

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A	
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		i(68)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	JORGE LUIS PÉREZ CLAVIJO NICOLÁS BARBOSA ALVAREZ		
FACULTAD	CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA AMBIENTAL		
DIRECTOR	Msc WILSON ANGARITA CASTILLA		
TÍTULO DE LA TESIS	DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DEL RÍO ALGODONAL DEL TRAMO LA ERMITA- BOCATOMA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE ESPO. SA DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>EL CORREGIMIENTO DE LA ERMITA, EN OCAÑA, NORTE DE SANTANDER, PUEDE PERCIBIR EL RÍO ALGODONAL HA SIDO UTILIZADO DE MANERA INADECUADA DEBIDO A QUE NO EXISTE UN SISTEMA DE ALCANTARILLADO ÓPTIMO EN EL QUE LA POBLACIÓN PUEDA VERTER SUS RESIDUOS LÍQUIDOS, CAMBIANDO LA COMPOSICIÓN FISICOQUÍMICA DE LA MISMA Y AFECTANDO A LAS ESPECIES EXISTENTES EN ELLA, POR ESTA RAZÓN ES NECESARIO DETERMINAR LA CAPACIDAD AUTO-DEPURADORA DEL AGUA EN EL TRAMO ENTRE LA ERMITA Y LA BOCATOMA DE CAPTACIÓN.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 68	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM: 1



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

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DEL RÍO
ALGODONAL DEL TRAMO LA ERMITA- BOCATOMA DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE ESPO. SA DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER

Autores:

JORGE LUIS PÉREZ CLAVIJO

Cód.: 161588

NICOLÁS BARBOSA ALVAREZ

Cód.: 161491

Trabajo de grado presentado como requisito para Optar al Título de Ingeniero Ambiental

Director:

Msc WILSON ANGARITA CASTILLA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE

INGENIERIA AMBIENTAL

Ocaña, Colombia

Febrero, 2020

Índice

Capítulo 1. Determinación de la capacidad de autodepuración del río algodonal del tramo La Ermita- bocatoma de la planta de tratamiento de Espo. S.A de Ocaña, Norte de Santander.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Formulación del Problema	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo general..	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	2
1.4 Justificación.....	3
1.5 Delimitaciones.....	4
1.5.1. Delimitación Operativa.	4
1.5.2. Delimitación Conceptual.....	4
1.5.3 Delimitación Geográfica.	4
1.5.4 Delimitación Temporal.	4
Capítulo 2. Marco Referencial.....	5
2.1 Marco Histórico.....	5
2.1.1 Antecedentes Internacionales.	5
2.1.2 Antecedentes Nacionales.....	7
2.1.3 Antecedentes regionales y locales.....	8
2.2 Marco contextual.....	8
2.2.1 Breve descripción del corregimiento de la Ermita y la Bocatoma Algodonal.	8
2.2.2 Coordenadas geográficas y límites geográficos.	9
2.3 Marco Conceptual	10
2.4 Marco Teórico.....	19
2.5 Marco Legal	20
Capítulo 3. Diseño Metodológico.....	22
3.1 Tipo de investigación	22
3.2 Población.....	22

3.3. Muestra.....	22
3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de la información.....	23
3.4 Metodología	24
3.4.1 Identificación de puntos de posibles vertimientos.	24
3.4.2 Identificación de puntos de muestreo.	24
3.4.3 Caracterización hidráulica de cada uno de los puntos.....	24
3.4.4 Muestreos calidad del agua.	25
3.4.5 Cálculo carga contaminante corregimiento.	26
3.4.6. Estimación de la tasa de decaimiento de patógenos.	30
3.4.7. Estimación de la carga contaminante.	32
3.4.8. Contribución de aguas residuales industriales.....	34
3.4.9. Contribución institucional..	35
Capítulo 4. Presentación de Resultados.....	36
4.1 Descripción del área.....	36
4.2 Resultados modelo Streeter- Phelps.....	36
4.3. Modelación del tramo La Ermita a la Bocatoma del Acueducto de Ocaña	43
Conclusiones.....	50
Referencias.....	52
Apéndices.....	56

Índice de Tablas

Tabla 1. Olores característicos del agua y su origen.....	12
Tabla 2. Niveles de complejidad de sistemas de tratamiento de agua	32
Tabla 3. Dotación neta de agua potable por habitante/día	33
Tabla 4. Dotación neta de agua potable según el clima	33
Tabla 5. Coeficiente de retorno de aguas servidas.....	34
Tabla 6 Contribución de vertimientos de aguas residuales según nivel de complejidad.....	34
Tabla 7 Contribución institucional de vertimientos de aguas residuales domesticas	35
Tabla 8 Tiempo de recorrido entre tramos.....	37
Tabla 9 Caracterización hidrológica de los puntos de muestreo.....	37
Tabla 10 Resultados calidad del agua para cada uno de los puntos.....	38
Tabla 11 DBO calculada para cada punto.....	38
Tabla 12 Constantes de desoxigenación para cada uno de los puntos	39
Tabla 13 Modelación de oxígeno disuelto (OD).....	40
Tabla 14 Coeficiente de reaireación.....	41
Tabla 15 Déficit de oxígeno.....	42
Tabla 16 Comportamiento del OD vs la DBO.....	43
Tabla 17 Resumen de cálculos de las variables de modelación para el tramo 2 (la Ermita- Bocatoma).....	44
Tabla 18 Valores entrada al modelo en el punto: la Ermita.....	45
Tabla 19 Tasa de decaimiento de patógenos.....	47
Tabla 20 Tasa de decaimiento total.....	48

Índice de Figuras

Figura 1 Tramo Río Algodonal, Ermita- Bocatoma ESPO.....	36
Figura 2. DBO calculada.....	39
Figura 3. Constantes de desoxigenación K_d	40
Figura 4 Constante de reaireación K_a	41
Figura 5 Déficit de oxígeno.	42
Figura 6 Comportamiento del OD en la fuente con respecto a la DBO	46
Figura 7 Patógenos.....	47
Figura 8 Tasa de decaimiento de patógenos	48

Índice de Apéndices

Apéndice A Toma de muestras para análisis de laboratorio	56
Apéndice B Modelo de Encuesta Realizada	58

Capítulo 1. Determinación de la capacidad de autodepuración del río algodonol del tramo La Ermita- bocatoma de la planta de tratamiento de Espo. S.A de Ocaña, Norte de Santander

1.1 Planteamiento del problema

A lo largo de la historia, la raza humana siempre ha buscado asentarse en lugares donde pueda aprovechar el agua dulce, ya que esta es lo más fundamental para la preservación de la vida. Sin embargo, el uso que le han dado a los afluentes ha cambiado, convirtiendo a los mismos en receptores de cloacas, basuras, vertimientos industriales y demás, transformándolos en zonas marginales degradadas, sin vegetación y en gran mayoría de los casos con disminución de fauna (Suárez, 2018).

Por estas razones es necesario hablar de una gestión del recurso hídrico dentro del marco del ordenamiento del recurso hídrico para buscar un desarrollo de políticas públicas en la cual se combinen el desarrollo económico, social y protección de los ecosistemas. El ministerio de ambiente de esta manera, define la gestión integral del recurso hídrico (GIRH) así: “un proceso que promueve la gestión y el aprovechamiento coordinado de los recursos hídricos, la tierra y los recursos naturales relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales”. (Ministerio de Ambiente, 2019)

Otro aspecto a resaltar es que a pesar de que existe un Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Algodonal no se tiene un plan de ordenamiento del recurso hídrico lo cual dificulta una gestión adecuada del mismo. En relación con lo anterior, en el corregimiento de la Ermita, en Ocaña, Norte de Santander, puede percibir el río Algodonal está siendo utilizado de manera inadecuada debido a que no existe un sistema de alcantarillado óptimo en el que la población pueda verter sus residuos líquidos, cambiando la composición fisicoquímica de la misma y afectando a las especies existentes en ella, por esta razón es necesario determinar la capacidad auto-depuradora del agua en el tramo entre la Ermita y la bocatoma de captación, lo que permitirá observar dicho proceso en el afluente con la ayuda de muestras para un mejor resultado.

1.2 Formulación del Problema

¿Cuál es la capacidad de autodepuración del río Algodonal en el tramo de La Ermita a la bocatoma de la planta de tratamiento de ESPO?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general. Determinar la capacidad de autodepuración del río Algodonal en el tramo de La Ermita a la bocatoma de la planta de tratamiento de ESPO.

1.3.2 Objetivos específicos. Determinar la calidad del recurso hídrico aguas arriba de La Ermita y aguas abajo antes de la bocatoma.

Estimar la carga contaminante que se vierte al río Algodonal por parte del corregimiento La Ermita.

Analizar la capacidad de autodepuración del río en el tramo La Ermita a la bocatoma mediante los datos obtenidos.

1.4 Justificación

A través de la historia reciente, los seres humanos han intensificado sus actividades productivas y se han asentado aún más en zonas urbanas las cuales crecen de forma descontrolada, por lo cual, hace que los impactos al ambiente sean de la misma medida; uno de ellos es el impacto que generan al recurso agua siendo de los recursos más importantes, pero también más vulnerados, afectando su calidad, y aún más en Colombia, ya que es un país con alto índice de recursos hídricos y del cual provienen muchas de las actividades que se realizan.

En este aspecto se tiene una herramienta como lo es el plan de ordenamiento del recurso hídrico el cual es una herramienta muy importante para la gestión del mismo.

La modelación de la calidad del agua en el marco del plan de ordenamiento establece el comportamiento que sea más probable de este cuerpo de agua en términos de asimilación y autodepuración de lo cual es el trabajo, en diferentes escenarios de caudal y carga contaminante provenientes de los vertimientos (Ministerio de ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

Por esta razón es necesaria

1.5 Delimitaciones

1.5.1. Delimitación Operativa. Este trabajo de grado está determinado por una metodología cuantitativa. La recolección de la información es posible a través del aporte de recursos bibliográficos y del director del proyecto.

1.5.2. Delimitación Conceptual. Los términos en los que se basa este proyecto son los siguientes: autodepuración, río, bocatoma, agua, contaminación, ordenamiento del recurso hídrico.

1.5.3 Delimitación Geográfica. Este trabajo se realizará en el tramo del corregimiento de la Ermita hasta la bocatoma de captación de aguas en Ocaña Norte de Santander la cual cuenta con una distancia de 6,23 Km.

1.5.4 Delimitación Temporal. El tiempo estimado para la ejecución del proyecto es de cuatro meses.

Capítulo 2. Marco Referencial

2.1 Marco Histórico

2.1.1 Antecedentes Internacionales. Desde el principio en el cual se comenzaron a desarrollar las poblaciones de tal manera que iban creciendo de forma rápida se ha tenido en cuenta la disponibilidad de agua potable, lo que ha condicionado la ubicación de los primeros asentamientos humanos, tanto como para su uso y consumo como para el vertido de sus aguas residuales, aprovechando la corriente de los ríos (Ramos, 2016).

De esta manera, a medida que dichos asentamientos se expanden las cargas contaminantes que se vierten van en aumento por diferentes tipos de focos como descargas de aguas residuales de uso doméstico e industrial, desperdicios sólidos que son arrojados a los cauces y contaminación de origen agrícola (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrobiología, 2007).

Así se comienza con un proceso de degradación de los ríos, eliminación de la vegetación, acumulación de residuos, y, por consiguiente, la contaminación de las aguas (Ramos, 2016).

Aunque se tiene de forma constante el recurso hídrico, su calidad va disminuyendo de forma gradual por lo que la Asociación Mundial del Agua señala la importancia de la Gestión Integral del Recurso Hídrico ya que promueve la gestión y el desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de que se mejore el bienestar económico y social pero sin causar un deterioro a la sostenibilidad de los ecosistemas (Global Water Partnership,

2002). La gestión del agua se convierte en un reto ambiental ya que se tiene que lograr un balance entre los beneficios mencionados, de manera integral con la gestión de los ecosistemas incluido el recurso hídrico (Andrade-Perez & Navarrete-Le Blas, 2004).

Se deben tener algunas consideraciones para tener un abastecimiento seguro del agua tomando en cuenta la disponibilidad, cantidad, calidad y demás. Ya que el agua es un recurso vital para los seres vivos, debe poseer ciertas condiciones como su transparencia, inodora e insípida, libre de microorganismos patógenos, grado de oxígeno y temperatura óptimos, así como un pH entre 6 y 8 (Mejía M. , 2005).

En cuanto a depuración de ríos a nivel internacional se han hecho algunos estudios como en México donde evaluaron la capacidad de autodepuración del río Magdalena que es la que alimenta una de las plantas potabilizadoras de la ciudad de México, debido a que ha habido un incremento de la temperatura y la variación de la precipitación en esa zona, usando el método de Streeter-Phelps tanto para las condiciones que se tenían actualmente como para escenarios futuros de cambio climático en temporadas de lluvias y de estiaje; teniendo en cuenta muestreos realizados y tomando en cuenta datos climatológicos se obtuvieron proyecciones de Oxígeno Disuelto y DBO donde mostraron las temporadas más críticas para la degradación de DBO y OD los cuales obligan a un seguimiento tanto de calidad del agua para su tratamiento como en la variación del caudal del río, según sus resultados, en época de estiaje (Montes, Navarro, Dominguez, & Jimenez, 2013).

Otro trabajo realizado a nivel internacional fue el estudio del impacto ambiental del vertimiento de aguas residuales sobre la capacidad de autodepuración del río Portoviejo, Ecuador donde se evaluó la capacidad de autodepuración del río a través de un modelo matemático, ubicando los vertimientos y utilizando los parámetros del modelo ajustados a partir de datos experimentales que mostraron la variación de la concentración de oxígeno disuelto teniendo en cuenta la corriente y morfología del mismo. A partir de dichos parámetros calcularon constantes de velocidad de reoxigenación y consumo de oxígeno que se tomaron como base para identificar las secciones del río más críticas y los vertimientos que afectan su capacidad de autodepuración (Quiroz, Izquierdo, & Menéndez, 2017).

2.1.2 Antecedentes Nacionales. Entre estos antecedentes se encuentra un trabajo realizado en San Gil donde se hizo la determinación de la capacidad de autodepuración en un tramo del río Fonce en San Gil con base en la cuantificación del oxígeno, la carga por medio de DBO y su evolución en el cauce del río. Los resultados de este estudio arrojaron que si la capacidad se mide por su recuperación y nivel de OD es autodepurable, pero si se mide por la degradación de carga microbiológica, da un resultado de muy contaminado y no es autodepurable en la zona de estudio (Duarte, Pico, & Estupiñán, 2014).

Otro trabajo realizado en Colombia fue la formulación ecohidráulica para evaluar la capacidad de autodepuración de ríos de montaña donde se tuvo como objetivo formular un modelo matemático que acoplara variables biológicas y asociadas a la ingeniería de los recursos hidráulicos para evaluar la capacidad de autodepuración de los ríos de montaña; se utilizaron técnicas de retención de hojarasca y de trazadores conservativos para formular un modelo

ecohidráulico. Se tuvo como resultado que con el acople de estas dos técnicas permitió conocer la hidrodinámica del cuerpo de agua a través de distintas variables como el caudal, la velocidad y el tiempo de transporte, para de esta manera evaluar la capacidad del río para retener la materia orgánica y degradarla por la acción de los organismos propios de dicho río (Riaño, Vigoya, Mancipe, & Sanabria, 2017)

2.1.3 Antecedentes regionales y locales. Se realizó un estudio de determinación de la calidad del agua mediante parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la microcuenca quebrada la estancia en González, Cesar; dichos parámetros evaluados son los establecidos en la resolución 631/2015, decreto 3930/2010, decreto 475/1998 y decreto 1594/1984 donde los valores obtenidos de estos parámetros analizados en laboratorio para cada punto de muestreo están dentro de los rangos máximos permisibles y se pueden dar los usos para que se empleen los acueductos veredales en San Isidro y Potrero que requiere la potabilización del agua para su población (Molina & Castro, 2015)

En general, los trabajos realizados a nivel regional y/o local son de estudios de calidad de agua para abastecimiento o control, no se tienen todavía estudios de capacidad autodepuradora de alguno de los afluentes que se encuentran en Ocaña o la región.

2.2 Marco contextual

2.2.1 Breve descripción del corregimiento de la Ermita y la Bocatoma Algodonal. Este proyecto está localizado en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, entre el corregimiento de

la Ermita y la bocatoma del Algodonal. El corregimiento de la Ermita está localizado al centro-orientado del municipio de Ocaña, con una extensión superficial de 0.016 km² lo que equivale al 2.54% de la totalidad del territorio municipal. (PBOT, 2002)

El Río Algodonal es la fuente superficial de abastecimiento del acueducto del municipio de Ocaña presentando un caudal promedio en la bocatoma de 1300 l/s, ésta bocatoma localiza sus obras de captación y tratamiento a la altura del sector “Llano de los alcaldes” en contigüidad al Batallón Santander, a una distancia aproximada de 4 Km del centro del municipio de Ocaña. Las obras fueron construidas entre los años 1972 y 1990 con el fin de completar una capacidad nominal de 191 l/s. Actualmente el servicio de acueducto en la mayor parte de la ciudad está siendo suministrado a través del sistema de distribución del Río Algodonal, equivalente a un 70% aproximadamente. (Ferreira, 2016)

2.2.2 Coordenadas geográficas y límites geográficos. El corregimiento de la Ermita Norte de Santander cuenta con coordenadas de 8°10'48.11"N latitud norte y 73°18'53.78 longitud occidental; limita al norte con el Departamento del Cesar y los municipios de Teorema y Convención, por el sur con el Departamento del Cesar, al orientado con La Playa de Belén, Abrego y San Calixto y al Occidente con el Departamento del Cesar. (Barbosa, 2004)

La bocatoma y planta de tratamiento en Algodonal cuenta con coordenadas geográficas de 8°13'8.84" Latitud Norte, 73°19'14.58" Longitud y una elevación de 1206 msnm.

2.3 Marco Conceptual

Calidad del agua. La interpretación, descripción y evaluación de la calidad del agua es un asunto muy complejo, generador de controversias puesto que existen diferentes metodologías que definen el carácter cualitativo del recurso hídrico. Desde el punto de vista funcional puede entenderse como calidad, la capacidad propia que tiene el agua para responder a los usos que se pueden obtener de la misma. De otra manera, desde el punto de vista ambiental se puede referir a aquellas condiciones que deben darse en el agua para que ésta se mantenga de forma equilibrada y cumpla con unos determinados objetivos de calidad. (CEH, 2000)

Es necesario resaltar que la evaluación de la calidad del agua se lleva a cabo mediante técnicas analíticas para cada caso. Para que los resultados de dichos procedimientos sean significativos, se debe dar importancia a las terminologías empleadas, unidades y procesos de muestreo. La interpretación de estos datos obtenidos debe ser lo más correcta posible, manejándose de manera estadística, teniendo en cuenta la correlación de iones, los factores que gobiernan el comportamiento de los componentes del agua, entre otros. (Mejía J. , 2010)

A continuación, se especifican detalladamente las principales características fisicoquímicas y biológicas que definen la calidad del agua, su relación con los principales procesos de tratamiento, su importancia en la salud y los límites de concentración establecidos internacionalmente en calidad del agua para consumo humano. (Maillard, 2010)

Características físicas. Las características físicas del agua son llamadas de esta manera ya que tienen la propiedad de impresionar a los sentidos (olfato, vista, etcétera), además tienen incidencia directa en las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua. (Mejía J. , 2010)

Las más importantes son las siguientes:

- Olor y sabor
- Color
- Turbiedad
- Temperatura
- Sólidos solubles e insolubles
- PH

Parámetros físicos del agua.

Color. La presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, en diferente estado de composición y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales; son las causas más comunes del color en el agua. Se reconocen dos tipos de color en el agua: el color verdadero, es decir, el color de la muestra una vez que se ha removido la turbidez, y el color aparente, que incluye no solamente el color de las sustancias en solución y coloidales, sino también el color debido al material suspendido. El color aparente se determina sobre la muestra original, sin ningún proceso de centrifugación previa o filtración. (Instituto Nacional de Salud, 2005)

Turbiedad. La turbiedad es inducida por las partículas en suspensión o coloides (limo, arcillas, tierra finamente dividida, etcétera). La turbiedad es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales, es decir, por aquellas que se encuentran suspendidas debido a su tamaño y reducen la transparencia del agua en menor o mayor escala. La medición de este indicador se realiza a través de un turbímetro o nefelómetro. (Martel, 2005)

Olor y sabor. El olor y el sabor están relacionados ampliamente relacionados. Estas características son las principales generadoras de rechazo al agua por parte del consumidor. En términos prácticos, la falta de olor puede ser un indicio indirecto de la poca presencia de contaminantes, tales como los compuestos fenólicos. Desde otro punto de vista, la presencia de olor a sulfuro de hidrogeno puede indicar la presencia de compuestos orgánicos en el agua. (Martel, 2005)

La siguiente tabla presenta un resumen de algunos olores característicos del agua, de acuerdo con su origen.

Tabla 1.
Olores característicos del agua y su origen

Naturaleza	Origen
Olor balsámico	Flores
Dulzor	<i>Coelosphaerium</i>
Olor químico	Aguas residuales industriales
Olor a cloro	Cloro libre
Olor a hidrocarburo	Refinería de petróleo
Olor medicamentoso	Fenol, yodoformo
Olor a azufre	Ácido sulfhídrico, H ₂ S
Olor a pescado	Pescado, mariscos
Olor séptico	Alcantarilla
Olor a tierra	Arcillas húmedas
Olor fecaloide	Retrete, alcantarilla
Olor a moho	Cueva húmeda
Olor a legumbres	Hierbas, hojas en descomposición

Fuente: (Martel, 2005)

Temperatura. La temperatura es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la precipitación de compuestos, la absorción de oxígeno, la desinfección y los procesos de mezcla, la formación de depósitos, floculación, sedimentación y filtración. (Martel, 2005)

Conductividad. Es la expresión numérica de la habilidad que posee el agua para transportar una corriente eléctrica, que depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en su valencia y en la movilidad de iones disueltos, produce una modificación en la conductividad. Por esta razón, se usa mucho en análisis de aguas el valor de la conductividad, para obtener un estimativo rápido del contenido de sólidos disueltos.

(Cardona, 2011)

Parámetros químicos en el agua.

Alcalinidad. La alcalinidad en el agua puede definirse como la capacidad para neutralizar ácidos, reaccionar con iones hidrogeno, aceptar protones, entre otros. La determinación de la alcalinidad total y de las distintas formas de alcalinidad es fundamental en los procesos de ablandamiento, coagulación química, evaluación de la capacidad tampón del agua y control de corrosión. En aguas naturales, la presencia de la alcalinidad es inducida por tres clases de compuestos: Carbonatos, Bicarbonatos e Hidróxidos. (Ideam, 2010)

Sulfatos. El ión sulfato es uno de los aniones más comunes en las aguas naturales. Se encuentra en concentraciones que pueden variar desde unos cuantos hasta unos miles de mg/L. Se recomienda en aguas potables un límite superior de 250 mg/L de sulfatos, ya que estos tienen un efecto purgante, especialmente en los niños. El contenido es de vital importancia, porque las aguas con alto contenido de sulfatos tienden a formar incrustaciones en los intercambiadores de calor y las calderas. (UNAD, 2004)

Nitritos (NO₂). También conocido como Dióxido de Nitrógeno, se forma por acción bacteriana sobre el nitrógeno orgánico y amoniacal. Es usado como preservativo de algunos alimentos y es poco común en el agua por su fácil oxidación en nitrato. En dosis elevadas puede ser perjudicial por su efecto como vasodilatador cardiovascular, su contribución a la metahemoglobinemia en los infantes y la posible formación de nitrosaminas, las cuales pueden ser cancerígenas. (Molina & Castro, 2015)

Nitratos. Los nitratos usualmente son introducidos al agua por contaminación humana. Las concentraciones altas de estos pueden causar metahemoglobinemia y diarrea en la población infantil, por lo que es recomendable que su concentración en el agua potable sea 10 mg/L-N. Las concentraciones mayores a 100 mg/L interfieren en los estudios de coliformes. Además, sirve como indicador de calidad sanitaria del agua. (Cardona, 2011)

Fosfatos. Los fosfatos se encuentran en las aguas naturales en pequeñas cantidades. En las aguas residuales las concentraciones son mayores y provienen de fertilizantes eliminados del suelo por el viento o el agua; excreciones humanas y animales; detergentes y productos de

limpieza. La carga del fosfato total se compone de polifosfato + ortofosfato + compuesto de fósforo orgánico, donde la proporción más elevada es la del ortofosfato. (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo sostenible de la protección social, 2007)

Hierro. El hierro es un elemento que crea problemas en los suministros de agua. Por lo general, estos problemas se presentan a menudo en aguas subterráneas y en aguas de hipolimnio anaeróbico de lagos estratificados; en algunos casos, también en aguas superficiales que provienen de embalses y algunos ríos. Por su exposición al aire, las aguas con contenido de hierro se hacen turbias e inaceptables estéticamente por acción del oxígeno, así como por la oxidación del hierro soluble, en Fe^{3+} el cual forma precipitados coloidales. En bajas concentraciones, el hierro, imparte sabores metálicos al agua. En cuanto al consumo humano, las aguas con concentraciones de hierro, no tiene efectos nocivos para la salud. (Cardona, 2011)

Oxígeno disuelto. El oxígeno disuelto (OD), es la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto en el agua y que es fundamental en los ríos y lagos en óptimas condiciones. Este puede ser un indicador y muestra el grado de contaminación que posee el agua. Por lo general, un nivel elevado de oxígeno disuelto indica una mejor calidad del agua, por el contrario, si los niveles de oxígeno disuelto son muy bajos, la posibilidad de que algunos peces y otros organismos sobrevivan es limitada. (Pulla, 2007)

pH. Influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como las incrustaciones en la redes de distribución y la corrosión. El pH no tiene efectos sobre la salud, aunque si puede influir en procesos de tratamiento del agua como la coagulación y desinfección. Por lo general, en aguas

naturales, es decir, las aguas que no presentan índices de contaminación, presentan un pH en el rango de 5 a 9. Las guías canadienses han establecido el rango de pH 6.5 a 8.5 para el agua potable. (Martel, 2005)

Parámetros microbiológicos en el agua.

Coliformes totales. Los coliformes totales constituyen un grupo de bacterias que se definen más por las pruebas usadas para su aislamiento que por criterios taxonómicos. Pertenecen a la familia Enterobacteriaceae y se caracterizan por su capacidad para fermentar la lactosa con producción de ácido y gas, más o menos, en un periodo de 48 horas y con una temperatura de incubación comprendida entre 30-37 °C. (Felizzola, 2016)

Son bacilos gramnegativos, aerobios y anaerobios facultativos, no esporulados. Del grupo llamado “coliformes” forman parte varios géneros: Enterobacter, Escherichi, Klebsiella, Citrobacter, etcétera. Pueden encontrarse en el intestino humano y animal, además de otros ambientes como el agua, suelo, plantas, cascaras de huevo, etcétera. (Laboratorio de Tecnología Educativa, 2013)

La *Escherichia Coli*, es la especie bacteriana más común de la microbiología intestinal, se presenta como un comensal del intestino humano pocas horas después del nacimiento. La presencia de *E. Coli* en el agua es una fuerte indicación de una reciente contaminación de aguas residuales o por parte de residuos de animales. Es importante tener en cuenta que esta bacteria puede entrar en el agua de diversas maneras. Por ejemplo, durante la lluvia y derretimiento de

nieve, la *E. Coli* se puede lavar en los arroyos, ríos, lagos o aguas subterráneas de la superficie de la tierra. Otras formas son por medio de la fauna silvestre, fosas sépticas en mal estado, etcétera.

(University of Arizona, 2014)

Autodepuración. Es la capacidad innata de resiliencia y de recuperación, de condiciones fisicoquímicas y biológicas previas a un vertido que posee un curso de agua frente a cualquier proceso de contaminación. En la masa de agua son diluidos los contaminantes y transformados de manera progresiva mediante una serie de descomposiciones bioquímicas que dan como resultado formas más estables. (Hinojosa, s.f)

Existen unas condiciones que favorecen principalmente la autodepuración, dentro de las cuales están:

- La concentración de oxígeno disuelto en el agua: El oxígeno disuelto presente en el agua tiene la función de degradar los contaminantes y garantizar la estabilidad de las condiciones de aerobiosis.
- El grado de turbulencia de la masa de agua: Posibilita mediante la homogenización de la masa de agua la dilución de los contaminantes y aumenta por aireación, la cantidad de oxígeno disuelto en el agua.
- El caudal de la masa de agua: A través de la dilución, permite la disminución del déficit de oxígeno y la concentración de los contaminantes. (Hinojosa, s.f)

Vertido puntual de un río. El agua residual presenta en su composición materia orgánica, inorgánica y microorganismos. Estos contaminantes, una vez vertidos al cuerpo de agua, pueden ser sometidos a los siguientes fenómenos físicos:

- Gran parte de los elementos se alojan en el fondo, resultado de la diferencia de densidades entre el agua y los mismos, por consiguiente, no pueden ser arrastrados por la corriente. Estos pueden ser productos orgánicos o inorgánicos.
- Otros productos orgánicos e inorgánicos permanecen suspendidos en la masa de agua, debido a la corriente y a su densidad semejante a la del agua.
- Las grasas, detergentes y flotantes por su baja densidad, pueden llegar a la superficie y concentrarse en ella al cabo de cierto tiempo (Suarez, 2008)

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable que existe en un agua residual. La DBO en las aguas residuales se presenta por causa de tres clases de elementos:

- Materia orgánica carbonosa, la cual es utilizada por los organismos aerobios como fuente de alimentación.
- Nitrógeno oxidable de nitritos, amoniacal y compuestos de hidrogeno orgánico, elementos que son utilizados por las bacterias específicas del genero Nitrosomas y Nitrobacter como sustrato y que además, oxidan el nitrógeno amoniacal en nitritos y nitratos.
- Compuestos reductores químicos, oxidados por oxígeno disuelto tales como sulfitos, sulfuros y el ión ferroso. (Santambrosio, Ortega, & Garibaldi, 2011)

2.4 Marco Teórico

Método Streeter- Phelps. El modelo simple de Streeter-Phelps es basado en la hipótesis donde la descarga de contaminantes y la tasa de flujo son constantes, y la sección transversal es uniforme. Las concentraciones verticales y laterales de oxígeno y DBO se toman como uniformes a través de cualquier sección transversal y se comportan como un reactor ideal de un flujo en pistón de tal forma que los residuos están repartidos de manera uniforme en la sección transversal del río y que no se produce mezcla a lo largo del eje del mismo siempre y cuando su flujo no sea muy turbulento. (Pestana, 2016).

Zona de Degradación. Zona inmediata donde se incorporan las aguas contaminadas al río y es el área donde hay mayor concentración de contaminantes.

Zona de Descomposición Activa. Zona donde el oxígeno desciende a los niveles mínimos. No hay peces y los organismos descomponedores trabajan activamente, a la vez, se desprenden gases que causan el mal olor como el metano y los sulfatos.

Zona de Recuperación. El oxígeno aumenta y el agua se ve más clara, lo que permite que vuelva la vida acuática macroscópica.

Zona de agua limpia. Son las condiciones de corriente natural en el que el oxígeno disuelto puede llegar a la saturación pero pueden quedar algunos patógenos resistentes y compuestos metálicos (Suárez, 2008).

2.5 Marco Legal

Constitución Política de Colombia de 1991. Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La Ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines. (Congreso de la República, 1991)

Decreto 2811 de 1974. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, donde el Presidente de la Republica de Colombia en ejercicio de las facultades extraordinarias conferidas por la ley 23 de 1973 y previa consulta con las comisiones designadas por las Cámaras Legislativas y el Consejo de Estado, respectivamente, decreta el cumplimiento de dicho decreto.

Decreto 3930 de 2010. Por el cual se reglamente parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI-Parte III-Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.

Decreto 1640 de 2012. Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones.

Decreto 1575 de 2007. Del Ministerio de Protección Social, por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

Resolución 0631 de 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

Resolución 2115 de 2007 “Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”

Resolución 1207 de 2014. Del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.

Capítulo 3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación desarrollado en este trabajo de grado fue de carácter mixto, puesto que se utilizaron métodos cualitativos y cuantitativos para describir la capacidad auto-depuradora del río Algodonal en el tramo de La Ermita hasta la Bocatoma de la planta de tratamiento de ESPO SA de Ocaña, Norte de Santander, esto a través de muestras de agua que permitieron conocer el estado actual y final del cauce, después de su recorrido por el tramo ya mencionado, además de servir como base para la gestión del recurso hídrico en la población de estudio y fuente de información para la misma.

3.2 Población

La población objetivo es la que se encuentra localizada en el corregimiento de la Ermita hasta el sector de la Bocatoma de la ESPO SA, trayecto en el que se realizaron los respectivos muestreos y que serán de beneficio en cuanto a información para dicha población.

3.3. Muestra

La muestra correspondió a los puntos seleccionados del tramo para la toma de muestras ubicando estos en la Ermita, la mitad del trayecto y antes de la entrada a la Bocatoma de la ESPO SA, en los cuales se evaluó y comparó la capacidad auto depuradora que poseen.

3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de la información

En el trabajo de campo se pudo recolectar las muestras de agua en cada punto que luego fueron llevados al laboratorio de aguas de la UFPSO para su posterior análisis en donde se determinó la DBO y el OD, como información primaria.

En cuanto a la información secundaria se utilizaron las siguientes fuentes:

Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Algodonal.

Instrumento elaborado La Corporación Autónoma Regional de Norte de Santander (CORPONOR), en el cual se planifica el uso del territorio y los recursos naturales y se orienta los procesos de ocupación de los mismos, con el fin de garantizar la funcionalidad y sostenibilidad del sistema natural, soporte de la población y de los procesos sociales y económicos de la Cuenca del río Algodonal.

Política Nacional para la Gestión del Recurso Hídrico. Es un instrumento que establece los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción estratégica para el manejo del recurso hídrico en el país; se busca establecer directrices unificadas para el manejo del agua en el país, que aparte de dirigirse a resolver la problemática actual del recurso hídrico, permitan hacer un uso eficiente del mismo y poderlo preservar como una riqueza natural para el bienestar de las generaciones futuras en Colombia.

Plataformas digitales. Google Earth, Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

3.4 Metodología

3.4.1 Identificación de puntos de posibles vertimientos. Se realizó un recorrido por el corregimiento de la Ermita para determinar los posibles puntos de vertimientos dirigidos al río Algodonal y se implementaron encuestas que permitieron información detallada sobre el tipo de disposición de las aguas domésticas residuales y el tratamiento que se le realizaban a las mismas, encontrando pocos vertimientos en la zona.

3.4.2 Identificación de puntos de muestreo. Se localizaron tres puntos donde se realizó el muestreo mediante la plataforma de Google Earth y visitas al corregimiento para determinar las mejores posiciones de acuerdo al estudio; de esta manera, se escogieron tres puntos, a la entrada de la Ermita (coordenadas), a la salida del corregimiento y el último lo más cercano posible a la bocatomía

3.4.3 Caracterización hidráulica de cada uno de los puntos. Luego de identificados los puntos para el muestreo se realizó una caracterización hidráulica a cada uno de ellos por medio de aforos, midiendo en cada punto el ancho, la profundidad y velocidad para así calcular el caudal de cada uno de ellos. La velocidad fue medida mediante un correntómetro, equipo utilizado para estas mediciones en corrientes de agua. Luego de medir el ancho de cada tramo

donde se hizo el aforo se dividió en partes iguales para tomar un promedio de las profundidades y velocidades en cada segmento y así calcular el caudal en cada uno de los puntos. Ver **Anexo**

3.4.4 Muestreos calidad del agua. Se realizó el respectivo desplazamiento hacia un punto específico aguas arriba del corregimiento de la Ermita y aguas abajo antes de la bocatoma, precisando la calidad del recurso hídrico a través de la toma de muestras que serán llevadas al laboratorio de la UFPSO. La metodología para la toma de muestras de agua cuenta con los siguientes pasos:

Preparación del muestreo.

- Preparación de los envases a utilizar para la toma de muestras
- Preparación de las hojas de cadena de custodia
- Coordinación para el transporte de las muestras
- Preparación y calibración de equipos de campo para el análisis “in situ”
- Preparación del equipo a utilizar para el muestreo (GPS, guantes, cámara fotográfica, caja)
- Preparación de los equipos de seguridad
- Organización de la logística para la actividad del muestro

Toma de muestras. El procedimiento para la toma de muestras contará con el siguiente orden:

- Llenar los recipientes de muestreo con una cantidad de agua del cuerpo hídrico seleccionado para el muestreo

- Rotular los recipientes para mayor seguridad de la muestra
- Registrar la localización del punto de muestreo real con GPS
- Caracterizar el sitio con fotografías
- Identificación de la muestra
- Transporte de la muestra hacia el laboratorio de aguas de la UFPSO para el respectivo análisis de parámetros (DBO, oxígeno disuelto)

3.4.5 Cálculo carga contaminante corregimiento. A continuación, se presenta la ecuación de Streeter Phelps:

$$D = D_0 e^{-k_a t} + \frac{k_d L_0}{k_a - k_r} (e^{-k_r t} - e^{-k_a t}) \quad (1.6.14)$$

$$D = D_0 e^{-k_a t} + \frac{k_d L_0}{k_a - k_r} (e^{-k_r t} - e^{-k_a t}) \quad (1.6.14)$$

Donde:

D – Déficit de oxígeno disuelto en tiempo t

D₀ – Déficit de oxígeno disuelto (OD) inicial

L₀ – Demanda bioquímica de Oxígeno ultima al inicio

K_a – Tasa de reaeración

K_d – Tasa de desoxigenación

K_r – Tasa de remoción de DBO

t – Tiempo

L – DBO remanente

La metodología de Streeter-Phelps, permite calcular el déficit y la recuperación del oxígeno, después que la fuente haya recibido el vertido de la carga contaminante.

Balance de masas. Para determinar la evolución de la carga contaminante contaminación tributada por el vertimiento de aguas residuales domesticas en el rio, se planteó una ecuación del balance de masas.

$$C_m = \frac{Q_R * C_R + Q_V * C_V}{Q_R + Q_V} \quad (2)$$

Dónde:

Q_R = caudal circulante por el río aguas arriba del punto de vertido (m³/s).

C_R = concentración del parámetro indicador de contaminación seleccionado (mg/L).

Q_V = caudal del vertido (m³/s).

C_V = concentración del parámetro indicador de contaminación seleccionado (mg/L).

C_m = concentración final de la corriente de agua aguas abajo del vertido (mg/L).

Homogeneización de la mezcla. Teniendo en cuenta que el vertimiento se realiza desde la ribera del rio, se calculó la distancia de la homogeneización de la mezcla utilizando la siguiente ecuación:

$$L_m = 0.12 * U \frac{B^2}{H} \quad (3)$$

Dónde:

L_m = Distancia desde la fuente hasta la zona en donde la descarga se ha mezclado completamente en la masa de agua, en metros.

U = velocidad media en el tramo, en metros por segundo.

B = anchura media en el tramo, en metros.

H = profundidad media de la corriente, en metros.

En lo referente a la caracterización hidrológica, relacionada con la estimación del tiempo medio de viaje; las características hidrodinámicas de la corriente como la profundidad del agua y las velocidades media máxima; se realiza según lo estipulado en la metodología para la definición de la longitud de influencia de vertimientos sobre corrientes de agua superficial (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, 2013).

Constante de desoxigenación. Esta constante puede calcularse mediante la siguiente ecuación: (Sierra, 2011)

$$\frac{d}{dt} = L * K_1 \quad (4)$$

O también :

$$L = L_0 e^{-k_1 t} \quad (5)$$

Donde:

- $\frac{d}{dt}$ = Tasa de oxidación de la materia orgánica
- L = Materia orgánica remanente en el tiempo t , mg/L
- t = Tiempo de reacción, d
- K_1 = Constante de desoxigenación, base e, d^{-1}
- t = Tiempo, d

Constante de reaireación. Otra variable a tener en cuenta es la constante de reaireación, la cual determina cómo, a través del movimiento de las masas de agua en el caudal de un río, se renueva el oxígeno, principalmente por difusión del aire.

La constante de reaireación puede calcularse mediante la aplicación de las siguientes ecuaciones:

$$\text{O'Connor y Dobbins: } K_2 = 3.93 \frac{U^{0.5}}{K^{1.5}} \quad (6)$$

$$\text{Churchil } : K_2 = 5.026 \frac{U}{H^{1.67}} \quad (7)$$

$$\text{Owens y Gibbs: } K_a = 5,032 \frac{U^{0.67}}{H^{1.85}} \quad (8)$$

Donde:

K_a = Constante de reaireación, d^{-1}

U = Velocidad de la corriente, m/s

H = Profundidad de la corriente, m

De igual manera, se debe determinar la concentración de saturación en el agua, mediante la siguiente expresión:

$$ODS = 14,652 - (0,41022 * T) + (0,007991 * T^2) - (0,000077774 * T^3). \quad (9)$$

Donde:

- ODS = concentración de saturación de OD, mg/l
- T = temperatura, °C

Esta ecuación aplica para condiciones de nivel del mar y a presión de una Atm y 760 mm/Hg.

En condiciones de diferentes altitudes se debe corregir el valor de ODS

$$P = 760 e^{\frac{E}{8.005}} \quad (10)$$

Donde:

P = presión atmosférica a la elevación E , mm Hg

E = elevación, msnm (Romero Rojas, 2004)

Una vez realizados los cálculos pertinentes, el modelo permite una representación gráfica del comportamiento de la fuente contaminada, mediante una gráfica SAG y teniendo como referencia los valores de oxígeno disuelto y de DBO.

La curva se obtiene de graficar la siguiente ecuación:

$$t_c = \frac{1}{K_2 - K_1} \ln \left[\frac{K_2}{K_1} \left(1 - \frac{D_0(K_2 - K_1)}{K_1 L_0} \right) \right] \quad (11)$$

$$D_c = \frac{K_1}{K_2} L_0 e^{-K_1 t_c} \quad (12)$$

Dónde:

t_c = tiempo de flujo hasta el punto crítico, d

D_c = Déficit crítico, mg/l

K_1 y K_2 = Constantes definidas anteriormente, d^{-1}

D_0 = Déficit inicial de oxígeno, mg/l

L_0 = DBOUC inicial para $t=0$, mg/l

3.4.6. Estimación de la tasa de decaimiento de patógenos. Para conocer el grado de autodepuración del río en lo que respecta se tiene en cuenta la Estimación de la tasa de decaimiento de patógenos. Para el efecto se utiliza como parámetro la presencia de coliformes totales en el cuerpo de agua; para ello se utiliza la ecuación propuesta por (Chapra, Pelleiter, & Tao., 1997):

$$C_{t=} C_0 e^{-kb} \quad (13)$$

Donde:

C_t = Concentración en el tiempo t

C = concentración de coliformes en NMP/100ml

C_o = concentración inicial de coliformes

K_b = tasa de decaimiento total (d^{-1}).

De otra parte, para el cálculo de tasa de decaimiento de patógenos se debe tener en cuenta aparte de la tasa de mortalidad (K_b); la tasa de perdida por radiación solar y la tasa de adherencia por sedimentación.

Así entonces la tasa de decaimiento se representa por la expresión:

$$K'_b = K_{b1} + K_{bi} + K_{bs} \quad (14)$$

Donde:

K'_b = tasa de decaimiento total (d^{-1}).

K_{b1} = tasa de mortalidad base (d^{-1}).

K_{bi} = tasa de perdida por radiación solar (d^{-1}).

K_{bs} = tasa de pérdida por sedimentación.

Para calcular tasa de mortalidad base K_{b1} se tiene en cuenta la salinidad del agua.

$$K_{b1} = (0.8 + 0.2s) * 1.07^{t-20} \quad (15)$$

La salinidad para aguas dulces es cero.

La expresión para el cálculo de pérdida de patógenos por efectos de la radiación es la siguiente:

$$K_{b1} = \alpha * I$$

Donde:

α = constante de proporcionalidad.

I: energía lumínica.

La tasa de pérdida por sedimentación se puede calcular mediante la expresión:

$$K_{bs} = F_p * \frac{Vs}{H} \quad (16)$$

Donde F_p es la fracción de bacteria atacadas por partículas.

Entonces la tasa de decaimiento total se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$K_b = (0.8 + 0.02_s) * 1.07^{t-20} + \frac{\alpha}{keH} * (1 - e^{-keH}) + F_p * \frac{Vs}{H} \quad (17)$$

3.4.7. Estimación de la carga contaminante. El título D del RAS (3.2.2) expresa las consideraciones a tener en cuenta para su estimación. Inicialmente es necesario conocer el nivel de complejidad del sistema el cual se muestra en la tabla 2:

Tabla 2.

Niveles de complejidad de sistemas de tratamiento de agua

Nivel de complejidad	Población	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	< 2.500	Baja
Medio	2.501- 12.500	Baja
Medio alto	12.501-60.000	Media
Alto	> 60.000	Alta

Fuente: RAS, 2017.

El nivel de complejidad del sistema determina los valores de dotación mínima. En la tabla 3 se referencian los valores establecidos en el título B del RAS.

Tabla 3.

Dotación neta de agua potable por habitante/día

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta mínima (L/hab* día)	Dotación neta máxima (L/hab* día)
Bajo	100	150
Medio	120	175
Medio alto	130	-
Alto	150	-

Fuente: RAS, 2010.

Sin embargo, se tiene en cuenta el efecto del clima en la dotación neta establecida en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS B.2.3. del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

Tabla 4.

Dotación neta de agua potable según el clima

Nivel de complejidad	Clima cálido	Clima templado	Clima frío (menos de 20°C)
Bajo	+15%	+10%	No se admite corrección por clima
Medio	+15%	+10%	
Medio alto	+20%	+15%	
Alto	+20%	+15%	

Fuente: RAS, 2010.

Para el cálculo del coeficiente de retorno del agua de uso doméstico servida, entregada como agua negra al sistema de recolección y evacuación de aguas residuales, se utiliza los rangos de valores de R descritos en la en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, D.3.1.

Tabla 5.*Coefficiente de retorno de aguas servidas*

Nivel de complejidad del sistema	Coefficiente de retorno
Bajo	0.7-0.8
Medio	0.7-0.8
Medio alto	0.8-0.85
Alto	0.8-0.85

Fuente: RAS, 2010.

El caudal doméstico se calcula con ecuación 29:

$$Q_d = \frac{C.P.R}{86.400} \quad (29)$$

Dónde:

Q_d = caudal doméstico. En L/s

C = Caudal medio por habitante

P = Población

R = Coeficiente de retorno

$$Q_d = 0.52 \text{ l/s}$$

3.4.8. Contribución de aguas residuales industriales.

Tabla 6*Contribución de vertimientos de aguas residuales según nivel de complejidad*

Nivel de complejidad del sistema	Contribución industrial L/ha/ industria
Bajo	0.4
Medio	0.6
Medio alto	0.8
Alto	1.0-1.5

Fuente: RAS, 2010.

3.4.9. Contribución institucional. Para el cálculo del aporte de la contribución institucional de aguas residuales se tuvo en cuenta los valores establecidos por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS; los cuales se referencian en la tabla 7.

Tabla 7

Contribución institucional de vertimientos de aguas residuales domesticas

Nivel de complejidad cualquiera	Contribución l/ha
	0.4 - 0.5

Fuente: RAS, 2010.

Según la resolución 0883 de 2018, los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales Aguas Residuales Domesticas- ARD de actividades industriales, comerciales o de servicios; y de las Aguas Residuales Domésticas – ARD y de las Aguas Residuales no Domesticas – ArnD de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cumplir serán los siguientes:

- Se deduce que la concentración de oxígeno a 25°C es 8,32 Mg/L.
- El límite permisible de DBO es de 100,00 Mg/L O₂

Con el conocimiento de estos datos, se establecerán las respectivas conclusiones sobre si el agua en el tramo de estudio cumple con los requisitos de calidad establecidos para la comunidad del corregimiento de La Ermita y la que está cerca a la bocatoma de la ESPO S.A

Capítulo 4. Presentación de Resultados

4.1 Descripción del área

La zona de estudio se encuentra en un tramo que comprende desde el corregimiento de la Ermita hasta la bocatoma de la planta de tratamiento de ESPO que se encuentra ubicada en el batallón, con una longitud de 4.65 km.

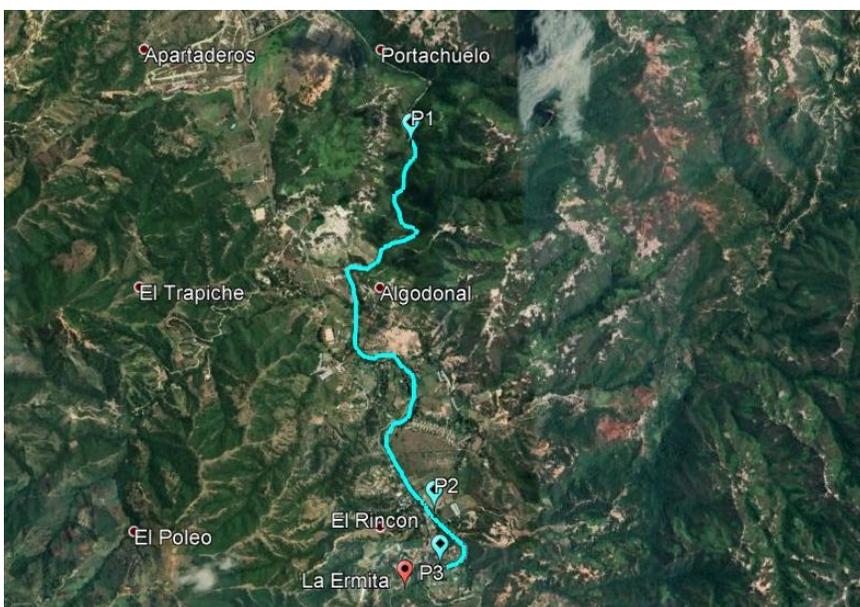


Figura 1 Tramo Río Algodonal, Ermita- Bocatoma ESPO.
Fuente. Google Earth

4.2 Resultados modelo Streeter- Phelps

Se realizó la modelación de datos mediante la ecuación de Streeter-Phelps obteniendo los resultados mostrados en las siguientes tablas:

El tiempo de recorrido entre tramos es aquel que necesita una sustancia disuelta para ser conducida por el movimiento del medio y ser esparcida. Este puede estimarse a partir de aforos como la razón entre la longitud del tramo L y la velocidad del agua V . (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), 2013). Ver tabla 8.

Tabla 8

Tiempo de recorrido entre tramos

Tramo	Distancia (d)	Velocidad (v en m/s)	$t = \frac{d}{v}$	Tiempo en días
Punto 1 al punto 2	690	0.2	57:30	0.04
Punto 2 al punto 3	3960	0.22	5:00:00	0.21

Fuente: Autores del proyecto.

Las características hidrodinámicas del río en los diferentes puntos de muestreo se evidencia en la siguiente tabla. Ver tabla 9

Tabla 9

Caracterización hidrológica de los puntos de muestreo

Punto	Ancho (m)	Profundidad (H en m)	Velocidad (m/s)	Caudal Q (m/s)
1	11.7	0.30	0.30	1.54
2	13.6	0.62	0.27	2.41
3	23.25	1.16	0.39	2.48

Fuente: Autores del proyecto

Para la caracterización hidrológica se realizaron aforos en los puntos dados donde se midieron el ancho, las profundidades y las velocidades en cada punto mediante un correntómetro para hallar los respectivos caudales. Los puntos de muestreo fueron en la entrada y salida de la Ermita y un punto cercano a la bocatoma de la planta de tratamiento.

En la siguiente tabla se evidencian los parámetros necesarios para la utilización del modelo de Streeter-Phelps con vital importancia para establecer el proceso de autodepuración. La información presentada en la tabla muestra los parámetros en cada punto del tramo de estudio realizado. Ver tabla 10.

Tabla 10

Resultados calidad del agua para cada uno de los puntos

Parámetro	Unidades	P1	P2	P3
Temperatura	°C	23.3	23,4	22.6
OD	mgO ₂ /L	7,18	7.58	7,44
DBO5	mgO ₂ /L	12	13	12
Patógenos	Ufc/100mL	4000	46000	19000
Caudal	m ³ /s	1,69	2,41	2,55

Fuente: Autores del proyecto

Se realizaron los muestreos en cada punto donde se tomaron mediciones de temperatura y se llevaron las muestras al laboratorio para su respectivo análisis donde se muestran los resultados obtenidos del mismo.

Para la estimación de la DBO se tiene en cuenta la carga contaminante que ingresa al río, ya que a mayor carga contaminante mayor demanda biológica de oxígeno para su subsistencia por parte de los ecosistemas presentes. Ver Tabla 11.

Tabla 11

DBO calculada para cada punto

Punto	1	2	3
$L = L_0 * e^{-kd*st}$	1,5	3,6	1,4

Fuente: Autores del proyecto

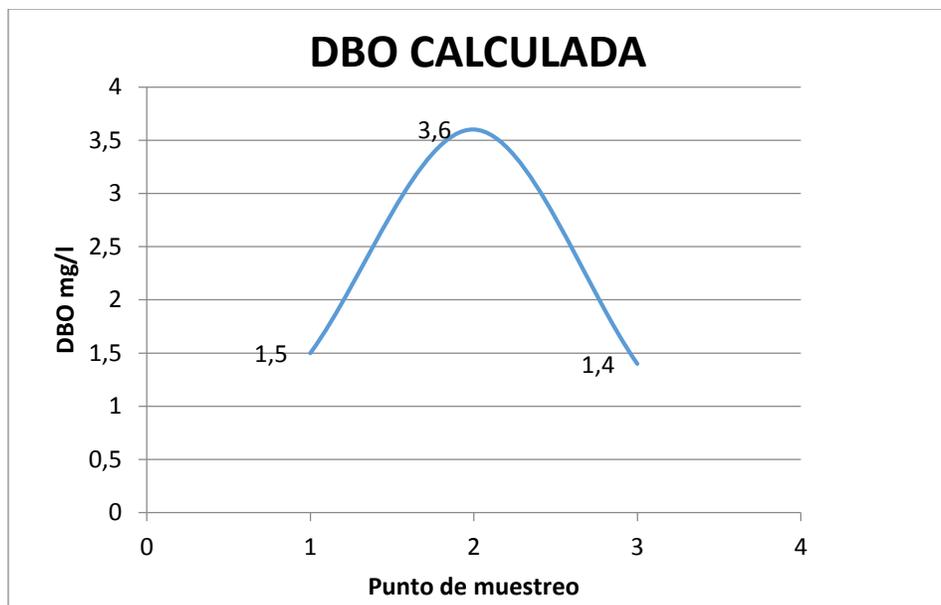


Figura 2. DBO calculada.
Fuente: Autores del proyecto.

Según la figura 2 se puede notar que en el punto 1 de muestreo la DBO venía con un valor bajo y que luego de pasar por el corregimiento (punto 2) tiene un aumento significativo, producido por el vertimiento y se ve reflejado allí; por último en el punto 3 se puede apreciar que durante el trayecto hasta este punto el río se va autodepurando hasta llegar a un valor de 1,4 en DBO, es decir, que se estabiliza a los niveles que tenía antes del vertimiento de la Ermita.

Constante de desoxigenación. Comportamiento de la DBO a través de la utilización de la constante de desoxigenación. De la utilización de la ecuación $(Kd = 0,3 * (\frac{H}{8})^{-4,34})$,

Tabla 12

Constantes de desoxigenación para cada uno de los puntos

Punto	1	2	3
kd	0,17	0,12	0,15

Fuente: Autores del proyecto.

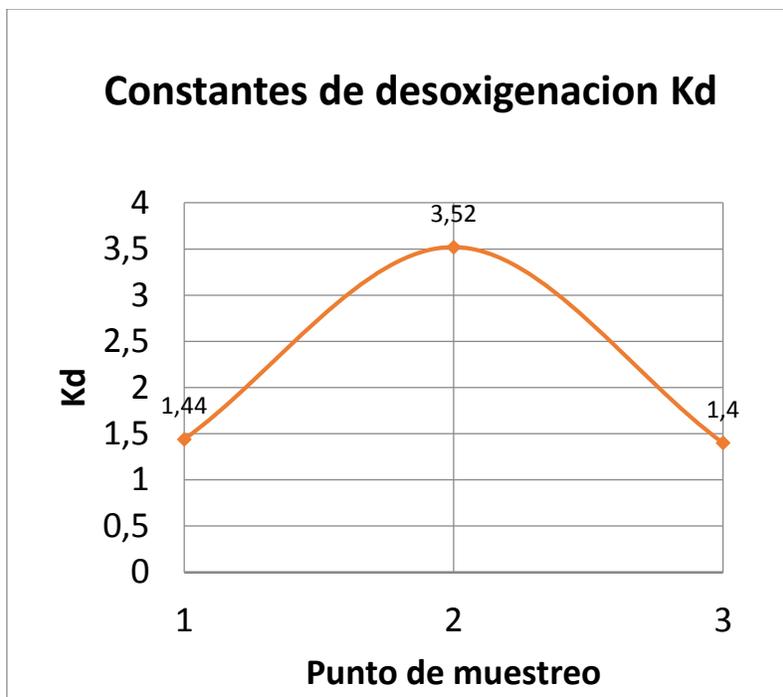


Figura 3. Constantes de desoxigenación Kd
Fuente: Autores del proyecto

De la figura 3 se puede ver el aumento de la desoxigenación producto del vertimiento de la Ermita, lo que hace también que la DBO aumente de manera proporcional a esta y que luego para el punto 3 debido a su capacidad de depuración, el río vuelve a sus valores anteriores de desoxigenación.

Constante de reaireación.

Tabla 13

Modelación de oxígeno disuelto (OD)

PUNTO	OD río	[]de OD Os	OD=Os-OD
1	7,18	8,25	1,07
2	7,58	8,38	0,8
3	8,2	8,53	0,33

Fuente: Autores del proyecto

Estos resultados se obtuvieron restando los datos de concentración de OD y el OD del río en cada punto de muestreo.

El coeficiente de reaireación (K_a) se estableció mediante la utilización de la ecuación 9, propuesta por Owens y Gibbs

Tabla 14

Coeficiente de reaireación

Punto	1	2	3
K_a	13,1	4,18	1,96

Fuente: Autores del proyecto

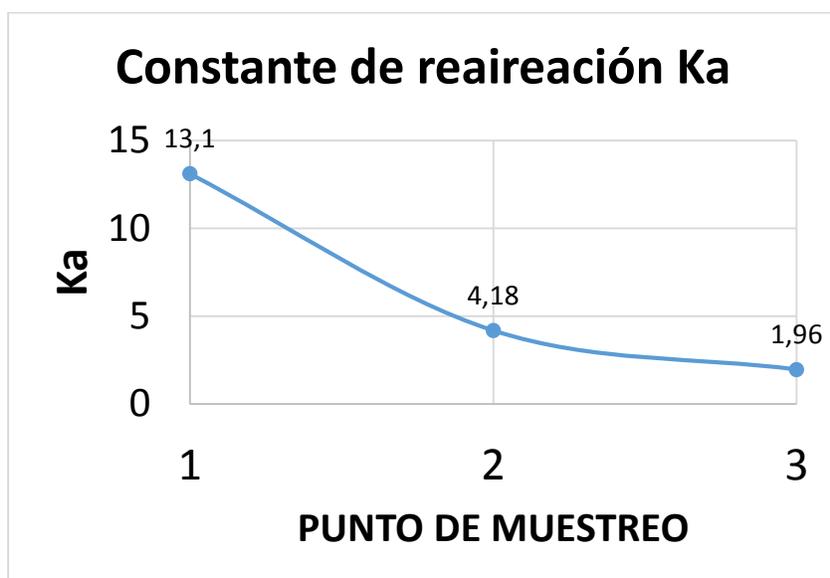


Figura 4 Constante de reaireación K_a

Fuente: Autores del proyecto

De acuerdo a la figura 4 se puede ver el cambio en la reaireación, que viene de un valor de 13,1 antes de la Ermita y al pasar por el punto 2 que es el del vertimiento se produce un intercambio gaseoso entre el oxígeno del río en ese punto con el de la atmósfera viéndose reflejado en un valor de 4,18 y luego al punto 3 el río llega a su punto de saturación por lo que no se produce un intercambio gaseoso y la reaireación es de 1,96.

Déficit de oxígeno. Se puede calcular mediante la ecuación también propuesta por el modelo:

$$D = K_d L_0 (e^{-K_d t} - e^{-K_a t}) * D_0 * e^{-K_a t} / (K_a - K_d)$$

Tabla 15

Déficit de oxígeno

Punto	déficit de Oxígeno (D)
1	0,4
2	1,2
3	1,0

Fuente: Autores del proyecto

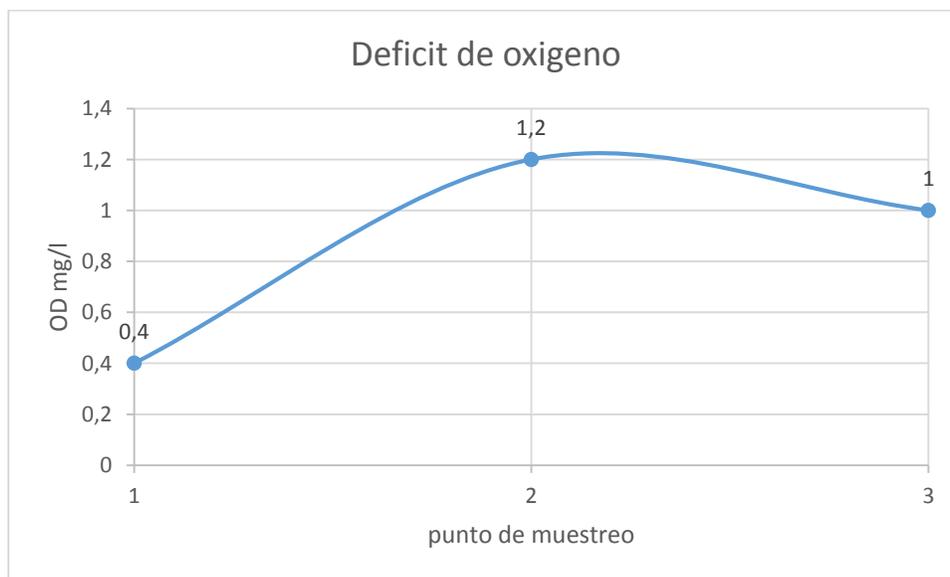


Figura 5 Déficit de oxígeno.

Fuente: Autores del proyecto

De la figura anterior se puede apreciar el aumento en el déficit de oxígeno producido por el vertimiento, el cual hace que disminuye el oxígeno disuelto y sea más difícil la degradación de los contaminantes por parte del cuerpo de agua y en el punto 3 comienza a disminuir pero aún se

necesita una distancia mucho más larga a la del tramo de estudio para volver a las condiciones normales que tenía antes del corregimiento.

En la siguiente tabla se presenta el comportamiento de la relación entre el OD y la DBO a través de constantes que permiten el cálculo del déficit de oxígeno en el río. Entre menor sea la presencia de oxígeno en el agua, mayor va a ser la demanda biológica de oxígeno por parte de los ecosistemas. Ver tabla 16.

Tabla 16

Comportamiento del OD vs la DBO

Punto	kd	ka	D
1	1,44	1,6	0,4
2	3,52	1,6	1,2
3	1,40	1,4	1,0

Fuente Autores del proyecto.

4.3. Modelación del tramo La Ermita a la Bocatoma del Acueducto de Ocaña

Dentro de los puntos escogidos para el muestreo, el punto de mayor importancia es el número 2, pues recibe carga directa de los vertimientos del corregimiento de la Ermita. Teniendo en cuenta que los vertimientos son descargados difusamente, la carga contaminante se calculó de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Para ello fue tomada en cuenta la contribución por aguas residuales domésticas, la proveniente de aguas residuales institucionales, además de la proveniente de las aguas residuales industriales por la existencia de galpones avícolas en la zona.

En la tabla 17 se sintetizan los cálculos de las variables de modelación para el tramo en
mención:

Tabla 17

Resumen de cálculos de las variables de modelación para el tramo 2 (la Ermita-Bocatoma)

VARIABLES tramo 2: correjimiento de la Ermita – bocatoma del acueducto de Ocaña		
VARIABLE/ PARÁMETRO	ECUACION	VALOR
Tiempo de viaje	$t = \frac{L}{v}$	5.07 horas
Balance de caudal	$Q_0 = Q_R + Q_V$	1.51
Distancia de homogeneización	$L_m = 0.12 * U \frac{B^2}{H}$	7.5 m
Balance de OD	$OD_o = \frac{OD_R * C_R + OD_V * C_V}{Q_R + Q_V}$	8.2 mg/L
Balance de DBO	$DBO_o = \frac{DBO_R * C_R + DBO_V * C_V}{Q_R + Q_V}$	2.98 mg/L
Balance de temperatura	$t_r = \frac{t_r^o * C_R + t_v^o * C_V}{Q_R + Q_V}$	23.1°C
Oxígeno de saturación:		8.38 mg/L
Déficit inicial de oxígeno	$D_o = C_s - OD$	0.18 mg/L
Constante de desoxigenación	$K_d = 0.3 * \left(\frac{H}{8}\right)^{-0.434}$	0.12
Constante de reaireacion:	$K_a = 5.32 \frac{U^{0.67}}{H^{-1.85}}$	0.53
corrección de Ka vs temperatura:	$K(t) = K_{20} * \Theta^{t^o - 20}$	0.126
Corrección constante de desoxigenación vs temperatura	$K(t) = K_{20} * \Theta^{t^o - 20}$	0.55
Factor de auto purificación	$f = K_a / K_d$	0.22
tiempo crítico	$t_c = \frac{1}{K_a - K_d} * \ln \left[\frac{K_a}{k_d} \left(1 - \frac{D_o * (k_a - k_d)}{K_d * L_o} \right) \right]$	0.25 días
distancia crítica	$X_c = v * t_c$	264.5 m
Déficit crítico de oxígeno	$D_c = \frac{k_d}{k_a} * DBO_o * e^{-K_d * t_c}$	1.01
Oxígeno disuelto crítico:	$OD_c = O_s - D_c$	7.28
Demanda bioquímica de oxígeno carbonácea:	$DBO_c = DBO_o * e^{-K_d * t_c}$	0.43

Fuente: Autores del proyecto

De igual manera fue calculado el comportamiento del cuerpo ante la presión del disturbio contaminante, utilizando también la ecuación general del modelo:

$$D = D_o e^{-K_a t} + \frac{K_d L_o}{K_a - K_d} (e^{-K_d t} - e^{-K_a t}) + \frac{K_N L_o N}{K_a - K_N} (e^{-K_N t} - e^{-K_a t}) - \frac{r_p - r_{Rp} - K_s / H}{K_a} (1 - e^{-K_a t})$$

Tabla 18

Valores entrada al modelo en el punto: la Ermita.

Distancia x (m)	DBO (mg/L) en la distancia (x)	Dx (Déficit de Oxígeno mg/L)	OD presente en la fuente (mg/L)
0	2,9	5,06	4,50
10	2,85	4,48	4,50
20	2,7	3,97	4,50
30	2,7	3,53	5,00
40	2,7	3,14	5,00
50	2,5	2,8	5,00
100	2,5	1,63	6,00
120	2,5	1,34	6,00
130	2,5	1,22	6,00
140	2,5	1,11	6,00
150	2,5	1,02	6,50
160	2,5	0,94	6,50
170	2,5	0,86	6,50
180	2,5	0,8	7,00
190	2	0,74	8,00
200	2	0,69	8,50

Fuente: Autores del proyecto.

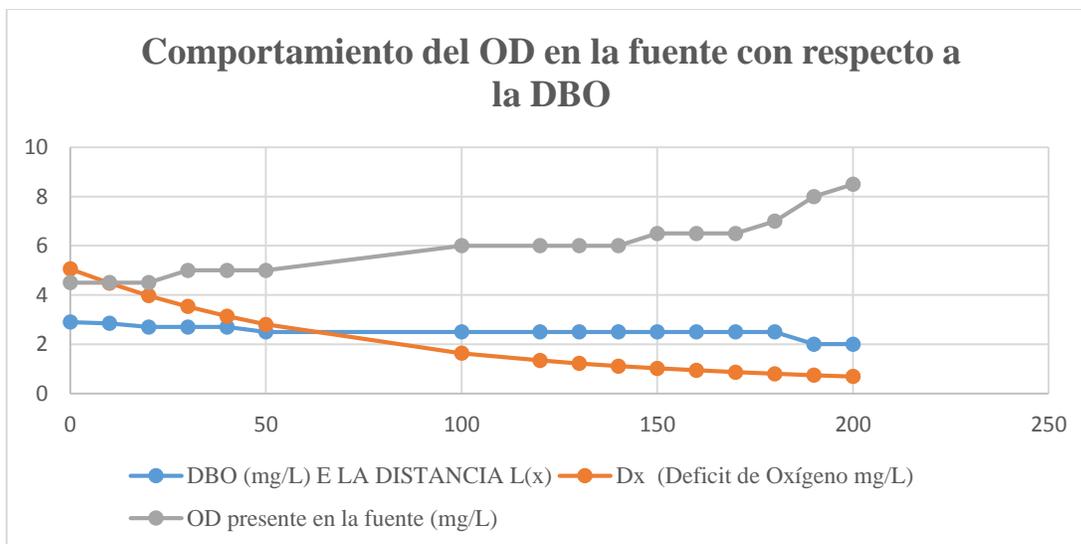


Figura 6 Comportamiento del OD en la fuente con respecto a la DBO
Fuente: Autores del proyecto

La figura anterior muestra el cambio en los valores de los parámetros en los primeros 200 m luego del punto 2 que es cuando pasa por el corregimiento, teniendo los valores iniciales que se muestran, y que luego van cambiando, notándose cómo baja significativamente en estos primeros metros el déficit de oxígeno, viéndose la autodepuración que realiza el río. De la misma manera, se ve el cambio en el oxígeno disuelto, comenzando con un valor bajo y que a medida que pasan los metros, aumenta exponencialmente, pudiéndose notar también dicha depuración.

Por último, la DBO no tiene mucha diferencia pero se ve la tendencia a disminuir, lo que es un buen indicador de la descontaminación del cuerpo de agua a medida que avanzan los metros luego del punto de vertimiento.

Para la determinación del comportamiento del río frente al proceso de autodepuración en lo relacionado con patógenos, se tuvo en cuenta los datos obtenidos en los parámetros de coliformes totales y sólidos suspendidos totales

Tabla 19

Tasa de decaimiento de patógenos

Punto	Patógenos Ufc/100mL	SST mg/l
1	4000	21
2	46000	14
2	19000	13

Fuente: Autores del proyecto.

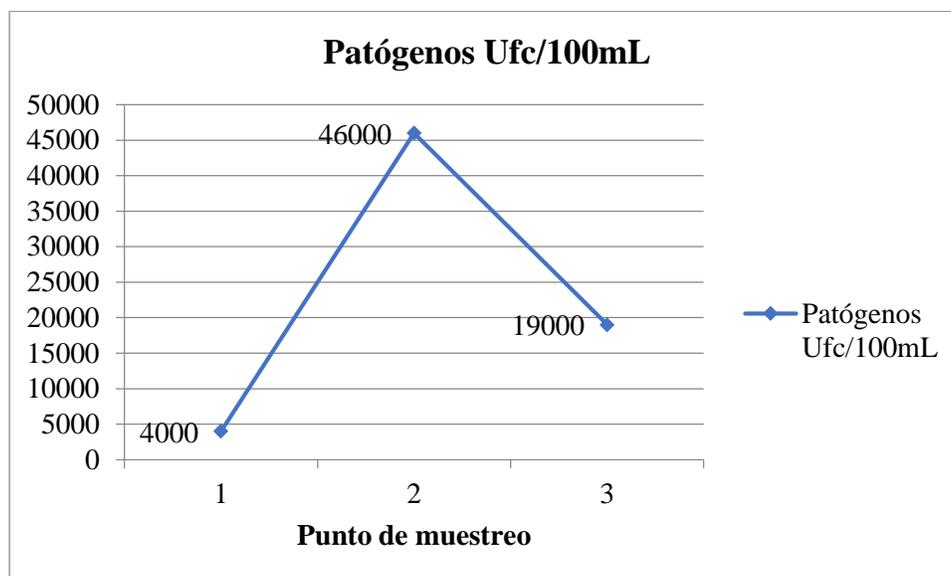


Figura 7 Patógenos
Fuente: Autores del proyecto

En la Figura 7 se puede ver la tendencia de los patógenos, específicamente, coliformes totales, parámetros que se miden en la calidad del agua, en la que al pasar por el punto 2 aumenta de manera muy considerable, llegando hasta las 92000 UFC y en el punto 3 se ve su disminución pero igualmente teniendo un valor alto, por lo que necesitaría de aún más distancia para depurar al punto de llegar a sus valores anteriores a pasar por el corregimiento.

Ecuación planteada por Chapra en 1997, (ecuación 27):

$$K_b = (0.8 + 0.02_s) * 1.07^{t-20} + \frac{\alpha}{keH} * (1 - e^{-keH}) + F_p * \frac{Vs}{H}$$

Una vez aplicada se obtuvieron los resultados de la tasa de decaimiento total K_b en d^{-1} , la tasa de mortalidad base (d^{-1}), la tasa de pérdida por radiación solar en d^{-1} , y la tasa de pérdida por sedimentación K_{bs} ; los cuales se registran en la tabla 20.

Tabla 20

Tasa de decaimiento total

PUNTO	K_{b1}	K_{bi}	K_{bs}	K_b total
1	1,09	27,7	0,69	29,48
2	0,98	20,24	0,33	21,55
3	0,92	11,5	0,18	12,6

Fuente: Autores del proyecto

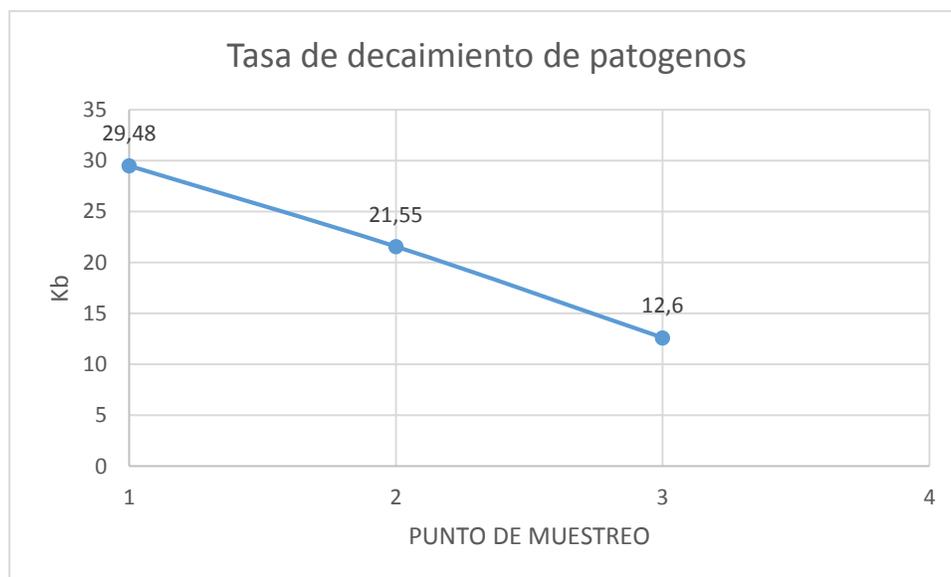


Figura 8 Tasa de decaimiento de patógenos

Fuente: Autores del proyecto

Según Chapra (1997), la tasa de pérdida por salinidad está alrededor de $0,8 d^{-1}$ para agua dulce. El valor encontrado de la tasa de pérdida por salinidad K_{b1} , en promedio fue de $0,95 d^{-1}$, es decir $0,03$ patógenos por hora, es decir una eliminación muy baja, entendible teniendo en cuenta que se trata de un cuerpo de agua dulce. En el caso de la tasa de decaimiento de patógenos por radiación solar (K_{bi}) se encontró un valor promedio de $40,24 d^{-1}$, es decir una tasa de

mortalidad de 1.67 patógenos por hora, lo cual significa el efecto de la intensidad lumínica en el decaimiento de los patógenos. En lo que hace referencia a la tasa de decaimiento por sedimentación, el valor promedio encontrado fue de 0.67d^{-1} , correspondiente a 0.02d^{-1} , un valor bajo de eliminación, explicable teniendo en cuenta que en el momento en que se realizó el presente estudio correspondió a la época de estiaje con bajos niveles de sedimentación.

La tasa total de decaimiento de patógenos se calculó en 41.9d^{-1} , interpretado como la eliminación de 1.74 patógenos por hora.

Conclusiones

Se logró determinar la calidad del recurso hídrico aguas arriba de La Ermita mediante las mediciones y la toma de muestras, lo que indicó un valor de 1,5 que es un valor bajo. Luego de pasar por el corregimiento tiene un aumento pero al final no es tan significativo con respecto a los valores máximos permisibles que están en la resolución 631 de 2015 y al final tiene una recuperación hasta llegar a un valor de 1,4. Lo mismo sucedió para los valores de OD, que de acuerdo con los resultados tuvo un valor de 8,2 mg/l lo que indicó una buena calidad del cuerpo agua en estos parámetros. De la misma manera aguas abajo de acuerdo a estos parámetros, comparándolos con los valores máximos permisibles no tienen una afectación significativa hacia el río.

Al estimar la carga contaminante que se vierte al río Algodonal por parte del corregimiento La Ermita, se logra evidenciar el aumento del déficit de oxígeno el cual cambia de 0.4 a 1.2 cuando se encuentra con el vertimiento. Se puede ver de acuerdo a los resultados que se necesita una mayor distancia a la de la bocatoma para que se tenga de nuevo el valor de déficit de oxígeno que tenía antes de pasar por el corregimiento por lo que se puede ver que la carga contaminante en este caso, logra un cambio en las condiciones del río. Así mismo, según los resultados de la gráfica de la constante de reaireación se muestra un bajón en las condiciones de reaireación propias del río por causa de la carga contaminante vertida al mismo

Se analizó la capacidad de autodepuración del río en el tramo La Ermita a la bocatoma mediante los datos obtenidos mediante la ecuación de Streeter-Phelps que proporcionó la

disminución y posterior recuperación del oxígeno disuelto debido a la carga contaminante, teniendo como distancia crítica 264.5 m con un déficit crítico de oxígeno de 1.01 y oxígeno disuelto crítico de 7.28. Un factor importante que se pudo observar fue el resultado de la tasa de patógenos, teniendo un aumento drástico de 4 mil UFC a 46 mil UFC y que luego de casi 4 km hasta el último punto cercano a al bocatoma termina con 19 mil UFC, cifra preocupante y que ya dependerá de la eficiencia en el proceso de potabilización de la planta de tratamiento del acueducto para determinar la calidad del agua que llega a los habitantes del municipio.

Los resultados obtenidos durante el estudio y realización del trabajo servirán como base del modelo para la realización del plan de ordenamiento para el río Algodonal ya que se hizo en un tramo de suma importancia para el municipio, siendo el recurso hídrico que abastece a Ocaña, y así tener una mayor regulación y control por parte de las autoridades competentes de este cuerpo de agua tan fundamental para la región y que en estos tiempos es relevante e imperativo que se tengan.

Referencias

- Andrade-Perez, A., & Navarrete-Le Blas, F. (2004). Lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integral del recurso hídrico. 111. (P. d. PNUMA, Ed.) México.
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). (Enero de 2013). *ANLA*. Obtenido de **METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN DE LA LONGITUD DE INFLUENCIA DE VERTIMIENTOS SOBRE CORRIENTES DE AGUA SUPERFICIAL:**
http://portal.anla.gov.co/documentos/institucional/Metodologia_-_Longitud_de_Influencia_de_Vertimientos.pdf
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (2013). **METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN DE LA LONGITUD DE INFLUENCIA**. Bogotá.
- Barbosa, L. A. (2004). *Plan de Desarrollo Municipal*. Obtenido de [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pd%20-%20oca%20C3%B1a%20-%20norte%20de%20santander%20-%20construyendo%20futuro%202004%20-%202007%20\(95%20pag%20-%2069%20kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pd%20-%20oca%20C3%B1a%20-%20norte%20de%20santander%20-%20construyendo%20futuro%202004%20-%202007%20(95%20pag%20-%2069%20kb).pdf)
- Cardona, D. (2011). *CARACTERIZACION DEL AGUA CRUDA DEL RIO LA VIEJA COMO FUENTE SUEPERFICIAL PARA EL PROCESO DE POTABILIZACION*. Recuperado el 3 de JUNIO de 2016, de *CARACTERIZACION DEL AGUA CRUDA DEL RIO LA VIEJA COMO FUENTE SUEPERFICIAL PARA EL PROCESO DE POTABILIZACION:*
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2570/62816C268c.pdf;jsessionid=77CBFCBEF8A6CC431968D5963CE2E268?sequence=1>
- Castro Huertas, M. (2015). *Aplicación del Qual12Kw en la modelación de la calidad del agua del Rio Guacaica*. Universidad Nacional de Colombia.
- CEH. (2000). *CEDEX*. Obtenido de https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan%20de%20Recuperaci%C3%B3n%20del%20J%C3%BAcar/Cap.3_part2._Libro_blanco_del_agua.pdf
- Chapra, Pelleiter, & Tao. (1997). *Modeling Framework for simulating River and Stream Water Quality*. Obtenido de Teory and documentation.

- Congreso de la República. (1991). *Constitución Política de Colombia*. Bogotá: Congreso de la República.
- Duarte, C., Pico, G., & Estupiñán, R. (2014). Determinación de la capacidad de autodepuración en un tramo del río Fonce en San Gil con base en el balance de oxígeno disuelto. *Matices Tecnológicos*, 30.
- Felizzola, J. (MAYO de 2016). *DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA BAJO PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS PARA CONSUMO HUMANO DE LA QUEBRADA LA BRAVADEL CORREGIMIENTO DE PUEBLO NUEVO, MUNICIPIO DE OCAÑA N.S.* Recuperado el 3 de AGOSTO de 2016, de DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA BAJO PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS PARA CONSUMO HUMANO DE LA QUEBRADA LA BRAVADEL CORREGIMIENTO DE PUEBLO NUEVO, MUNICIPIO DE OCAÑA N.S:
<http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/1165/1/28775.pdf>
- Ferreira, I. L. (2016). *Repositorio Ufpso*. Obtenido de
<http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/1136/1/28720.pdf>
- Global Water Partnership. (April de 2002). *Introducing Effective Water Governance*. Mimeo.
- Hinojosa, D. F. (s.f). *Manual general de autodepuración de aguas fluviales*.
- IDEAM. (2007). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua*.
- Ideam. (2010). *Agua*. Bogotá: Ideam.
- Instituto Nacional de Salud. (2005). *Octavo curso-taller validación de métodos analíticos. Enfermedades asociadas a la calidad del agua*. Bogotá: Memorias.
- Laboratorio de Tecnología Educativa. (2013). *Recuento de coliformes totales. Filtración a través de membrana*. Obtenido de
http://virus.usal.es/Web/demo_fundacua/demo2/FiltraMembColit_auto-html
- Maillard, I. (2010). *Reporte de mantenimiento de instalaciones hidráulicas y sanitarias del palacio de gobierno de Xalapa, Veracruz*. Veracruz: Universidad de Veracruz.
- Martel, A. B. (10 de Enero de 2005). *ASPECTOS FISICOQUIMICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA*. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>

- Mejía, J. (2010). *Estudio sobre la calidad de agua potable del caton*. Recuperado el 2 de junio de 2016, de estudio sobre la calidad de agua potable en el caton:
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2589/1/tm4362.pdf>
- Mejía, M. (2005). Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la microcuenca El limón, San Jerónimo, Honduras. Honduras.
- Ministerio de ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Guía Nacional de Modelación del Recurso Hídrico para aguas superficiales continentales*. Bogotá, DC.
- Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo sostenible de la protección social. (2007). *Resolución 2115 de 2007, junio 22*. Bogotá: Minambiente.
- Molina, J. D., & Castro, F. (2015). *DETERMINACION DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE PARAMETROS FISICO QUIMICOS Y MICROBIOLOGICOS EN LA MICRO CUENCA QUEBRADA LA ESTANCIA EN GONZALEZ, CESAR*. Ocaña: Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña .
- Molina, J., & Castro, F. (2015). *Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña*. Obtenido de <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/923/1/28025.pdf>
- Montes, R., Navarro, I., Dominguez, R., & Jimenez, B. (2013). Modificación de la capacidad de autodepuración del Río Magdalena ante el cambio climático. 1. Universidad Nacional Autónoma de México.
- PBOT. (16 de Septiembre de 2002). *Ordenamiento Territorial*. Obtenido de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/oca%C3%B1anortedesantanderpbot2002.pdf>
- Pestana, J. A. (2016). *UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS*. Obtenido de VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA.1948:
<http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/9208/Thesis%20Jorge%20Alberto%204.0.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pulla, E. P. (26 de Junio de 2007). *ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL ING. EN AUDITORIA Y CONTROL DE GESTIÓN*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf>

- Quiroz, L., Izquierdo, E., & Menéndez, C. (2017). ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SOBRE LA CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DEL RÍO PORTOVIEJO, ECUADOR. *Centro Azúcar*, 73.
- Ramos, D. S. (2016). *Ingeniería Ambiental Calidad de las aguas*. Universidad de Castilla-La Mancha.
- Riaño, M., Vigoya, L., Mancipe, N., & Sanabria, M. (2017). Formulación ecohidráulica para evaluar la capacidad de autodepuración de ríos de montaña. *Producción + limpia*, 103-104.
- Romero Rojas, J. (2004). *Tratamiento de aguas residuales*. Bogota: Escuela colombiana de Ingeniería.
- Santambrosio, E., Ortega, M., & Garibaldi, P. (27 de Octubre de 2011). *UTN*. Obtenido de Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario:
https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5_anio/biotecnologia/DBO.pdf
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrobiología. (2007). Monitoreo de Calidad de Aguas de los Ríos en el Perú. 2-9. Perú.
- Sierra, C. (2011). *Calidad del agua, evaluación y diagnostico*. Universidad de Medellín.
- Suárez, J. (2008). Calidad de aguas en ríos, autodepuración. Universidad de Coruña.
- Suarez, J. (04 de Marzo de 2008). *CERES*. Obtenido de
http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:S7kVGIEICWYJ:ftp://ceres.udc.es/master_en_ingenieria_del_agua/master%2520antiguo_antes%2520del%25202012/Segundo_Curso/Modelos_de_Calidad_de_Aguas/material%25202010-2011/MCA_Tema_5__MODELOS_DE_CALIDAD_DE
- UNAD. (2004). *leccion 2 criterios para la calidad de agua*. Recuperado el 16 de junio de 2016, de leccion 2 criterios para la calidad de agua:
http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido_en_linea_Disenio_de_Plantas_Potabilizadoras/leccin_2_criterios_de_calidad_del_agua.html
- University of Arizona. (01 de Abril de 2014). *COLLEGE OF AGRICULTURE AND LIFE SCIENCES*. Obtenido de
<https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1624s.pdf>

Apéndices

Apéndice A Toma de muestras para análisis de laboratorio





Apéndice B Modelo de Encuesta Realizada

Encuesta "DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DEL RIO
ALGODONAL DEL TRAMO LAERMITA- BOCATOMA DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE ESPO. SA DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER"

Fecha:

Hora:

Lugar:

Marque con una x o responda cuando sea necesario.

1. ¿Cree usted que los sistemas de tratamiento de aguas son importantes?

-Si ()

-No ()

¿Por qué?

2. ¿Sabe usted por qué es necesario contar con un sistema de tratamiento de aguas?

Justifique su respuesta

3. ¿Se preocupa usted por el tratamiento de las aguas de su vivienda y corregimiento?

-Si ()

-No ()

4. ¿Conoce usted cuales son los tipos de tratamientos de aguas con los que cuentan las viviendas de la Ermita?

-Si ()

-No ()

5. ¿Con qué tipo de tratamiento cuenta usted en su vivienda?

-Pozo Séptico ()

-Alcantarillado ()

-No cuenta con tratamiento de aguas ()

6. ¿Es útil el sistema de tratamiento con el que cuenta en su vivienda?

-Si ()

-No ()

¿Por qué?

7. ¿Conoce cuál es el destino final de las aguas tratadas en el sistema de tratamiento de su vivienda?

-Si ()

-No ()

Justifique su respuesta
