de agua se estimaron los caudales. Resultados de caudales que permitieron ser analizados estadísticamente para determinar caudal Mínimo (Q_m), Caudal Máximo ($Q_{máx.}$) Y Caudal medio (Q_{medio}) del tramo analizado en el Rio Algodonal:

Tabla 27.

Análisis estadísticos resultados de caudales en los dos periodos analizados.

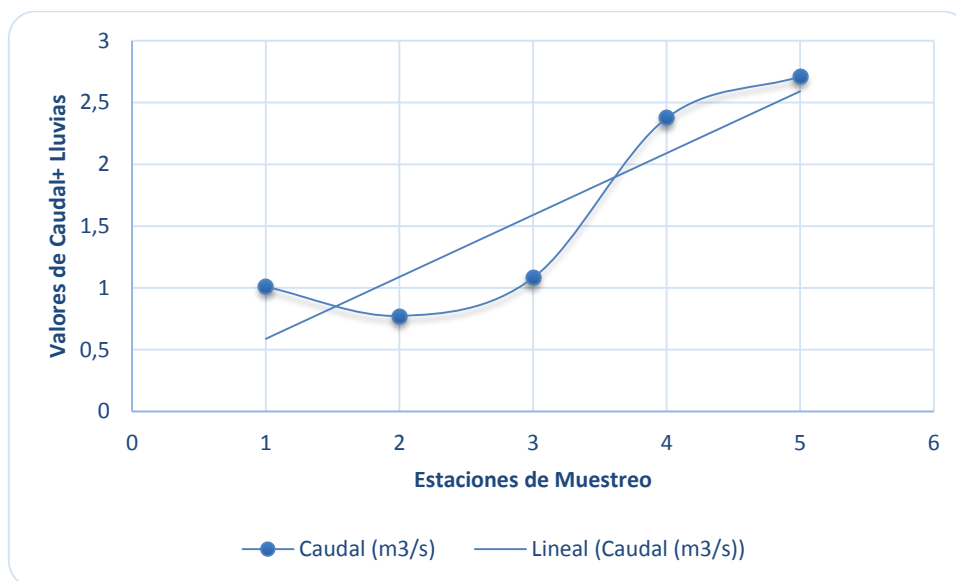
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Varianza
Valores de Caudales (m³/s)	10	,555	2,711	1,36390	0,738967	0,546

Fuente. Grupo de Investigación en Asuntos Ambientales y Desarrollo Sostenible Mindala
Elaboro. Ramírez, R.; Hernández, K., 2016.

De acuerdo a los resultados del análisis estadístico arrojo la siguiente representación gráfica de dispersión de los diferentes datos de caudales en cada estación en los dos periodos analizados:

Tabla 28.

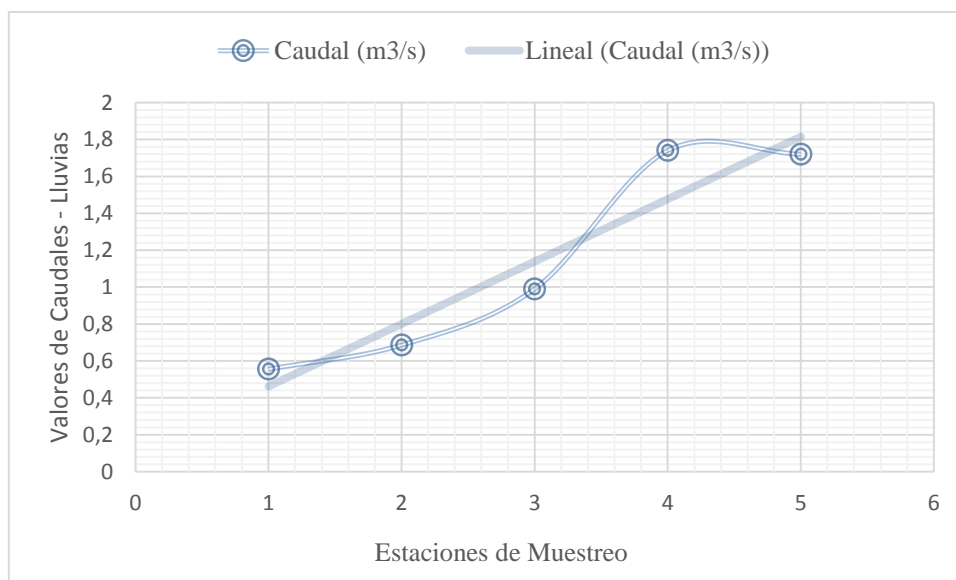
Curva de dispersión para los caudales medidos en las cinco estaciones de más lluvia.



Fuente. Grupo de Investigación en Asuntos Ambientales y Desarrollo Sostenible Mindala
Elaboro. Ramírez, R.; Hernández, K., 2016.

Tabla 29.

Curva de Dispersión para los caudales medidos en las cinco estaciones en periodo de menos lluvias.



Fuente. Grupo de Investigación en Asuntos Ambientales y Desarrollo Sostenible Mindala
Elaboro. Ramírez, R.; Hernández, K., 2016.

Se realizaron aforos de caudales en los dos periodos definidos para la investigación, pues se midieron en el mes de abril y junio de 2016 en las cinco estaciones definidas. *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 (Ramirez & Hernandez, 2016) .*

La variación de caudales se debió a los resultados atípicos de caudales durante el mes de abril debido a la variabilidad climática presentada en su momento, a comparación con años atrás donde el mes de abril es el mes más lluvioso para esta zona, pues años atrás se contaban con una mayor registro de lluvias y por supuesto una mayor oferta superficial como es el caso de 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 m^3/s para las estaciones E1, E4 y E5 (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 m^3/s durante el periodo de más lluvias de 2016 respecto a la misma época (16-29 abril) en 2008.

5.2 Descripción organoléptica del agua del río algodonal

El aspecto organoléptico del tramo estudiado varió en cada estación de control (E) de acuerdo a los diferentes factores externos que de algún u otro modo alteran la composición fisicoquímica y microbiológica del río, a continuación se detalla por estación:

Estación N°1 “Punto de Confluencia Rio Frio y Rio Oroque, las Ajuntas, vereda el Hoyo, municipio de Abrego, Norte de Santander”. El agua presenta un color aparente amarillo derivado de la turbidez que aporta río Oroque, quizá debido al contacto con el detritus orgánico como hojas y madera en diversos estados de descomposición que estuvieron presentes en las márgenes del río. El color aparente café es debido a la presencia de la especie 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. El agua en este punto es in-olor.

Estación N°2 “Aguas arriba de la Laguna de Oxidación, municipio de Abrego, Norte de Santander”. En este punto visualmente se describe un color aparente café amarilloso en tiempo seco con un color característico a pescado que posiblemente provino de la presencia de una clase de algas *Clorophyceae*; 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*”. De hecho para esa temporada se presentaron unas lluvias atípicas que posiblemente provocaron oxigenación del flujo y la activación de bacterias del género Coliformes que son útiles para destruir la materia orgánica en procesos biológicos.

Estación N°3 Punto Aguas debajo de la Laguna de Oxidación, municipio de Abrego, Norte de Santander. Predomino el mismo color aparente descrito en la estación N°2, pero con la característica que el olor desapareció gracias a que el río es meandro y sinuoso en ese punto, lo que permitió que este se oxigenara. Se evidencio en los bordes de la sección 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 N°4 “Aguas abajo del Corregimiento la Ermita, municipio de Ocaña, Norte de Santander”. Aquí se evidencio la 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 N°5 “punto la Cabaña, municipio de Ocaña, Norte de Santander. En este punto el agua corre con mayor velocidad y hay mayor presencia de material rocoso, el agua es de un color café claro, por lo agregados de detritos orgánicos, totalmente 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.

5.3 Análisis fisicoquímico del río algodonal tramo objeto de estudio

Conforme a los resultados arrojados a nivel de laboratorio de los parámetros fisicoquímicos del agua se realizó un análisis comparativo tanto en los arrojados en tiempo seco como en tiempo de lluvias en cada una de las cinco estaciones definidas. A continuación se detalla un resumen de los resultados evaluados:

Tabla 30.

Resultados Parámetros fisicoquímico y microbiológicos.

Submuestreos		Muestreo en Temporada Lluvias					Muestreo en Temporada seca				
		03-abr-16					16-Junio-2016				
Parámetro	Unidad	ES T-1	ES T-2	ES T-3	ES T-4	ES T-5	ES T-1	ES T-2	ES T-3	ES T-4	ES T-5
Análisis in situ											
Caudal	m ³ /s	1,0 09	0,7 73	1,0 8	2,3 75	2,7 11	0,5 55	0,6 86	0,9 9	1,7 4	1,7 2
oxígeno Disuelto	mg/L	8,3 5	8,2 0	7,7 0	7,9 0	7,8 5	7,6	6,9	6,3	6,4	6,4
Temperatura del Ambiente	°C	28	28, 5	23	26, 7	26, 5	26, 6	25, 2	28	23, 5	25, 3
Temperatura del agua	°C	22, 7	24, 5	26, 5	25, 7	26, 5	20, 9	25, 5	26, 6	25	26
Análisis de Laboratorio											
1. Análisis Físico-Químicos											
Alcalinidad total	MgCaCO ₃ /L	35. 5	40. 8	40. 0	47. 5	38, 5	40	40, 5	40	47	40, 7
aluminio	mg Al/L	2,3 1	2,1 3	1,9 6	2,3 6	1,9 5	1,6 7	1,6 3	2,1 5	1,1 5	1,0 9
Carbamatos	µg/L	<0, 5	<0, 5	<0, 5	<0, 5	<0, 5	<0, 5	<0, 5	<0, 5	<0, 5	<0, 5
Color real	UPtCo	13	16	15	26	14	12	14	16	18	26
conductividad	µS/cm	66, 7	67, 2	67, 5	67, 3	79, 1	42, 3	40, 5	42, 5	47, 5	40, 5

Cloro	mg Cl ₂ /L	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cloruros	mg Cl ⁻ /L	15,9	14,5	10,5	15,7	14,2	7,0	7,0	3,5	3,5	3,5
DBO₅	mg O ₂ /L	1,65	1,77	1,75	1,77	1,85	0,69	0,15	0,13	0,78	0,42
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	8,7	4,7	3,5	17,5	5,5	45,5	47,5	45,5	45,5	60,5
DQO	mg O ₂ /L	4,3	4,15	3,69	7,25	8,65	7,25	13,5	12,93	14,67	7,60
Fluoruros	mg F ⁻ /L	8,7	7,5	3,5	17,5	5,5	8,5	7,7	5,5	4,8	4,5
Grasas y aceites	mg GyA/L	1,6	2,7	1,2	4,8	4,6	5,75	4,87	5,5	3,5	2,87
Hidrocarburos totales	mg TPH/L	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Nitratos	mg NO ₃ /L	1,84	1,85	1,77	2,75	2,47	1,29	1,27	1,26	1,28	2,86
Nitritos	mg NO ₂ /L	0,01	0,015	0,012	0,009	0,002	0,032	0,034	0,048	0,055	0,056
Nitrógeno amoniacal	mg NH ₃ -N/L	2,8	2,8	3,7	2,7	2,8	1,12	2,24	2,24	2,28	0,56
Organoclorados	µg/L	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Organofosforado	µg/L	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,003	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Ortofosfatos	mg PO ₄ /L	0,17	0,17	0,15	0,23	0,19	0,15	0,17	0,15	0,18	0,15
PH y temperatura	unidades de pH/°C	7,18	7,23	7,30	7,42	7,26	7,66	6,9	6,3	6,5	6,4
Solidos suspendidos totales	mg SST/L	42,4	38,3	31,3	42,4	20,1	4,0	5,0	4,0	4,0	2,0
Solidos totales	mg SST/L	112	90	97	88	105	68	70	88	75	88
Solidos disueltos	mg SST/L	69,6	68,7	65,7	74,5	84,9	44,3	39,56	42,5	52,7	40,6
Sulfatos	mg SO ₄ ²⁻ /L	8,48	7,85	7,93	7,85	7,95	8,45	7,80	7,85	7,80	7,87
Tensoactivos	mg SAAM/L	0,05	0,08	0,07	0,08	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,04
Turbiedad	NTU	68	70	64	65	54	26,8	27,7	28,9	29,5	32,4

2. Análisis Bacteriológicos¹¹

¹¹ 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.

Recuento Coliformes Totales	NMP/100 mL	540	250	700	350	160	>11	>11	>11	>11	>11
Recuento <i>E. coli</i>	NMP/100 mL	790	750	700	330	130	>11	>11	>11	>11	>11

Fuente. Laboratorio de Estudios Ambientales de la Universidad Pontificia Bolivariana/Bucaramanga, 2016.

Elaboró Ramírez, R. & Hernández, K.; 2016¹².

Conforme a los resultados arrojados de cada uno de los parámetros analizados a nivel de laboratorio se realizó un análisis detallado con la serie de datos con el fin de determinar rangos mínimos, medios y máximos por parámetro con sus correspondientes variaciones. A continuación se presenta el análisis estadístico de los resultados fisicoquímicos y microbiológicos arrojados en la investigación:

Tabla 31.

Resumen de análisis estadístico de resultados de parámetros.

	Rango	Mínimo	Máximo	Media		Desviación estándar	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error estándar	Estadístico	Estadístico
Oxígeno Disuelto	2,05	6,3	8,35	7,36	0,24875	0,78662	0,619
Temperatura del Agua (°C)	5,7	20,9	26,6	24,99	0,5883	1,8604	3,461
Unidades de pH	1,3	6,3	7,6	7,009	0,14486	0,45807	0,21

¹²La tabla muestra la relación en los resultados de concentración de parámetros fisicoquímicos, Bacteriológicos y de metales evaluados en cinco (5) tramos del río algodónal 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.

Alcalinidad	12	35,5	47,5	41,05	1,1455	3,6225	13,123
Aluminio	1,27	1,09	2,36	1,84	0,1418	0,4484	0,201
Color Real en el Agua	14	12	26	17	1,5916	5,0332	25,333
Conductividad	38,6	40,5	79,1	56,11	4,662	14,7424	217,339
Cloro	0	0	0	0	0	0	0
Cloruros	12,355	3,545	15,9	9,5835	1,6584 43	5,24445 7	27,504
Dureza Total	56,5	3,5	60	28,34	7,0212	22,2029	492,969
DBO₅	1,72	0,13	1,85	1,096	0,2300 1	0,72736	0,529
DOC	10,98	3,69	14,67	8,411	1,2845 5	4,06212	16,501
Fluoruros	14	3,5	17,5	8,64	1,5723	4,972	24,72
Grasas y Aceites	4,55	1,2	5,75	4,032	0,5081 5	1,6069	2,582
Nitratos	1,6	1,26	2,86	1,864	0,1983 8	0,62734	0,394
Nitritos	0,146	0,01	0,156	0,0472	0,0143 51	0,04538 2	0,002
Nitrógeno Amoniacal	3,14	0,56	3,7	2,252	0,2803 4	0,8865	0,786
Ortofosfatos (0,08	0,15	0,23	0,171	0,0079 5	0,02514	0,001
Sólidos Suspendidos Totales	40,4	2	42,4	19,343	5,5559	17,5694	308,683
Sólidos Totales	44	68	112	88,1	4,5251	14,3097	204,767
Sólidos Disueltos	45,3	39,6	84,9	58,306	5,1662	16,337	266,899
Turbiedad (NTU)	43,2	26,8	70	46,63	6,0168	19,0268	362,02

Fuente. Grupo de Investigación en Asuntos Ambientales y Desarrollo Sostenible Mindala, 2016.

De acuerdo al análisis estadístico se obtuvieron las siguientes representaciones gráficas de resultados producto de la interpolación de los resultados en cada periodo analizado, por cada estación por cada parámetro fisicoquímico del agua del rio Algodonal:

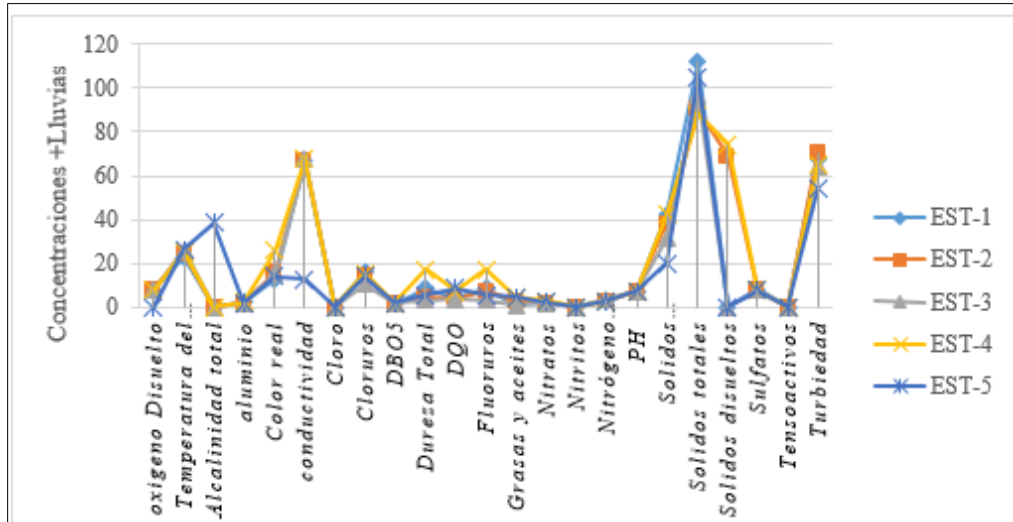


Figura 34. Resultados físico-químicos evaluados en las cinco estaciones para temporada de lluvia.

Fuente. Grupo de Investigación en Asuntos Ambientales y Desarrollo Sostenible Mindala, 2016.

Elaboro. Martínez, R. & Hernández K., 2016.

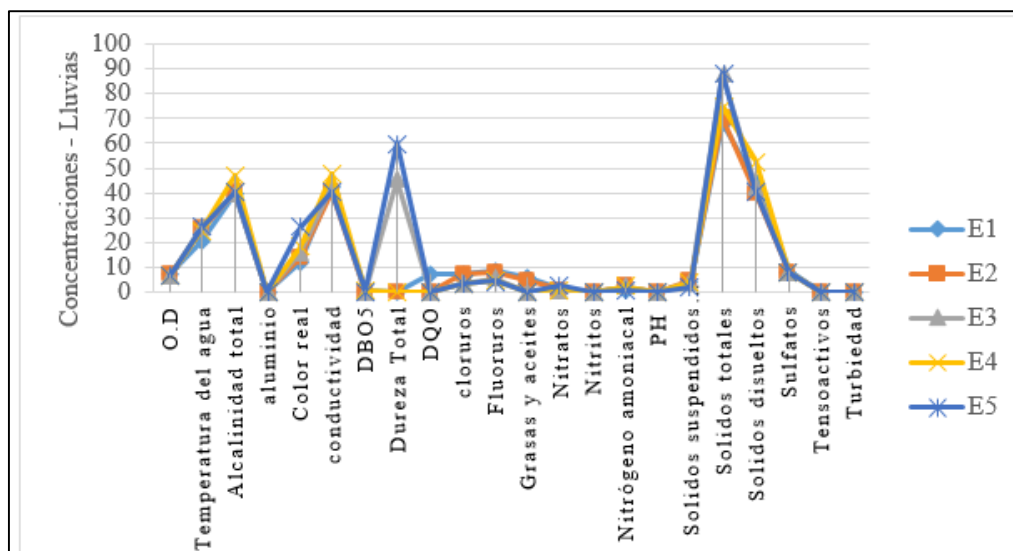


Figura 35. Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en temporada seca

Fuente. Grupo de Investigación en Asuntos Ambientales y Desarrollo Sostenible Mindala, 2016.

Elaboro. Martínez, R. & Hernández K., 2016.

Con base en la información estadística observada en la tabla N° 36 y el comportamiento general de las variables a lo largo de las estaciones monitoreadas en los periodos tanto de lluvias como seco, se evidencia que el parámetro “temperatura del agua” presento variaciones que oscilo entre 20.9 °C y 26.6 °C, donde se registró un valor máximo en la Estación N°1, en el periodo seco. Mientras que el pH no presentó variación de acuerdo al resultado arrojado por la varianza, que fue de 0.21, pues registro valores mínimos y máximos en el periodo de lluvias, donde los resultados estuvieron entre 6.3 en la E3 y 7.6 en la E1. Lo que significa que aun en el periodo seco, donde se espera mayor incidencia de la ionización en el agua, los parámetros evaluados no presentaron acidez; debido a la contaminación por mineralización, de hecho se mantienen los procesos bioecológicos eficientes.

En lo que respecta a la conductividad se presentó valores más altos en la E5 (estación la cabaña), arrojando valores de 79.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y con valores más bajos en la E2 con 40.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, resultados propios de ríos de montaña según Cantera Kindz, et al, (2009).

Mientras que los Sólidos Suspendidos Totales (SST) fue el parametro que presentó una alta variacion entre las estaciones, con valores comprendidos entre 2.0 mg SST/L registrados en la E5 y 42.4 mg SST/L tanto en la E1 como el E5. Sin embargo estos resultados se consideran dentro de lo normal de acuerdo con la ubicación altitudinal de las estaciones E1 y E5, pues allí se detectó valores altos de conductividad y de sólidos Totales debido al arrastre y acumulación de sedimentos.

En cuanto al parámetro Dureza se presentó un el valor máximo de 60 mg CaCO_3/L en la E5 y un valor mínimo de 3.5 mg CaCO_3/L en la E3. Lo que permite clasificar el agua como agua blanda, ya que se encuentra en el rango de 0-75 mg CaCO_3/L , lo que significa que es un agua ideal para propósito sanitarios, pues un resultado de dureza hasta 25 mg CaCO_3/L es típico de aguas medianamente productivas.

De hecho se evidencia una variación ya que los resultados varían significativamente en los nuestros de más lluvias y menos lluvias (3.5-45 mg CaCO₃/L), con una media aritmética de 28.34 mg CaCO₃/L que ubica el comportamiento de dureza en la (E3) en el rango de clasificación otorgada para las aguas muy productivas (>25 mg CaCO₃/L). En todos los casos anteriores, los valores de estos parámetros se consideran normales de acuerdo a la norma técnica de calidad del agua para consumo humano y doméstico propuestas en el decreto 1594/84 (Ramirez & Hernandez, 2016).

El parámetro Oxígeno Disuelto (OD) arrojó valores medios que oscilaron entre 6.3 mg/L en la E3 y 8.35 mg/L en la E1. Lo que significa que se dio una baja variación tanto en el muestreo en periodo de lluvias como el seco; arrojando un promedio entre las estaciones de 7.36 mg/L, lo que significa que el OD se considera de óptima calidad siendo este un indicador de que el río Algodonal tiene una propiedad de autodepuración, de oxigenación.

Ya para los parámetros de DBO y DQO se evidencian variaciones en comparación con los dos periodos, arrojando valores altos en temporada de lluvias sobre todo en la E5 con valores de 1.85 mg O₂/L y 8.6 mg O₂/L; mientras que en la E1 arrojó valores menores de 1.65 mg O₂/L y 4.3 mg O₂/L; sin embargo la E2 registró para la DQO un valor de 4.15 mg O₂/L. Mientras en la temporada seca se presentaron valores altos, sobre todo en la E4 con valores picos de 0.78 mg O₂/L y 14.67 mg O₂/L. Resultados que 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.

Se concluye con base a lo anterior expuesto que todos los parámetros evaluados en el muestreo de lluvias están dentro de los parámetros de los valores máximos permisibles establecidos por el Decreto 1594 de 1984 con correspondencia a lo establecido en el orden internacional, tal es el caso de la OMS -Organización Mundial de la Salud-, (2008) en la tercera edición de las guías para la calidad del agua potable.

5.4 Resultados de análisis y evaluación microbiológica

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

Figura 36. Resumen estadístico descriptivo de variables microbiológicas¹³

Fuente. Grupo de Investigación en Asuntos Ambientales y Desarrollo Sostenible Mindala, 2016.

Elaboró. Martínez, R. & Hernández K., 2016.

Con base a los resultados estadísticos de las variables microbiológicas se interpretaron mediante representación gráfica con diagramas de cajas y bigotes para determinar valores mínimos, máximos y atípicos con base a la serie intercuartil Q1 y Q3, a

¹³ 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.

fin de relacionar la dispersión y simetrías de la distribución de la serie de datos de Coliformes totales y fecales, con un 95% de confianza.

A continuación se pone a consideración el análisis estadístico con representación en Diagrama de cajas y bigotes donde se representa la serie de datos arrojados del análisis de Coliformes totales:

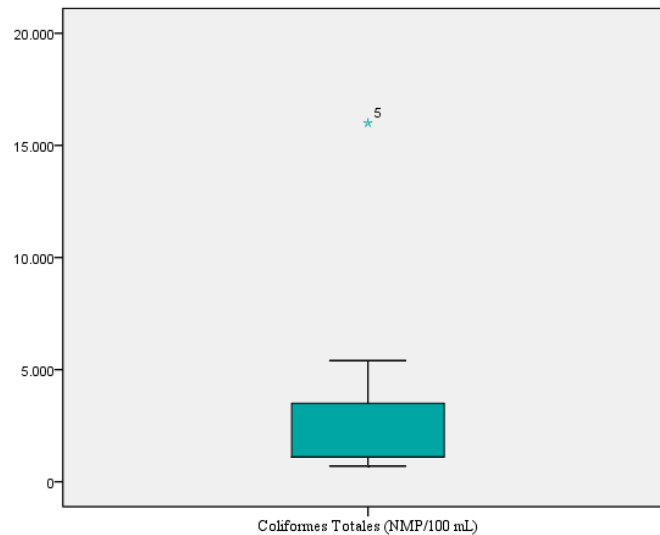


Figura 37. Diagrama de Cajas y bigote para Coliformes totales

Fuente. Grupo de Investigación en Asuntos Ambientales y Desarrollo Sostenible Mindala, 2016.

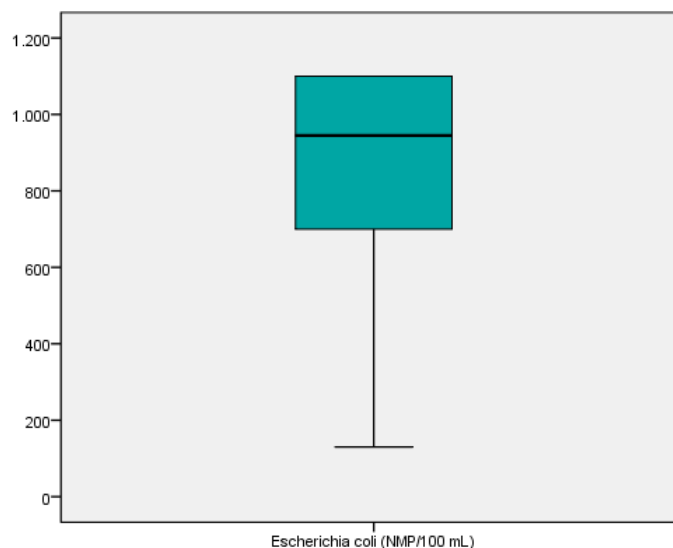


Figura 38. Diagrama Box-Plot para Coliformes fecales

Fuente. Grupo de Investigación en Asuntos Ambientales y Desarrollo Sostenible Mindala, 2016.

El diagrama de cajas y bigotes para Coliformes fecales (ver Ilustración N°8) en la representación gráfica se registra un valor mínimo de >1100 NMP/100 mL y un valor máximo de 5400 NMP/100 mL con un 95 % de confianza en la E1. Además se evidencia en el Diagrama valores atípicos, específicamente en la E5 de 16000 NMP/100 mL, debido a unas lluvias atípicas que se presentaron para esa época, que generaron unas crecientes súbitas del Río Algodonal en este sector, aumentando los caudales, provocando probablemente mayor concentración de material en suspensión y material de arrastre del fondo y márgenes del río.

En el caso del Diagrama de cajas y bigote de la *E. coli* (ver ilustración N°9) arrojo un valor mínimo de 130 NMP/100 mL en la E5 (estación la Cabaña), donde el 25 % de los resultados se ubican en el rango de 330 a 750 NMP/100 mL. Y el resto del 50% de los resultados se ubicó en el valor de la media (945 NMP/100). Estos resultados permiten afirmar que la concentración media de *E. coli* en las estaciones analizadas no representa un valor alto de contaminación por materia orgánica.

Con base a los resultados interpretados y analizados se afirma que los resultados de parámetros microbiológicos se encuentran dentro del rango de los límites permisibles establecidos Decreto N° 1594 de 1984, en el artículo 38. De hecho se puede afirmar que en el proceso de potabilización del agua para consumo humano de la población de Abrego y Ocaña se requiere de un tratamiento de potabilización convencional con cloración.

Sin embargo de acuerdo a la baja contaminación por materia orgánica que presenta el río se recomienda que esta agua para uso recreativo con queda supeditado a restricción de contacto primario debido al nivel de contaminación microbiológica; ya que es importante tener en cuenta la afirmación que hace Sierra, 2011: *“La recreación con contacto primario o sin restricciones consiste en aquellas actividades en las cuales existe contacto prolongado y hay posibilidad de ingerir agua. En ríos, lagos y embalses (se exceptúan piscinas), la*

recreación con contacto incluye actividades como la natación y el buceo. Este uso requiere establecer criterios de calidad debido a la posible presencia en el agua de bacterias, virus, hongos y otros organismos que pueden ser patógenos o infectar al hombre. Cuando se presentan valores de pH alejados de 7,4, se presenta irritación en los ojos. La temperatura también puede afectar la recreación en las aguas superficiales. Las temperaturas altas afectan la biota acuática, y por lo tanto, la pesca. Además, se sabe que las temperaturas altas limitan la disipación del calor del cuerpo, en consecuencia, nadar períodos prolongados en aguas con temperaturas altas puede ocasionar problemas fisiológicos al elevarse la temperatura del cuerpo”.

5.5 Análisis de parámetros de plaguicidas

Los resultados arrojados del análisis de parámetros de plaguicidas es el siguiente¹⁴:

Tabla 32.

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

Variable	Mínimo	Máximo	Media	Error estándar	Desviación estándar	Varianza	Curtosis	
	Estadístico	Estadístico	Estadístico		Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error estándar
Carbamatos µg/L	0,5	0,5	0,5	0	0	0	.	.
Ortofosfatos (mg PO4/L)	0,15	0,23	0,171	0,00795	0,02514	0,001	2,777	1,334
Compuestos Organoclor	0,03	0,03	0,03	0	0	0	.	.

¹⁴ La Tabla presenta los valores de concentraciones determinadas en las cinco estaciones en forma descriptiva. Las variables: carbamatos, los ortofosfatos y compuestos organoclorados están reportados con base al límite de detección manejado por el laboratorio contratado (ISO 17025).

ados ($\mu\text{g/L}$)								
	0,03	0,03	0,03	0	0	0	.	.
Compuestos Organo Fosforados ($\mu\text{g/L}$)								

Fuente. Grupo de Investigación en Asuntos Ambientales y Desarrollo Sostenible Mindala, 2016.

De acuerdo a los resultados de parámetros de plaguicidas reportados en la tabla N°37 se evidencia que si existen trazas de plaguicidas en el agua reportados en todas las estaciones evaluadas durante los dos muestreos, pero lastimosamente la norma es permisible y estos resultados se encuentran dentro del rango de límites permisibles:

Para el caso de Carbamatos $< 0.5 \mu\text{g/L}$, Organoclorados y órgano fosforados $< 0.03 \mu\text{g/L}$ y en la evaluación de los compuestos de ortofosfatos se presentó una concentración máxima de 0.23 en la E4 durante la temporada de más lluvias.

Lo significa que las concentraciones de plaguicidas con base a los valores teóricos de los límites de detección y al reporte máximo ortofosfatos, estos se encuentran por debajo de los valores máximos permisibles establecidos en la Resolución N° 2115 de 2007, numerales 1,2 y 3 del párrafo 1 y 2, artículo 8° (0,1-0,001 mg/L) y la OMS (1996) (0,5 $\mu\text{g/L}$).

Entendidos como el total de plaguicidas presentes independientemente de la naturaleza de los mismos. 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 (Ramirez & Hernandez, 2016).

A continuación se representa gráficamente el análisis estadístico de estos parámetros:

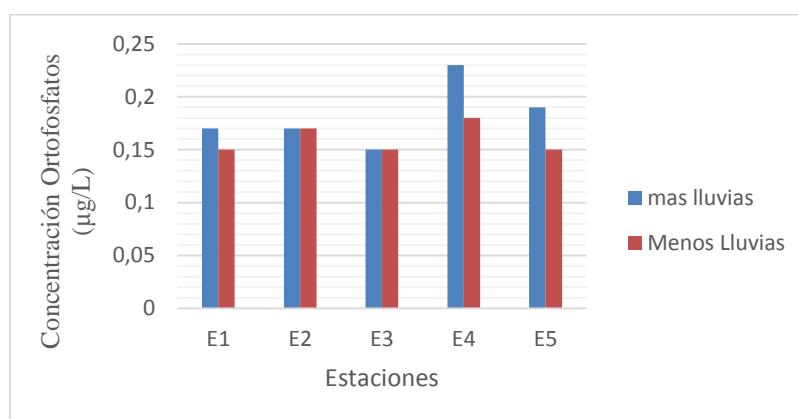


Figura 39. Representación gráfica de las concentraciones de orto fosforados presentes en el Rio Algodonal

Fuente. Grupo de Investigación en Asuntos Ambientales y Desarrollo Sostenible Mindala, 2016.

5.7 Índices de contaminación

Los resultados de Índices de contaminación estimados para cada estación en cada uno de los periodos analizados¹⁵:

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

Figura 40. Índices de contaminación determinadas para cada estación y Época de Estudio

¹⁵ La tabla muestra los resultados de cinco índices de contaminación evaluados en cinco estaciones sobre el río algodonal durante dos muestreos (1 Temporada de lluvias y 2 Temporada seca)

Fuente: Grupo de Investigación en Asuntos Ambientales y Desarrollo Sostenible Mindala, 2016.

De acuerdo a los resultados obtenidos la calidad del agua del río Algodonal con base a los promedios y a la escala de valoración y juicio se afirma que el nivel de calidad del agua de esta fuente es de Buena calidad, pues, la tabla promedia los resultados de ambos muestreos de cada Índice de contaminación por estación.

De acuerdo a los colores asignados para la evaluación según nivel de contaminación o como indicador de calidad es el siguiente:

- ✓ Azul baja contaminación (Agua de muy buena calidad).
- ✓ Verde, Baja contaminación (agua de buena calidad).

A continuación se presenta la tabla *Resumen de promedios de índices de contaminación por estación de muestreo* (Ramirez & Hernandez, 2016):

Índice de contaminación ¹⁶	Promedio por Estación									
	E 1		E 2		E 3		E4		E5	
	(+Ll)	(-Ll)	(+Ll)	(-Ll)	(+Ll)	(-Ll)	(+Ll)	(-Ll)	(+Ll)	(-Ll)
ICOMI	0,05 1	0,03 3	0,05 1	0,03 2	0,05 2	0,03 3	0,05 2	0,03 8	0,06 4	0,04 4
ICOSUS	0,31 6	0,18 4	0,25 4	0,19 4	0,27 1	0,24 4	0,24 4	0,20 5	0,29 5	0,24 4
ICOMO	0,06 1	0,09 5	0,01 6	0,14 4	0,07 1	0,16 2	0,01 6	0,12 4	0,01 4	0,16 1
ICOpH	0,00 2	0,00 1	0,00 2	0,00 1	0,00 3	0,11 3	0,00 4	0,00 5	0,00 2	0,00 8
ICOTemp	NA		NA		0,302		NA		NA	

Figura 41. Resumen de promedios de índices de contaminación Río Algodonal

Fuente: Grupo de Investigación en Asuntos Ambientales y Desarrollo Sostenible Mindala, 2016.

¹⁶ las siglas (NA), indica que (NO APLICA). Porque fue medido con base a la temperatura del vertimiento de la (E3)

A continuación se relaciona la escala de valoración y evaluación de los índices de contaminación para la evaluación de nivel de calidad del agua del río Algodonal:

Contaminación	Rango	Indicador de Calidad	Color
Ninguna	0-0,2	Muy buena	Blue
Baja	0,2-0,4	Buena	Green
Media	0,4-0,6	Media	Yellow
Alta	0,6-0,8	Mala	Orange
Muy Alta	0,8-1,0	Pésima	Red

Figura 42. Rango de evaluación de los ICOs y Convenciones

Fuente. Grupo de Investigación en Asuntos Ambientales y Desarrollo Sostenible Mindala, 2016

En este sentido con base a la evaluación del nivel de calidad del agua a partir de la estimación de los índices de contaminación del río Algodonal que se analizaron estadísticamente con su correspondiente representación gráfica:

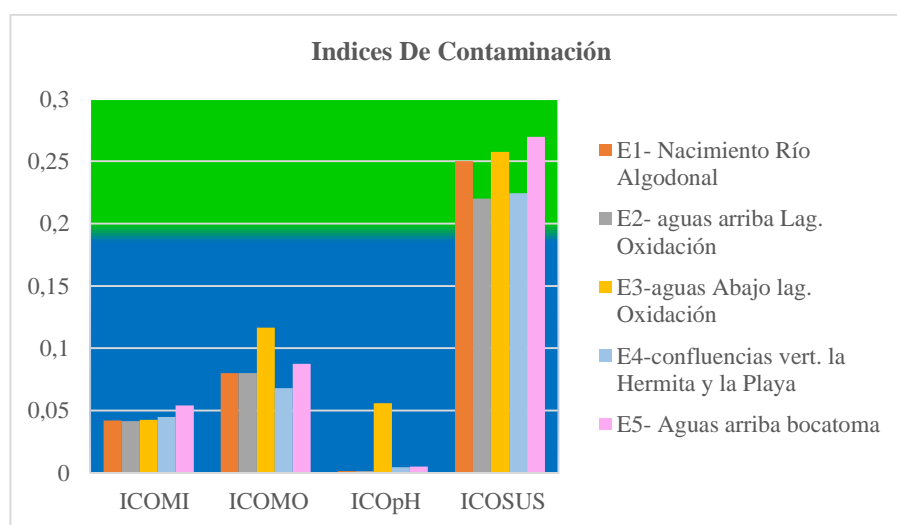


Figura 43. Índices de contaminación en las cinco estaciones de estudios

Fuente. Grupo de Investigación en Asuntos Ambientales y Desarrollo Sostenible Mindala, 2016

Con base a los resultados arrojados de los Índices de contaminación propuestos por Ramírez y Viña (1997-1998), se afirma que en ninguna de las estaciones monitoreadas se reporta contaminación por mineralización, por cambios significativos en el pH atribuido a

la eutrofización del sistema, ni mucho menos se presenta contaminación por materia orgánica gracias a la capacidad de autodepuración que tiene este río. Sin embargo se detectó una baja contaminación por sólidos suspendidos en todas las estaciones condiciones posiblemente por el desarrollo actividades agropecuarias y por la descarga de las agua residuales domesticas sin previo tratamiento, y que van directo al rio Algodonal.

Por tanto se afirma que la composición físico química de la calidad del agua del río algodonal es de buena calidad, pues por medio de la estimación de los ICO's se consideraron las variables que indican procesos de mineralización, cambios de pH y niveles de concentración de materia orgánica en todas las estaciones de muestreo.

De hecho gracias a la propiedad de autodepuración de este rio se presenta una baja contaminación por sólidos suspendidos en todas las estaciones debido a las descargas de aguas residuales domésticas y demás vertimientos. Aspecto relevante que se constituye en un objetivo de gestión integral al recurso para mejorar condiciones de calidad a través de procesos de descontaminación en cada uno de los municipios que se benefician del rio en lo que respecta a cuerpo receptor de aguas residuales.

Conclusiones

De acuerdo a la dinámica actual de la oferta superficial del río Algodonal (caudales) durante el periodo de Monitoreo que fue durante diez (10) meses y con base a un análisis comparativo de caudales en un periodo de 10 años, donde se tuvieron en cuenta los registros históricos de caudales comparados con los actuales, se afirma y se concluye que esta fuente superficial en un periodo de diez (10) años presenta una reducción considerada de caudales alrededor del 50%.

En lo que concierne a las condiciones de calidad físico química y microbiológica del agua del río Algodonal con este estudio se evidencio un comportamiento estable durante los dos periodos analizados. De hecho se evidencio resultados con valores inferiores en temporada de lluvias debido a la dilución de contaminantes, esto es en relación directa a que los caudales aumentaron.

Los resultados arrojados de los parámetros físicos químicos y microbiológicos se mantuvieron en el rango de los valores máximos establecidos en el Decreto 1594 de 1984, que llevan a afirmar que el agua del río Algodonal es apta para consumo humano, una vez claro está, está se someta a un debido proceso de potabilización.

Pero es importante hacer la acotación que de acuerdo a los valores arrojados de parámetros microbiológicos que dieron indicio a una baja contaminación microbiológica detectada en el río se presenta restricciones para usos recreativos mediante contacto

primario, por la carga de Coliformes totales y fecales detectados, esta afirmación se define con base a lo establecido en el decreto 1594 de 1984, en su artículo N° 42.

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.

En lo que respecta a los resultados obtenidos del cálculo y análisis de los Índices de contaminación se afirma que el río no presenta ninguna contaminación, de hecho el agua del río Algodonal según la escala de valoración y evaluación es un agua que tiene un nivel de calidad bueno, según el ICOMO, ICOMI. Sin embargo se presentan cambios bruscos en el pH del agua según el ICOPH en todas las estaciones en los dos periodos analizados.

Además según el ICOSUS el agua del Río Algodonal presenta una baja contaminación pero que según el rango de evaluación esta agua es de buena calidad.

Recomendaciones

Se recomienda a las autoridades competentes que tienen facultad y poder de gestión para la toma de decisiones en lo que respecta a la gestión de la calidad del recurso hídrico a nivel local y regional para tomar decisiones oportunas frente a las restricciones de uso recreativo contacto primario que presenta el río Algodonal debido a la carga de contaminantes microbiológica.

Realizar la debida gestión institucional y comunitaria a fin de establecer un red de monitoreo que permita la evaluación periódica de criterios de calidad y oferta superficial en el río Algodonal desde el nacimiento hasta el punto de desagüe.

En lo que respecta a los resultados arrojados de análisis de parámetros de plaguicidas presentes en el tramo del río Algodonal se recomienda continuar con una segunda fase de investigación con un equipo interdisciplinario apoyado del concepto médico que permita evaluar los impactos generados en la salud pública en los pobladores de los municipios que se abastecen de esta fuente, ya que la acumulación de estas trazas se dan en el organismo en las células grasas y que estas tienen repercusiones en la salud a mediano y largo plazo.

Es necesario que la autoridad ambiental competente desempeñe sus funciones de control y vigilancia en cuanto a los vertimientos ilegales que vierten al río y ejerzan control sobre la extracción ilegal de material de arrastre que se hace en el río. Además de la recuperación de la riberas de río y reforestación de la misma.

Se recomienda a las autoridades competentes realizar un trabajo con las comunidades campesinas para que se logre concienciar en cuanto a los impactos generados al agua, al suelo y al ambiente en general por el uso indiscriminado de agroquímicos.

Promover en el nivel local la implementación de estrategias de sistemas agrícolas orgánicos con enfoque agroecológico de manera tal que se logren procesos de reconversión en la producción agropecuaria en esta zona.

Desde la academia promover procesos de investigación y extensión que permitan la transferencia de tecnología con innovación para la gestión del recurso hídrico y transferencia de tecnología a los procesos productivos.

Desde los gobiernos locales con gestión del nivel departamental y la misma autoridad ambiental competente para esta cuenca se recomienda realizar la gestión de recursos para la construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Ocaña, Abrego y demás centros poblados.

Bibliografía

- IDEAM. (2013). Indicadores Ambientales Clasificados por Temáticas Ambientales. 2225. (s.f.).
- Alvarez, A., Rubiños, J., Gavi, E., Alarcón, F., Hernández, J., Ramírez, Mejía, C., Pedrero, S., Nicolas, F., & Salazar, E.,. (2006). Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: Diagnóstico y Predicción.
- Aurazo, M. (2004). MANUAL PARA ANÁLISIS BÁSICOS DE CALIDAD DEL AGUA DE BEBIDA. (C. P. Ambiente., Ed.) Lima, Perú.
- Cantera, J., Carvajal, Y., & Castro, L. (2009). *El Caudal Ambiental: conceptos, experiencias y desafíos* (Primera Edición ed.). Cali, Colombia: Programa Editorial Universidad del Valle.
- Cañizares, P., E.:. (2015). Agenda regional de desarrollo sostenible – Visión 2032. Asociación de Municipios del Catatumbo, provincia de Ocaña y sur del Cesar. 2015. Ocaña, Norte de Santander.
- 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>
- CHAPRA, S. P. (2008). QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.11: Documentation. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.
- Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. (17 de Noviembre de 2015). *Busqueda Temática*. Obtenido de Ver archivos Relacionados a la Calidad del Agua: <https://tramitesccu.cra.gov.co/normatividad/busquedaTematica.aspx>
- 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>

- CORPONOR. (2007). Plan de Ordenacion y Manejo de la Cuenca del Rio Algodonal POMCHRA. Ocaña, Norte de Santander: Corporacion Autonoma Regional de la Frontera Nororiental.
- CORPONOR. (s.f.). *Plan de Ordenacion y Manejo* .
- Diaz, C., Marin, R., & G., G. (2014). Agua, Paramo y Minería. ¿Utopía de un desarrollo sostenible? *Primera edición*. Bogota, Colombia: Universidad Central.
- Dunnette, D. (1979). "A Geographically Variable Water Quality Index Used In Oregon," *Journal of the Water Pollution Control Federation*,.
- EPA. (2013). Estándares de calidad del agua: reglamentos y recursos. Requisitos de agua potable para los Estados y los sistemas públicos de agua. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. *Office of Water. National Recommended Eater Quality Criteria-Correction*.
- FAO. (2015). Mediciones de Caudal. *Departamento de desarrollo sostenible*.
- Fernández, N., Ramírez, A., & Solano, F. (2003.). "Índices Físicoquímicos de Calidad de Agua un Estudio Comparativo," in Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible,.
- García, M., Morales, Y., Quintero, A., Benítez, P., & Miranda, L. (2011). Residuos de plaguicidas en aguas para consumo humano en una comunidad agrícola del estado Mérida, Venezuela.
- Gobierno, N. d., & FARC, F. A. (2016). ACUERDO FINAL PARA LA TERMINACIÓN DEL CONFLICTO Y LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PAZ ESTABLE Y DURADERA. *Punto N° 1 del Acuerdo Final. "Hacia un Nuevo Campo Colombiano: Reforma Rural Integral"*. Bogota, Colombia.
- Hernandez Sampieri, R. (2010). *Metodologia de la Investigacion*. Obtenido de https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, M. (2010). *Medologia de la Investigaciòn* (Quinta edición ed.). Mexico DF: Mc Graw Hill.

- IDEAM. (2004). Zonificación de cuencas hidrográficas en Colombia. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IDEAM. (2009). *Índice de calidad general en corrientes superficiales-ICACOSU_*. Boletín Informativo, D.C, Bogotá.
- IDEAM. (2011). Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de Calidad del agua superficial. 10 p. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. *Política Nacional para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico*. Bogotá, Colombia.
- IDEAM. (marzo de 2015). Estudio Nacional del Agua ENA. Bogotá, Colombia. Recuperado el 15 de noviembre de 2015, de Estudio nacional de agua: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf
- IDEAM. (2007). Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento del agua. *Instituto de Estudios Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Imprenta Nacional de Colombia.
- IGAC. (2004). Estudio General de Suelos Norte de Santander y Zonificación de Tierras del departamento Norte de Santander . Bogotá, Colombia.
- INS. (2011). Programa de Vigilancia por Laboratorio de la Calidad de Agua para Consumo Humano. *Instituto Nacional de Salud*. Bogotá, Colombia.
- Jimenez, F. (2005). La Cuenca Hidrográfica como unidad de Planificación, manejo y gestión de recursos naturales.
- Londoño, A., Giraldo, G., & Gutierrez, A. (2010). *MÉTODOS ANALÍTICOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA* (Primera Edición ed.). (S. M. Universidad Nacional, Ed.) Bogotá, Colombia: Blanecolor LTDA.
- Londoño, A., Giraldo, G., & Gutiérrez, A. (2010). *MÉTODOS ANALÍTICOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA*. Manizales: Editorial Blanecolor Ltda.
- Martinez, R., & Hernandez, K. (2016). Evaluación y Valoración físico química y biológica de la calidad del agua del Río Algodonal en el tramo comprendido entre Abrego y Ocaña Norte de Santander. Ocaña, norte de Santander.

Ministerio de Agricultura. (1984). Decreto N° 1594. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del. Bogota, Colombia.

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. (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 Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS. (02 de 08 de 2012). Decreto N° 1640 de 2012 " Por el cual se reglamenta la planificacion, ordenacion y manejo de las cuencas hidrograficas y acuíferos en Colombia. Bogota, Colombia.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. 124. (V. y. Ministerio de Ambiente, Ed.) 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.

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>

OMS. (2008). Agua, saneamiento y Salud. Guías para la calidad del agua potable. Aspectos Químicos. Organización Mundial de la Salud 2008.

Platòn. (s.f.). las Leyes, libro VIII.

Prado, M. (2016). Plan de Desarrollo Municipal de Ocaña. "le LLeGo la hora a Ocaña". 2016-2019. Alcaldia municipal de Ocaña. Ocaña, Norte de Santander.

- Presidencia de La Republica. (10 de Marzo de 1998). Decreto Número 475. *Normas Técnicas de calidad del agua Potable*. Bogotá, Distrito Capital, Colombia.
- Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua*. (2007). Recuperado el 23 de Marzo de 2018, de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/>
- Ramirez, R., & Hernandez, K. (2016). Trabajo de Grado: EVALUACIÓN Y VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO DEL RÍO ALGODONAL ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ABREGO Y OCAÑA, NORTE DE SANTANDER. *Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña*. Ocaña, Norte de Santander.
- Rice, E., Baird, R., Eaton, D., & Clesceri, L. (2012). Standard methods for the examination of water and wastewater. *American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation, 22*.
- Rivera, N., Encina, Muñoz., A., & Mejias, P. (2004). La Calidad de las Aguas en los Ríos Cautín e Imperial, IX Región-Chile.
- Romero, J. (enero de 2009). Calidad del Agua. *Tercera Edición*. (L. L. EDITORES, Ed.) Escuela Colombiana de Ingenierías .
- S.A, L. E. (Ed.). (2000). Constitución Política de Colombia. *CPC, 1991, Quinta Edición*.
- Sanchez, H. (2016). Plan de Desarrollo Municipal, "Conmigo la gente gobierna". 2016-2019. Alcaldía municipal de Abrego, Norte de Santander. Abrego, Norte de Santander.
- Sierra, C. (2011). *Calidad del Agua Evaluacion y Diagnóstico* (Primera Edición ed.). (L. Lopez, Ed.) Medellín: Universidad de Medellín.
- Torres, P., Hernán, C., & Patiño, P. (2009). ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. UNA REVISIÓN CRÍTICA.
- Valverde, N., Caicedo, O., & Aguirre, N. (2009). Análisis de calidad de agua de la quebrada La Ayurá con base en variables fisicoquímicas y macroinvertebrados acuáticos. 4. (F. d. Antioquia., Ed.)

Anexos

Anexo 1. Legislación Vigente que regula la Evaluación y Valoración de la calidad del agua

Normas	Año	Breve descripción
Decreto 1380	1940	Sobre aprovechamiento, conservación y distribución de aguas nacionales de Uso públicos
Decreto-Ley 2811	1974	Regula los recursos naturales Renovables. Código de los recursos naturales renovables.
Decreto 1541	1978	Reglamenta la parte III del libro II del decreto-ley 2811/74 sobre las “Aguas no marítimas” y calidad de las aguas en los Artículos [119 (b), 120 (P.2) ,152 (f), 229, 248 (b) 227 (#4)]
Decreto 1681	1978	Reglamenta la parte X del libro II del Decreto-Ley 2811 sobre los recursos hidrobiológicos.
Decreto 2105	1983	<<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.
Decreto 1594	1984	Se estipulan los criterios de Calidad que deben alcanzar las fuentes de agua para posibilitar los diferentes usos.
Ley 79	1986	Por la cual se promueve la conservación del agua y se dictan otras disposiciones.
Constitución de política Colombia	1991	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.
Ley 99	1993	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.
Decreto 1277	1994	Por el cual se organiza y establece el instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales, IDEAM

Decreto 475	1998	<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> <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>
Resolución 1096 (RAS)	2000	<p>Lineamientos para definir los niveles de tratamiento del agua para “consumo Humano” en función de la calidad de la fuente que va desde aceptable a muy deficiente, de acuerdo con su grado de contaminación.</p>
CONPES 3343	2005	<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>
Ley 1151	2007	<p>Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010.</p>
Resolución 2160	2007	<p>Por la cual se crea un grupo Interno de Trabajo en el Despacho del Viceministro de Ambiente del Ministerio de Ambiente y desarrollo</p>

		sostenible: Grupo del Recurso Hídrico. (Una de sus funciones vigila el monitoreo de la calidad del recurso Hídrico).
Decreto 1575	2007	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)
Resolución 2115	2007	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)
Resolución 0811	2008	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)
Decreto 1323	2007	Por la cual se crea el sistema de información del recurso hídrico – SIRH- Art. 3. El SIRH gestionará la información ambiental relacionada con: -b. calidad de las aguas superficiales subterráneas, marinas y estuarinas. Art. 4. Objetivos del SIRH. Es un objetivo: -b. Considerar un inventario y caracterización del estado y comportamiento del recurso Hídrico en términos de calidad y Cantidad Art5. Áreas temáticas del SIRH. -b. la Calidad Hídrica. Conformada por la información referente a la calidad del recurso Hídrico (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007)
Resolución 2320	2009	Por la cual se modifica parcialmente la resolución 1096 de 2000.

Resolución 0631	No. 2015	<p>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.</p> <p>Art. 6. Parámetros microbiológicos de análisis y Reporte en los vertimientos puntuales <i>de agua residuales y ARnd</i> a cuerpos de agua superficiales.</p> <p>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)</p>
Decreto 1076	Único 2015	<p>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).</p>

Fuente: adaptación 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.

Elaboro. Ramírez, R.; & Hernández K., 2016.

Anexo 2. Descripción del equipo investigador

Capital Humano.

Participante	Grado Académico	Rol desempeñado en el proyecto	Institución
Equipo Investigador principal			
Rocío Andrea Miranda Sanguino	Especialista	Investigador1	Grupo de Investigación en Asuntos Ambientales y Desarrollo Sostenible
Roiman David Ramírez Martínez	Ingeniero Ambiental	Investigador2	Mindala Observatorio Socio Ambiental-UFPSO
Katiuska Hernández	Ingeniero Ambiental	Investigador3	Empresa de servicios Públicos de Ocaña (ESPO)
Wilson Angarita	Especialista-Ingeniería Ambiental	Asesor	Laboratorio de Biotecnología Animal-UFPSO
Carlos Alberto Patiño	Químico Especialista	Asesor	Laboratorio de Estudios Ambientales de la Universidad pontificia Bolivariana-Sede Bucaramanga
Johana Ximena Páez Pacheco	Especialista Microbiología de Alimentos	Asesora	Lab. Estudios Ambientales de la UPB- Sede Bucaramanga
Diego L. Blanco Arenas	Magister en Gestión Ambiental	Asesor Temático en Laboratorio de Determinación Parámetros Físico-Químicos	Lab. Estudios Ambientales de la UPB- Sede Bucaramanga
Jhonatan Duitama Jaimes	Tecnología en Química y Farmacéutica	Analista Químico	Lab. de Estudios Ambientales de la UPB-sede Bucaramanga
Alcides Rivera Hernández	Auxiliar de laboratorio	Asesor Temático de Trabajo de campo para toma de Muestras	Lab. de Estudios Ambientales de la UPB-sede Bucaramanga
Phd. Henry Reyes	Investigador	Asesor Metodológico	Universidad de Manizales.

Dr. Freddy Betancurt	Jhon Investigador	Director de la línea de Biosistemas integrados de Universidad de Manizales.
-----------------------------	--------------------------	---

Fuente. Autores del proyecto.

Caracterización del drenaje rio algodonal “tramo objeto de estudio”.

En esta investigación fue necesario realizar una caracterización del cauce del Rio Algodonal, específicamente del tramo objeto de estudio con el fin de comprender la dinámica y comportamiento hidrológico del cauce en los dos periodos:

Anexo 3. Tabla de levantamiento de aspectos físicos estaciones (e) tramo rio algodonal

TABLA DE LEVANTAMIENTO DE ASPECTOS FISICOS ESTACIONES (E) TRAMO RIO ALGODONAL								
ESTACIONES MUESTREO	PUNTOS DE MUESTREO POR ESTACIONES	DE COORDENADAS		ALTURA (m)	DISTANCIA m (X)	PROFUNDIDAD PROMEDIO (Dx)	ANCHO SUPERFICIAL (Tx)	TIEMPO (Tx)
		N	W					
E 1. Ajuntas (rio frio-rio Oroque)	(-)	8° 04' 51,9"	73° 12' 02,4"	1368	5			
	Río Frío 1	8° 04' 49,4"	73° 12' 01,1"	1373				
	RÍO Frío 2	8°04'50.65"	73°12'0.92"	1369		16.375 cm	9.895 mt	12.596 seg
	Río Frío 3	8°4'51,6"	73°12'01,1"	1371				
	Río Oroque	8°4'56"	73°11'58,1"	1374	6,43	19.15 cm	11.49 mt	14.99 seg
	Río Algodonal	8°4'51,8"	73°12'02,4"	1373	6,43	42.5 cm	5.38 mt	14.56 seg

E.2 100 m Aguas arriba de la Laguna de Oxidación (-)	8°5'47"	73°13'10,2"	1337	12	14.28 cm	11.5 mt	25.473 seg
E3. 100 m aguas debajo de la laguna (-) Oxidación	8° 5' 43.2"	73° 13' 19,2"	1357				
E4. Punto la peña en la Ermita (-)	8°11'26,4"	73°18'54,2"	1239	11	16.187 cm	19.8 mt	16.983 seg
E5. Punto la Cabaña (Aguas arriba de la torre de captación) (-)	8°12'04"	73°19'08"	1231	6,6	35.954 cm	14.56 mt	12.746 seg

Anexo 4. Clasificación de la pendiente del cauce

CLASE	DESCRIPCION	%
01	Plano	0-0,2
02	Nivel	0,2-0,5
03	Cercano al nivel	0,5-1,0
04	Muy ligeramente inclinado	1,0-2,0
05	Ligeramente inclinado	2-5
06	Inclinado	5-10
07	Fuertemente inclinado	10-15
08	Moderadamente escarpado	15-30
09	Escarpado	30-60
10	Muy escarpado	>60

Fuente. FAO, Rediseñado a partir de Schoeneberger *et al.*, 2002.

Elaborado. Equipo investigador.

Anexo 5. Pendiente de la red de drenaje del Rio Algodonal.

CORRIENTE	LONGITUD /TRAMO	MIN	MAX	RANGE	PENDIENTE MEDIA (%)
Drenaje	17928055,07	5	7	2	5,722563
R-FRIO	126408,7267	5	5	0	5
R- ALGODONAL	2511686,44	5	6	1	5,008753
R-OOROQUE	10992,06319	5	5	0	5

Fuente. FAO, Rediseñado a partir de Schoeneberger *et al.*, 2002.

Elaborado. Equipo investigador Mindala, 2016.

Según la anterior categorización de pendiente, el relieve del Rio Algodonal es un Relieve Clase 6. Rango 1. Ondulado. Típicos de la vertiente andina baja. Fertilidad media-Baja.

Anexo 6. Registro fotográfico

Estaciones de Control de aforo.



Fotografías del Equipo investigador Mindala, 2016. Municipio de Abrego y Ocaña Norte de Santander.

Monitoreo Rio Algodonal.



Fotografías del Equipo investigador Mindala, 2016. Municipio de Abrego y Ocaña Norte de Santander.

Monitoreo Rio Algodonal.

Fotografías del Equipo investigador Mindala, 2016. Municipio de Abrego y Ocaña Norte de Santander.