	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(100)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	JUAN CAMILO CANTILLO HENAO MANUEL SOLANO TELLEZ		
FACULTAD	FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE		
PLAN DE ESTUDIOS	PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA AMBIENTAL		
DIRECTOR	MSc. WILSON ANGARITA CASTILLA		
TÍTULO DE LA TESIS	EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL VERTIMIENTO GENERADO POR LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE ÁBREGO, NORTE DE SANTANDER SOBRE EL RÍO ALGODONAL		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>ESTE TRABAJO HACE PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS EN RELACIÓN A LA CAPACIDAD DE ASIMILACIÓN DEL RÍO ALGODONAL FRENTE A LA DESCARGA DEL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE ÁBREGO, A TRAVÉS DEL MODELO MATEMÁTICO STREETER - PHELPS, CON ELLO ESTIMAR LOS IMPACTOS ORIGINADOS EN RELACIÓN A LA CALIDAD DEL AGUA Y DE ESTA FORMA PROMOVER LA GESTIÓN Y EL APROVECHAMIENTO COORDINADO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 100	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 17	CD-ROM: 1



EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL VERTIMIENTO GENERADO POR LA LAGUNA DE
OXIDACIÓN DE ÁBREGO, NORTE DE SANTANDER SOBRE EL RÍO ALGODONAL

AUTORES:

MANUEL SOLANO TELLEZ

JUAN CAMILO CANTILLO HENAO

Proyecto de Grado presentado para Optar el Título de Ingeniero Ambiental

DIRECTOR:

Msc. WILSON ANGARITA CASTILLA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE

INGENIERÍA AMBIENTAL

Ocaña, Colombia

mayo 2021

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios por tomar el control de mi vida y de todos mis asuntos, por brindarme su ayuda, fortaleza, sabiduría y paz.

A mi familia por brindarme su apoyo incondicional, además de ser la principal motivación para superar todo aquel tropiezo en mi vida.

JUAN CAMILO CANTILLO HENAO

Gracias a Dios por guiarme en todo el camino y ayudarme a superar cada uno de los obstáculos para cumplir esta meta tan grande. Este proyecto va dedicado especialmente a mis padres porque sin ellos esto no sería posible, a mis dos hermanos y familiares que me apoyaron en todo momento.

Agradecer a mis compañeros y amigos de la universidad que junto a mi caminaron a lo largo de todo el proceso, principalmente a mi compañero de tesis.

MANUEL SOLANO TELLEZ

A nuestro director Wilson Angarita Castilla por su dedicación, comprensión y apoyo en todo el proceso de investigación y desarrollo del proyecto, además de brindarnos soporte para fortalecer todos los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera.

Tabla de Contenido

Capítulo 1. Evaluación Ambiental del Vertimiento Generado por la Laguna de Oxidación de Ábrego, Norte de Santander sobre el Río Algodonal.	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Formulación del problema.....	3
¿Cuál es el impacto del vertimiento generado por la laguna de oxidación de Ábrego, Norte de Santander?.....	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 General	4
1.3.2 Específicos	4
1.4 Justificación	5
1.5 Delimitaciones	7
1.5.1 Delimitación Geográfica.	7
1.5.2 Delimitación Tiempo.	7
1.5.3 Delimitación Conceptual.	7
1.5.4 Delimitación Operativa.	7
 Capítulo 2. Marco referencial	 8
2.1 Marco Histórico	8
2.2 Marco Contextual.....	12
2.3 Marco Conceptual	14
2.3.1 Conceptos relacionados al agua.	16
2.3.2 Características físicas y químicas de las aguas residuales.	16
2.4 Marco Teórico.....	18
2.4.1 Aspectos generales sobre la problemática.....	18

2.4.2 Estudios sobre lagunas de oxidación.....	21
2.4.2.1 Concentraciones presentes en aguas residuales que pueden ser removidas en lagunas de oxidación.	22
2.4.2.2 Ventajas y desventajas de implementar lagunas de oxidación.	25
2.4.3 Modelo matemático de Streeter - Phelps.	27
2.5 Marco Legal.....	28
Capítulo 3. Diseño Metodológico.....	31
3.1 Tipo de Investigación	31
3.2 Población.	32
3.3 Muestra.....	33
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de información.....	33
3.5 Análisis de Información.....	34
Capítulo 4. Administración del proyecto.....	39
4.1 Recursos humanos.....	39
4.2 Recursos Institucionales	39
4.3 Recursos Materiales	39
4.4 Recursos Financieros.....	40
Capítulo 5. Resultados	41
5.1 Describir los procesos de operación de la laguna de oxidación	41
5.2 Identificar los impactos ambientales originados por la laguna de oxidación sobre el Río Algodonal	45
5.3 Predecir el impacto del vertimiento proveniente de la laguna de oxidación mediante modelación de la calidad del agua, a través del modelo matemático Streeter-Phelps	61

Capítulo 6. Conclusiones	80
Capítulo 7. Recomendaciones	83
Referencias	84

Lista de Figuras

Figura 1. Ubicación de la laguna de oxidación, en el municipio de Abrego, Norte de Santander.	12
Figura 2. Descripción del proceso para la ejecución del proyecto.....	32
Figura 3. Curva DOSAG o del valle de oxígeno disuelto.....	35
Figura 4. Canal de conducción de aguas residuales	42
Figura 5. Recamara de entrada de aguas residuales a la laguna de oxidación	43
Figura 6. Plano de diseño de la laguna de oxidación de Ábrego	44
Figura 7. Lista de chequeo dirigida a la identificación de impactos sobre el Río Algodonal	46
Figura 8. Grafica de la función de transformación referente a olores ofensivos	53
Figura 9. Grafica de la función de transformación referente a los resultados obtenidos del estudio del índice de calidad ICOMI	54
Figura 10. Grafica de la función de transformación referente a los resultados obtenidos del estudio del índice de calidad ICOMO	55
Figura 11. Grafica de la función de transformación referente a los resultados obtenidos del estudio del índice de calidad ICOSUS	56
Figura 12. Grafica de la función de transformación referente a los resultados obtenidos del estudio del índice de calidad ICOpH	57
Figura 13. Grafica de la función de transformación referente a los resultados obtenidos del estudio social	59
Figura 14. Matriz de impactos Batelle – Columbus modificada	60
Figura 15. Evolución de la DBO en distintos puntos de muestreo	76
Figura 16. Evolución del OD en distintos puntos de muestreo	77
Figura 17. Evolución del ODx vs la DBOx en distintos puntos de muestreo	78

Lista de Tablas

Tabla 1. Cronograma de actividades	38
Tabla 2. Equipos requeridos para el desarrollo de la investigación	40
Tabla 3. Parámetros de calidad del agua del Río Algodonal	48
Tabla 4. Impactos ambientales generados por la laguna de oxidación	48
Tabla 5. Niveles permisibles de calidad del aire por presencia de H ₂ S	49
Tabla 6. Escala valorativa de contaminación del aire por presencia de olores ofensivos	49
Tabla 7. Niveles de calidad de las fuentes (ICO's)	52
Tabla 8. Resultados obtenidos del estudio de olores ofensivos a causa del H ₂ S	53
Tabla 9. Resultados obtenidos de los índices de calidad del agua (ICO'S) con proyecto y sin proyecto	53
Tabla 10. Resultados del índice ICOMI para el caso de los dos puntos analizados	54
Tabla 11. Resultados del índice ICOMO para el caso de los dos puntos analizados	55
Tabla 12. Resultados del índice ICOSUS para el caso de los dos puntos analizados	56
Tabla 13. Resultados del índice ICOpH para el caso de los dos puntos analizados	57
Tabla 14. Tabla valorativa del grado de situación del conflicto	58
Tabla 15. Resultados de la calidad ambiental del río junto al grado de situación del conflicto ...	58
Tabla 16. Valoración del impacto en parámetros y calidad ambiental	58
Tabla 17. Datos hidráulicos y de calidad del agua del Río Algodonal y del efluente proveniente de la laguna de oxidación de Ábrego	61
Tabla 18. Datos hidráulicos y de calidad del agua del Río Algodonal junto a datos obtenidos a través de las ecuaciones de Streeter y Phelps	63

Capítulo 1. Evaluación Ambiental del Vertimiento Generado por la Laguna de Oxidación de Ábrego - Norte de Santander, sobre el Rio Algodonal.

1.1 Planteamiento del Problema

En Colombia, de acuerdo a estudios realizados se considera que el volumen de aguas residuales generadas es aproximadamente un 70-80% del volumen consumido como agua potable, lo que configura el grave problema que se causa por descargas incontroladas de aguas residuales o de aquellas que teniendo sistemas de tratamiento no son funcionales teniendo como causa principal la falta de mantenimiento adecuado de los mismos, siendo así más grave la solución que el problema inicial, si se considera que se han invertido recursos y un gran esfuerzo por parte de los actores involucrados. (Hidalgo & Mejía, 2010).

Las sustancias presentes en los cuerpos de agua es uno de los mayores problemas que se presentan en el recurso hídrico, la introducción de contaminantes por vertimientos incontrolados de uso doméstico, comercial e industrial; provocan un impacto a corto y largo plazo sobre la fuente receptora. Por esto, algunas descargas, están generando problemas ambientales como la alteración en las fuentes hídricas y problemas de salud como enfermedades digestivas, presencia de vectores (moscas, zancudos) que en forma acumulativa se convierten en impactos significativos de las comunidades aledañas, a la salud y al ambiente. (Salazar, 2015)

El municipio de Ábrego, Norte de Santander, con una población según el DANE (2005), estimada de 32.142 habitantes incluyendo la población rural y 14.683 habitantes en la zona urbana, los cuales descargan aguas residuales a la laguna de oxidación. Esta laguna lleva funcionando 36 años aproximadamente a la cual prácticamente no se le han hecho los

mantenimientos necesarios para un funcionamiento óptimo, conllevando esto a la acumulación de lodos y a una remoción ineficiente de agentes físicos, químicos y microbiológicos. Con esto se estima una posible contaminación a la fuente receptora a causa del vertimiento producido por la laguna.

La fuente receptora en este caso el Río Algodonal siendo la proveedora de muchos servicios ecosistémicos importantes resaltando el aprovechamiento para uso doméstico. Teniendo en cuenta que el Río Algodonal es la principal fuente de captación del acueducto que abastece al municipio de Ocaña, la contaminación que se genera por el vertimiento de la laguna de oxidación puede llegar a afectar directamente a la población.

El decreto 050 del 2018, en su artículo 9 habla sobre la evaluación ambiental del vertimiento, medio utilizado para evaluar, predecir y establecer medidas de prevención, mitigación y compensación de los posibles impactos generados por el vertimiento a la fuente receptora.

Para determinar la capacidad de asimilación de una corriente, se debe tener en cuenta su habilidad para mantener las concentraciones de oxígeno disuelto. Estas concentraciones son controladas por la reaireación atmosférica, la fotosíntesis, la respiración de animales y plantas, la demanda de oxígeno de los sedimentos, la demanda bioquímica de oxígeno, el proceso de nitrificación, la salinidad y la temperatura. De esta manera cuando las descargas a un cuerpo de agua no pueden ser asimiladas se presentan condiciones anóxicas donde la tasa de oxidación de la materia orgánica por bacterias es mayor que el suministro de oxígeno disuelto y dan paso a procesos de eutrofización de los cuerpos de agua. (Rubio, Amezquita & Martínez, 2017).

Los primeros trabajos sobre el oxígeno disuelto (OD) en ríos se desarrollaron entre los años 1870 y 1900. Estudios en el río Ohio (1914-1916) permitieron la realización del fundamental trabajo de Streeter y Phelps sobre la modelización matemática del OD. Incluía la aplicación de una sencilla formulación matemática de los principales procesos asociados con el OD en un río, aplicando la ecuación del MTG para estudiar la evolución del OD en una corriente de agua sometida a vertidos. (Sánchez, 2015)

1.2 Formulación del Problema

¿Cuál es el impacto ambiental del vertimiento generado por la laguna de oxidación de Ábrego, Norte de Santander sobre el Río Algodonal?

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Realizar la evaluación ambiental del vertimiento de la laguna de oxidación de Abrego, Norte de Santander, sobre el Río Algodonal.

1.3.2 Específicos

- ✓ Describir los procesos de operación de la laguna de oxidación.
- ✓ Identificar los impactos ambientales originados por la laguna de oxidación sobre el Río Algodonal.
- ✓ Predecir el impacto del vertimiento proveniente de la laguna de oxidación mediante modelación de la calidad del agua, a través del modelo matemático Streeter-Phelps.

1.4 Justificación

“La población de América Latina se encuentra concentrada en ciudades en más de un 80%. Sin embargo, la provisión de agua es insuficiente. Más aun, el 70% de las aguas residuales no tienen tratamiento, lo cual dificulta alcanzar el ciclo del agua, particularmente por el reusó del agua debido a su contaminación”. (Larios et al., 2015).

Colombia no es indiferente en cuanto a esta problemática, ya que cuenta con diversas problemáticas ambientales, unas de estas es el manejo de las aguas residuales ya que en el país se ha visto un alto índice de crecimiento poblacional en las últimas décadas, generando un incremento del aprovechamiento de los recursos naturales en este caso el agua, dejando como consecuencias el deterioro de este recurso, porque cada día se ve en auge la producción de aguas residuales, por lo que es necesario contar con un adecuado sistema de tratamiento para estas. Es por esta razón que el municipio de Abrego, Norte de Santander implementó la obra para la construcción de una laguna de oxidación.

Las lagunas de oxidación son alternativas que han venido aplicándose en los últimos años por permitir un tratamiento a las aguas residuales ya que implican bajos costos de implementación y los resultados son los deseados según experiencias realizadas en municipios, actualmente la empresa busca tener mayor prestigio y cumplir con su responsabilidad ambiental por lo que han optado por estrategias limpias y eficientes para sus efluentes. (Toscano, 2014b).

Es importante saber que la implementación de una laguna de oxidación trae con ellas grandes beneficios, también cabe destacar que tiene algunas desventajas como lo son los altos requerimientos de área, su funcionamiento depende de las condiciones ambientales tales como

la temperatura, la irradiación solar, la velocidad del viento, etc., que son propiedades al azar; se generan olores desagradables a las poblaciones cercanas y deterioro de la calidad del efluente por sobrecargas de contaminantes, bajo algunas condiciones climáticas y en algunos casos contaminación de acuíferos por infiltración.

La presente investigación, por medio de la evaluación ambiental del vertimiento pretende dictaminar el impacto ocasionado al río Algodonal, debido al vertimiento generado por la laguna de oxidación. Esto, a través de un modelo matemático establecido por Streeter y Phelps.

Los lineamientos de la evaluación ambiental del vertimiento están contenidos en el artículo 9 del decreto 050 del 2018, en el cual se contemplan pasos a seguir para la realización de un proyecto a futuro. Para este caso se van a tomar ciertos puntos de guía, ya que la obra a evaluar ya está terminada y se encuentra en funcionamiento desde hace varios años. Para tal caso se van a modificar varios pasos contemplados en el anterior decreto antes mencionado y centrado en la determinación de la capacidad de asimilación de la fuente receptora.

El modelo matemático que se utilizará para la realización del proyecto es un modelo práctico y eficaz en cuanto a la predicción e identificación de la capacidad de asimilación que presenta el Río Algodonal ante el vertimiento generado por la laguna de Oxidación.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Delimitación Geográfica.

La investigación se desarrollará sobre la laguna de oxidación que se encuentra en terrenos de las veredas San Miguel y La Teja en el municipio de Ábrego, Norte de Santander.

1.5.2 Delimitación Tiempo.

El proyecto se pretende desarrollar en su totalidad, en el segundo semestre del año 2020 y primer semestre del año 2021.

1.5.3 Delimitación Conceptual.

En este proyecto se desarrollará teniendo en cuenta los siguientes términos: aguas residuales, laguna de oxidación, evaluación ambiental del vertimiento, capacidad de asimilación, modelo matemático.

1.5.4 Delimitación Operativa.

Para la realización de esta investigación, en la evaluación ambiental del vertimiento de la laguna de oxidación que se encuentra en terrenos de las veredas San Miguel y La Teja en el municipio de Ábrego, Norte de Santander. Se tendrán en cuenta estudios realizados anteriormente por el grupo de investigación (MINDALA) perteneciente a la Universidad Francisco de Paula Santander – Ocaña, esto debido a que por la situación presentada por la pandemia y con el fin de evitar el contagio o propagación del virus, no es pertinente realizar estudios in situ. El desarrollo del proyecto será ejecutado por parte de los autores del mismo, de la asesoría y supervisión de su director, junto con los profesionales que se requieran en el proceso y de la aplicación del modelo matemático Streeter-Phelps.

Capítulo 2. Marco Referencial

2.1 Marco Histórico

La primera instalación de saneamiento fue el pozo ciego o pozo negro que apareció en Babilonia hacia 4000 a.C. Una simple excavación en el suelo donde concentrar los excrementos que pronto se generalizó a otras ciudades del imperio y zonas rurales. Los babilonios ya habían desarrollado una hidráulica incipiente para el transporte del agua y aplicaron pronto sus conocimientos a la conducción de las heces a los pozos negros mediante el baldeo y las primeras tuberías de arcilla. Nacieron las aguas negras, compañeras inseparables de la civilización hasta nuestros días y una tecnología asociada para convivir con ellas: el saneamiento. (We Are Water, 2017)¹

En el Imperio Romano, el concepto de higiene evolucionó y se impusieron normas para separar las aguas negras mediante alcantarillas en las calles. También la letrina evolucionó y se generalizó la de asiento, en sustitución del sistema usual hasta entonces de defecar de cuclillas. Sin embargo, la población continuó tirando los excrementos a la calle hasta 100 d.C., cuando un decreto obligó a conectar los hogares a las alcantarillas, que experimentaron una gran evolución. En aquella época el concepto de higiene estaba todavía alejado del de desinfección. Las aguas negras se evitaban más por su mal olor que por que hubiera una conciencia de su insalubridad y finalmente acababan en el río Tíber.¹

A finales del siglo XIX comenzaron a utilizarse los avances en microbiología para tratar las aguas residuales y en 1914 los ingenieros Edward Arden y William T. Lockett, descubrieron los fangos activos, uno de los sistemas de tratamiento biológico para la

depuración de la contaminación orgánica de aguas residuales que todavía usamos en las actuales depuradoras.¹

En la década de 1970 comenzó en el mundo desarrollado una gran reacción internacional en contra de la contaminación del agua, tanto la industrial como la fecal, pero hoy en día, en los países en vías de desarrollo, se calcula que el 90% de las aguas negras se vierten directamente sin depurar. Por esta causa, según la OMS, cada año fallecen 1,8 millones de niños menores de cinco años, uno cada 20 segundos. Aún no hemos ganado una batalla que comenzó hace más de 10.000 años.¹

La contaminación del agua es causada por las diferentes actividades antrópicas, que comienza a verse reflejada a partir de la revolución industrial, desafortunadamente esto ha ido aumentando, hasta transformarse en un problema habitual y generalizado. Durante la revolución industrial (entre la segunda mitad del siglo XVIII y los primeros años del siglo XIX), el aumento de los bienes de consumo y sus procesos de producción requerían una gran cantidad de agua para la transformación de las materias primas. A su vez, los residuos de dichos procesos de producción eran vertidos en los cauces naturales de agua sin ningún tipo de control. (Bigorda, 2017).

Colombia cuenta con una superficie irrigada con aguas residuales de 1.230.193 ha, con 27% de agua residual tratada y 73% sin tratar, por lo general diluida con aguas superficiales; al igual que sucede en toda América Latina, no se cuenta con información completa y confiable sobre el tema del re-uso y solamente 8% del total de aguas residuales que se producen diariamente es tratado. (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2011).²

Una de las practicas más comunes de disposición final de las aguas residuales domesticas ha sido la disposición directa sin tratamiento en los cuerpos de agua superficiales y en el suelo; sin embargo, la calidad de estas aguas puede generar dos tipos de problemas: de salud pública, particularmente importantes en países como Colombia por la alta incidencia de enfermedades infecciosas, cuyos agentes patógenos se dispersan en el ambiente de manera eficiente a través de las excretas o las aguas residuales crudas y los problemas ambientales, por afectar la conservación o protección de los ecosistemas acuáticos y del suelo, lo que contribuye a la pérdida de valor económico del recurso y del medio ambiente y genera a su vez una disminución del bienestar para la comunidad ubicada en las riveras de los cuerpos de agua en donde se han realizado las descargas.²

Colombia tiene una superficie irrigada con aguas residuales de 1.230.193 ha, con 27% de agua residual tratada y 73% sin tratar, por lo general diluida con aguas superficiales; al igual que sucede en toda América Latina, no se cuenta con información completa y confiable sobre el tema del re-uso y solamente 8% del total de aguas residuales que se producen diariamente son tratadas. Las cifras del Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico señalan que sólo el 9% de las aguas de alcantarillado son tratadas en el país, adicionalmente considera que el número de plantas no es lo sustancial, pues se puede construir sistemas que cubran dos o más localidades. “Las estadísticas nos indican que tenemos un montaje con capacidad para tratar el 32% de las aguas residuales, pero la realidad es que tratamos entre un 8% y un 10%, lo que refleja que falta un óptimo mantenimiento y buen uso de la infraestructura que poseemos”.²

La contaminación de la corriente hídrica ocasionada por las descargas de aguas residuales de los habitantes de los centros urbanos se convierte en un perjuicio derivado del

consumo de agua de estos habitantes, es decir en una externalidad negativa. Del total de agua que llega a las residencias, comercios e industrias, parte es consumida y la mayor parte es evacuada por las redes de alcantarillado, que antes de descargarla a las corrientes de agua, debe ser tratada para evitar su contaminación, la cual trae consigo problemas de salud relacionados con enfermedades de origen hídrico como: El Cólera, la Hepatitis A, entre otras; molestias por olores desagradables; deterioro paisajístico; condicionamiento al uso de la corriente aguas abajo, como: agricultura, pesca y suministro de acueducto. (E Colombia, 2004).

Entre las técnicas de bajo costo en el campo del tratamiento de aguas residuales, los sistemas lagunares son los que han encontrado mayor aplicación. Las primeras lagunas de estabilización fueron en realidad embalses construidos como sistemas reguladores de agua para riego. Se almacenaban los excedentes de agua residual utilizada en riegos directos, sin tratamiento previo. En el curso de este almacenamiento se observó que la calidad del agua mejoraba sustancialmente, por lo que empezó a estudiarse la posibilidad de utilizar las lagunas como método de tratamiento de aguas residuales. (Aguilar, 2018).

El desarrollo del modelo de caída de oxígeno disuelto por Streeter y Phelps hace 100 años (el estudio se completó en 1915, pero la publicación se retrasó hasta 1925 debido a la Primera Guerra Mundial) marca el comienzo del modelado de la calidad del agua. Desde entonces, los gerentes de calidad del agua han confiado en modelos para relacionar las descargas de contaminantes puntuales y no puntuales con las condiciones y criterios ambientales como parte de los análisis de asignaciones de carga de desechos (WLA) y carga diaria máxima total (TMDL). (Hellweger, 2015)

2.2 Marco Contextual

Este proyecto se desarrollará en la laguna de oxidación que se encuentra en terrenos de las veredas San Miguel y La Teja en el municipio de Ábrego, Norte de Santander. Con coordenadas $8^{\circ}5'44.96''$ N y $73^{\circ}13'14.16''$ O; a una elevación de 1356 msnm. En la figura 1 se observa la zonificación de la laguna de oxidación.



Figura 1. Ubicación de la laguna de oxidación, en el municipio de Abrego, Norte de Santander. Autores (2020).

El alcantarillado del municipio de Abrego, Norte de Santander está constituido por tubería de gres con diámetros de 8”,12”, 14” y 16” y una longitud de 13,30 Km, con una cobertura del 95 % de la población urbana. (Secretaria de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2014)³

Se entiende que el diseño de las redes este hecho bajo el concepto de alcantarillado sanitario, pero como sucede en casi todos los casos funciona como combinado debido a la gran cantidad de conexiones de aguas lluvias que se le han realizado, por encima del margen que normalmente se prevé en un diseño sanitario.³

El sistema de alcantarillado se desplaza por gravedad en dos direcciones, de las cuales una cuenta con tratamiento de aguas residuales mediante una laguna de oxidación, la cual trata el 90 % de las aguas residuales; el 10 % restante es tratada mediante un pozo séptico.³

El municipio de Ábrego posee dos vertimientos puntuales, el vertimiento No. 1, que recolecta casi la totalidad de las aguas residuales del municipio y las conduce a la laguna de oxidación para su tratamiento por medio de dos emisarios. El vertimiento No. 2, que conduce las aguas residuales de un sector del municipio ubicado en la parte occidental y cuyas aguas son transportadas a un tanque séptico para finalmente ser descargadas a la Quebrada el Molino.³

Actualmente el 90% de las aguas servidas se tratan en una laguna de oxidación antes de ser vertidas al Río Algodonal. El estado de los sistemas de tratamiento de aguas residuales es regular. El servicio de alcantarillado tiene 2.482 suscriptores que representan una cobertura del 95 % de los predios urbanos. Si no se tiene tratamiento es evidente que la calidad del agua de los vertimientos está por fuera de los parámetros establecidos por la ley.³

Al ser superada la capacidad de depuración de la laguna de oxidación, se da la posibilidad de que el agua residual no es tratada completamente y es vertida al río Algodonal con altos índices de contaminación, lo que provoca una gran alteración a las características naturales del agua de este río; provocando un gran impacto negativo a la fauna y flora acuática que en él vive y a una gran cantidad de población que aprovecha este caudal río abajo para suplir sus necesidades básicas como lo es el consumo humano.

Debido a la cantidad de agua contaminada vertida al río Algodonal, proveniente de la laguna de oxidación, este se ve afectado considerablemente y se ve superada su capacidad de asimilación y autorregulación natural, permitiendo que el caudal continúe con altos índices de contaminación por un largo tramo río abajo.

2.3 Marco Conceptual

Ya que el objetivo principal a desarrollar en este proyecto es la evaluación ambiental del vertimiento proveniente de la laguna de oxidación de Ábrego, Norte de Santander, y a partir de ese vertimiento predecir el impacto que se genera al Río Algodonal, es por esto que se debe conocer y entender diversos conceptos que ayudan a comprender mejor el presente tema de investigación.

2.3.1 Conceptos relacionados al agua.

Aguas residuales. Desecho líquido provenientes de residencias, edificios, instituciones, fábricas o industrias. (RAS, 2000)⁴

Aguas Residuales Municipales. Agua residual de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos humanos.⁴

Aguas Residuales Domesticas. líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales. (González, 2011).

Aguas grises. Estas aguas son aquellas las cuales son generadas en las viviendas, tales como el lavado de ropa o lavado de cualquier utensilio, así como también aquellas que son utilizadas para bañarse las personas.

Aguas negras. Estas aguas son llamadas así debido a que estas conllevan consigo un grado de contaminación a causa de la carga de sustancia fecal y orina, la cual son directamente generados a partir de los desechos orgánicos tanto de animales como de los humanos.

Aguas Servidas. Al hablar de estas aguas se hace referencias a aquellas aguas que se encuentran contaminadas con diferentes sustancias, las cuales pueden ser de tipo orgánica o inorgánica, que proceden directamente de los humanos y/o animales, también pueden ser generadas a partir de usos industriales, además dentro de esta clasificación se pueden incluir aquellas aguas que se utiliza en el hogar para hacer cualquier actividad, ya sea para lavar algún implemento o también para bajar el inodoro.

Ya que se mencionaron algunos tipos de aguas, las cuales poseen un grado de contaminación debido a los diferentes usos y por alguna razón estas aguas son servidas a cualquier cuerpo de agua natural como un punto de descarga final o ya sea vertidas a un pozo séptico o arrojadas al suelo, acá tendremos en cuenta también aquellos conceptos en relación con la disposición lo cual aplica para este proyecto, es por eso que hablamos de:

Evaluación ambiental del vertimiento. Es el procedimiento por el cual se identifican, describen y evalúan los posibles impactos ocasionados por el vertimiento de un efluente sobre un cauce natural.

Efluente. Líquido que sale de un proceso de tratamiento.⁴

Eficiencia de tratamiento. Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje.⁴

Laguna de estabilización. Se entiende por lagunas de estabilización los estanques construidos en tierra, de poca profundidad (1-4 m) y períodos de retención considerable (1-40 días). En ellas se realizan de forma espontánea procesos físicos, químicos, bioquímicos y biológicos, conocidos con el nombre de autodepuración o estabilización natural. La finalidad de este proceso es entregar un efluente de características múltiples establecidas (DBO, DQO, OD, SS, algas, nutrientes, parásitos, enterobacterias, coliformes, etc.).⁴

2.3.2 Características físicas y químicas de las aguas residuales.

Oxígeno disuelto. Concentración de oxígeno medida en un líquido, por debajo de la saturación. Normalmente se expresa en mg/L.⁴

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) o Demanda de oxígeno.

Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y

temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.⁴

Color. Estas aguas residuales nunca son transparentes, son siempre de color gris o negras, esto debido a la presencia de sólidos orgánicos e inorgánicos.

Olor. En este tipo de aguas el olor es desagradable, esto debido a la cantidad de materia orgánica presente en ella. Este se puede percibir a varios metros de distancia.

Temperatura. Es una magnitud física, además de ser una característica del agua, que se puede medir con exactitud con instrumentos especiales.

Turbiedad. Se refiere a la presencia de sólidos en suspensión presentes en el agua, derivados de actividades antrópicas o naturales. Este parámetro ocasiona que el agua pierda su transparencia natural.

Materia Orgánica. Es la materia que contiene compuestos orgánicos, esta derivada de la naturaleza o de los seres vivos. En las aguas residuales se presentan muchas veces como grasas, aceites, carbohidratos, materia fecal, entre otros.

2.4 Marco Teórico.

A continuación, se abordarán aspectos teóricos que ayudarán al lector una información más amplia sobre el tema de estudio, citando puntos de vista de múltiples autores, basado en estudios o investigaciones realizados por ellos. Estas citas serán de estudios o investigaciones realizadas solamente relacionados al presente tema de estudio, con el fin de no pasarse de los límites espaciales del documento.

2.4.1 Aspectos generales sobre la problemática.

Los ríos históricamente se han considerado como fuente de riqueza, al proporcionar el agua imprescindible para la subsistencia y posterior desarrollo de seres vivos. Propicia la fertilidad de los suelos para la obtención de alimentos, y facilita la comunicación entre los pueblos. Sin embargo, el continuo crecimiento de la población humana y la presencia de modelos de desarrollo no sostenibles, han tenido como consecuencia la contaminación de los ríos y la pérdida de la disponibilidad de estos recursos. (Quiroz et al., 2018)

Atencia (2007)⁵, establece que las labores domésticas contaminan el agua, sobre todo, con residuos fecales y detergentes. Los trabajos agrícolas y ganaderos pueden producir una contaminación muy grave de las aguas de los ríos y los acuíferos, debida sobre todo a los vertidos de aguas cargadas de residuos orgánicos, procedentes de las labores de transformación de productos vegetales, o de los excrementos de los animales. Otra fuente de contaminación de las aguas son las industrias, muchas de ellas, como la papelera, química, textil y siderúrgica, necesitan agua para desarrollar su actividad. Las centrales térmicas

también necesitan una gran cantidad de agua para ser 21 operativas; en este caso el agua residual, que no presenta contaminantes orgánicos o inorgánicos, tiene una temperatura mucho más elevada que la de los cauces a los que va a descargar, ocasionando graves trastornos en los ecosistemas acuáticos. En definitiva, la consecuencia es el vertido de aguas residuales cargadas de materia orgánica, metales, aceites industriales e incluso radiactividad. Para evitar los problemas que pueden causar los contaminantes de las aguas residuales existen sistemas de depuración que sirven para devolverles las características físicas y químicas originales.

Las aguas residuales pueden definirse como una combinación de aguas portadoras de residuos procedentes de residencias, instituciones públicas, privadas, escuelas, colegios y demás, a las que eventualmente pueden agregarse Aguas Subterráneas, Superficiales, Pluviales. El agua residual no tratada, que se deje estancada durante un cierto tiempo, la descomposición de la materia orgánica que contiene puede llevar a la producción de grandes cantidades de gases malolientes; además, el agua residual bruta contiene frecuentemente numerosos microorganismos patógenos, causantes de enfermedades, que habían en el aparato intestinal humano, o que pueden estar presentes en ciertos residuos intestinales; también suele contener nutrientes que pueden estimular el crecimiento de plantas acuáticas y, por último, puede incluir compuestos tóxicos.⁵

En Colombia es normal ver que en las diferentes ciudades la descarga de aguas residuales sin tratamiento alguno, se realiza en los cuerpos de agua más cercanos. Se trata de una acción que no está mediada por ningún tipo de

consideración sobre las posibles consecuencias ambientales derivadas de esta práctica. Las excusas que presentan las entidades responsables de controlar este tipo de conductas son variopintas; van desde la falta de recursos económicos, la falta de gestión de los gobiernos antecesores y en algunos casos, la falta de conocimiento sobre el hecho o la falta de conciencia ambiental de los ciudadanos. (Vega & Valencia, 2016)⁶

La contaminación de los cuerpos de agua, por lo general, se relaciona directamente con vertimientos de aguas residuales de origen doméstico. Este tipo de residuos son nocivos debido a los altos porcentajes de materia orgánica y microorganismos que contienen y que terminan en los ríos, quebradas y costas marinas sin ningún tipo de tratamiento, ocasionando contaminación bacteriológica, orgánica y química del agua de consumo y en general, una afectación a los ecosistemas.⁶

Actualmente, la mayoría de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de las ciudades en crecimiento no cuenta con una infraestructura apropiada, lo que las convierte en obsoletas y deficientes por lo que el impacto que generan está en desproporción con la capacidad del cuerpo receptor para auto-depurarse. Dentro de este contexto, se ha estimado que el 80% de las aguas residuales generadas a nivel mundial no recibe tratamiento adecuado que permita descargarlas, sin ocasionar impactos negativos al medio ambiente y la salud, convirtiendo a los ríos, lagos y lagunas en sumideros naturales de los desechos provenientes de las actividades domésticas, industriales y comerciales de las poblaciones que, principalmente, han consolidado su núcleo urbanístico a orillas

de los mismos, por la importancia que el agua representa para la vida y el desarrollo económico. (Haz, 2016)

2.4.2 Estudios sobre lagunas de oxidación.

La implementación de lagunas de oxidación o estabilización es un método sencillo de tratamiento de aguas residuales; actualmente existen diferentes tipos de lagunas, entre ellas, lagunas de oxidación anaerobias, aerobias, facultativas, de maduración, entre otras. Para el caso de esta investigación se trata de una laguna de oxidación o estabilización aerobia (presencia de oxígeno, al aire libre). Para una mejor comprensión sobre este método para el tratamiento de aguas residuales se relaciona la siguiente información:

Según Rodríguez (s.f)⁷, las lagunas de estabilización son el método más simple de tratamiento de aguas residuales que existe. Están constituidos por excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra. Generalmente tiene forma rectangular o cuadrada. Las lagunas tienen como objetivos:

1. Remover de las aguas residuales la materia orgánica que ocasiona la contaminación.
2. Eliminar microorganismos patógenos que representan un grave peligro para la salud.
3. Utilizar su efluente para reutilización, con otras finalidades, como agricultura.

La eficiencia de la depuración del agua residual en lagunas de estabilización depende ampliamente de las condiciones climáticas de la zona, temperatura, radiación solar, frecuencia y fuerza de los vientos locales, y factores que afectan directamente a la biología del sistema.⁷

Las lagunas de estabilización operan con concentraciones reducidas de biomasa que ejerce su acción a lo largo de periodos prolongados. La eliminación de la materia orgánica en las lagunas de estabilización es el resultado de una serie compleja de procesos físicos, químicos y biológicos, entre los cuales se pueden destacar dos grandes grupos.

- ✓ Sedimentación de los sólidos en suspensión, que suelen representar una parte importante (40-60 % como DBO5) de la materia orgánica contenida en el agua residual, produciendo una eliminación del 75-80 % de la DBO5 del efluente.
- ✓ Transformaciones biológicas que determinan la oxidación de la materia orgánica contenida en el agua residual.

2.4.2.1 Concentraciones presentes en aguas residuales que pueden ser removidas en lagunas de oxidación.

La siguiente información fue tomada de, (Fibras & Normas de Colombia S.A.S., 2018)

- **Demanda biológica de oxígeno (DBO).** Las lagunas de estabilización, son reactores que funcionan con una baja concentración de

microorganismos. En todas las lagunas, excepto en las anaerobias, la Demanda Biológica de Oxígeno soluble es reducida mediante oxidación generada por bacterias, mientras que la concentración de DBO suspendida es removida mediante procesos de sedimentación. La transformación biológica que ocurre tanto en las lagunas de tipo facultativas como anaerobias se produce en forma anaerobia. La remoción de la Demanda Biológica de Oxígeno en cualquier tipo de laguna de oxidación depende de dos factores importantes, el tiempo de retención del recurso en la laguna y la temperatura del agua.

- **Remoción de sólidos suspendidos totales (SST).** Los sólidos suspendidos presentes en aguas residuales son removidos en las lagunas mediante procesos de sedimentación. La mayoría de los sólidos suspendidos encontrados en el efluente de estas plantas de tratamiento se componen por las propias algas que se desarrollan en las lagunas de oxidación. La concentración de sólidos suspendidos en el recurso puede alcanzar valores de 140 mg/L en lagunas de tipo aerobias, y de 60 mg/L en lagunas con aeración. Algunos procesos que se pueden emplear para mejorar la calidad de efluente de una laguna, cuando se presentan concentraciones elevada de Sólidos Suspendidos Totales son:

- ✓ Filtros de arena intermitentes
- ✓ Micro tamices

- ✓ Filtros de grava
 - ✓ Flotación con aire disuelto (FAD)
 - ✓ Plantas acuáticas flotantes
 - ✓ Humedales artificiales
-
- **Remoción de nitrógeno.** La remoción del nitrógeno en los sistemas de tratamiento mediante lagunas de estabilización se obtiene como resultado de la combinación de mecanismos que incluyen volatilización de amoníaco (proceso que depende del pH), captura de algas, nitrificación/desnitrificación, acumulación de lodos, y adsorción sobre los sólidos del fondo.
 - **Remoción de fósforo.** La remoción del fósforo en los sistemas de lagunas es mínima, a menos que se realice la adición de químicos como el alumbre o el cloruro férrico que causen su precipitación. La aplicación de este tipo de sustancias puede ser realizada de forma continua o intermitente. En las lagunas de oxidación con descarga controlada se sugiere la aplicación de reactivos químicos en forma intermitente.
 - **Remoción de organismos patógenos.** Los sistemas de tratamiento que cuentan con varias lagunas de oxidación y tiempos de retención altos presentan buenas remociones de bacterias, parásitos y virus. La remoción de organismos patógenos en sistemas con lagunas se presenta

como consecuencia de la muerte natural de estos organismos, por sedimentación y por adsorción; los helmintos y los quistes y huevos de parásitos se sedimentan en el fondo de la laguna. Los sistemas con tres lagunas y un tiempo de retención cercano a 20 días, al igual que los sistemas aireados que cuentan con una laguna de sedimentación antes de la descarga y generan remociones óptimas de helmintos y protozoos.

2.4.2.2 Ventajas y desventajas de implementar lagunas de oxidación.

Como ya se había mencionado anteriormente, la implementación de estas lagunas de oxidación como un modelo de tratamiento de aguas residuales trae muchas ventajas. Prieto (2015)⁸, menciona algunas de ellas:

- **Ventajas:**
 - ✓ La inversión necesaria para construir una laguna de estabilización es considerablemente menor que la requerida para cualquier otro sistema de tratamiento secundario de las aguas residuales.
 - ✓ La construcción de las lagunas de estabilización es muy simple; no requiere de tecnología avanzada, no se necesitan partes o componentes de importación, la maquinaria y equipo empleado en la construcción de estos sistemas es de tipo convencional.

- ✓ Los costos de operación y mantenimiento de las lagunas de estabilización se calculan entre 10 y el 50% respecto a los sistemas de tratamiento convencionales.
- ✓ La operación de las lagunas es muy simple y no se requiere de personal altamente calificado.
- ✓ En cuanto al mantenimiento requerido, es esporádico (incluso de varios meses) y se lleva a cabo en forma sencilla, básicamente consiste en remover los lodos sedimentados en el fondo de la laguna.
- ✓ Existe una excelente reducción de microorganismos patógenos (coliformes y no enterobacterias).
- ✓ Son capaces de tolerar aumentos bruscos de cargas orgánicas o hidráulicas.
- ✓ Pueden operar sin un tanque de sedimentación primario, pero esto trae como consecuencia que el mantenimiento sea más frecuente.
- ✓ Diseñadas y operadas adecuadamente, las lagunas de estabilización generan eficiencias muy altas, equivalentes a las de los procesos de lodos activados.

Aunque son buenas alternativas, al igual que muchos otros sistemas de tratamiento, las lagunas de oxidación presentan diversas desventajas, estas se mencionan a continuación:⁸

- **Desventajas:**

- ✓ Tiempos de retención altos debido a la baja concentración de biomasa activa; por lo que necesitan grandes superficies de terreno.
- ✓ No existe criterios de diseño confiables.
- ✓ Su eficiencia es altamente sensible a factores climáticos (particularmente a la temperatura y la intensidad de la luz solar).
- ✓ Pueden producir malos olores y contribuir a la propagación de moscas y mosquitos.
- ✓ Las lagunas también son muy susceptibles al arrastre de la biomasa (lavado) durante las tormentas.

2.4.3 Modelo matemático de Streeter – Phelps

Este consiste en predecir de forma cuantitativa la evolución acoplada del oxígeno disuelto y las sustancias demandantes de oxígeno en un río, aguas abajo de un punto de vertido de agua residual, y aplicarlos a casos de estudio. Este modelo permite, en último término, establecer relaciones matemáticas entre la acción contaminante (caracterizada por una carga o masa de contaminante vertido por unidad de tiempo) y la concentración del contaminante a distintas distancias en el río, aguas abajo del punto de vertido. (Valdivia, 2010)

2.5 Marco Legal.

Colombia posee un marco legal el cual se encuentra bien estructurado en materia de protección y preservación de los recursos naturales, es por esta razón que se requiere hablar de aguas residuales y de vertimientos ambientales ya que estos son factores fundamentales de contaminación, por lo cual se busca realizar un adecuado manejo de estas. Por lo tanto, dentro del marco legal que busca la preservación, manejo y protección del recurso hídrico se encontraron las siguientes normas:

Decreto 2811 de 1974. Denominado Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Contiene las acciones de prevención y control de la contaminación del recurso hídrico, para garantizar la calidad del agua para su uso posterior.

Ley 9 de 1979. Esta norma reglamentaria del Código Nacional de Recursos Naturales desarrolla ampliamente lo referente a los vertimientos de agua residual. Determinando los límites de vertimientos, estudios de impacto ambiental y procesos sancionatorios. Los municipios deben atender las normas de vertimientos establecidos de interés sanitario establecido en el **artículo 74.**

Dentro de las normas relacionadas con la preservación, manejo y protección del recurso podemos destacar también la **Constitución Política de Colombia (1991)**, la cual fue promulgada para poder incluir dentro de esta el manejo de los recursos naturales y del medio ambiente, en donde se pueda permite tomar decisiones y trazar políticas ambientales, amparadas en la legislación ambiental a favor de uso adecuado para la protección del

ambiente y de los recursos. Es por esto que dentro de la constitución podemos resaltar los siguientes artículos:

Artículo 8. Es obligación del estado y de las personas proteger las riquezas naturales y culturales de la nación.

Artículo 79. Toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente sano. Es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica.

Artículo 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

Artículo 313. Todo municipio debe expedir los acuerdos necesarios para el control, preservación y defensa del patrimonio ecológico.

Ley 99 de 1993. Ley General Ambiental de Colombia, crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.

Decreto 3930 de 2010. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos de este decreto ley, específicamente en lo que tiene que ver con los requisitos de obligatorio cumplimiento descrito en los

artículos 41 a 64 de los capítulos VII y VIII relacionados con la Obtención del Permiso de Vertimientos y Planes de cumplimiento, así como también el Plan de Reconversión a Tecnologías Limpias en Gestión de Vertimientos.

Decreto 2667 de 2012: Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones.

Resolución 0631 de 2015: Por la cual se adoptan medidas relacionadas con los parámetros y 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.

Decreto 050 de 2018. Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con los Consejos Ambientales Regionales de la Macrocuencas (CARMAC), el Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos y se dictan otras disposiciones.

Capítulo 3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de Investigación

Debido a la pandemia mundial del covid-19, se tomarán medidas que busquen evitar el contagio o propagación de este virus, es por esto que la investigación y desarrollo del proyecto se realizará desde casa acatando las medidas establecidas por el gobierno nacional y así evitar el riesgo de contagio.

La presente investigación se enfoca en evaluar el impacto ambiental ocasionado por la laguna de oxidación ubicada en los terrenos de las veredas San Miguel y La Teja en el Municipio de Ábrego, Norte de Santander, sobre el río Algodonal.

Este proyecto es cuantitativo con un alcance descriptivo, ya que mediante información basada en estudios realizados sobre el río Algodonal y el vertimiento realizado por la laguna, la cual está orientada en la observación de comportamientos y los parámetros a analizar, los cuales son resultados de carácter numérico, y con esto se calcula, a través de modelación matemática la autodepuración del río; lo cual refleja la relación en cuanto el contenido de oxígeno disuelto en función de la velocidad de la corriente y de la distancia al punto en el que

se realiza el vertido con contenido de sustancias orgánicas biodegradables. A continuación, se describen las fases a ejecutar:

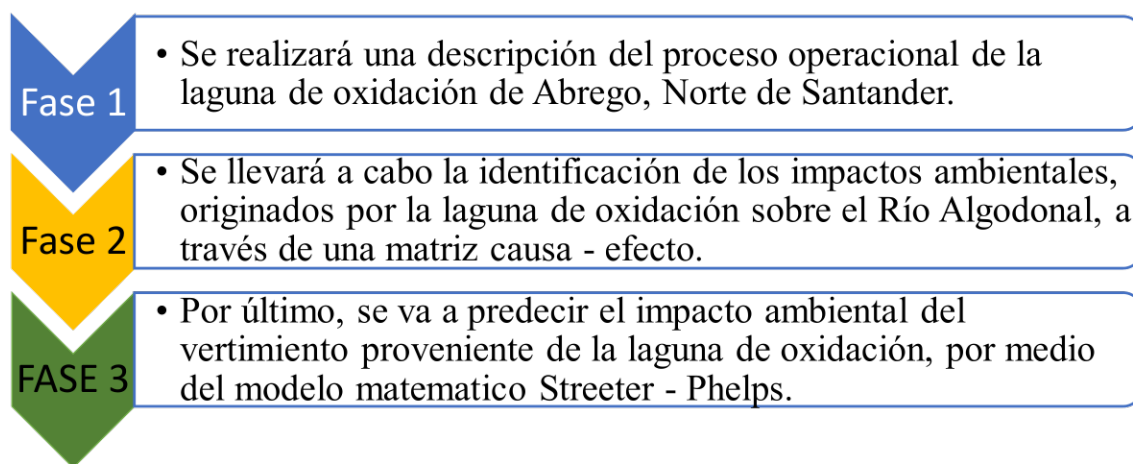


Figura 2. Descripción del proceso para la ejecución del proyecto. Autores (2020)

3.2 Población

La implementación de este proyecto se enfoca en el vertimiento generado por la laguna sobre el río Algodonal, el cual se define como unidad de análisis. Se delimita la población que dirige sus aguas residuales a la laguna de oxidación el cual serían los habitantes del municipio de Ábrego Norte de Santander y la población que se vería afectadas aguas abajo.

Por lo tanto surge la necesidad de indagar las variables a evaluar por parte de las aguas residuales domésticas, las cuales son alojadas en la laguna de oxidación y luego vertido en el río Algodonal, lo cual hace que sea de gran complejidad la cuantificación del impacto ocasionado por este vertimiento, debido a que no se realiza una adecuada operación y mantenimiento periódico y evaluativo a la laguna de oxidación, además no se han realizado

estudios recientes de bases sólidas acerca del estado actual de la laguna, ni muchos menos se han realizado estudios en base a la evaluación ambiental de este vertimiento, lo cual hace de gran importancia nuestro estudio.

3.3 Muestra

La laguna de oxidación está diseñada para recolectar aguas residuales domésticas, su gran mayoría las aguas provenientes del casco urbano; las aguas residuales que llegan a la laguna de oxidación provienen de residuos líquidos a causa de las actividades domésticas de la vida diaria, tales como: descargas de sanitarios, lavado de ropas, baños, preparación de alimentos, aguas residuales provenientes del matadero municipal, etc. Las aguas residuales se conducen por un canal hasta llegar a la laguna de oxidación donde se realiza un proceso de descomposición natural y luego las aguas son dirigidas al Río Algodonal.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de información

Para la descripción del proceso de la laguna de oxidación se tendrá en cuenta aquella información secundaria de acuerdo al plan de desarrollo municipal de Abrego, al plan básico de ordenamiento territorial, información por parte de la oficina de servicios públicos del municipio de Abrego, además de toda información documentada vía web en base a la laguna de oxidación.

Se realizará la identificación de impacto ambiental la cual para ello se va a utilizar una matriz de causa y efecto; este es un método muy conocido como lo es el método de Battelle-Columbus, el cual es de tipo semicuantitativo de evaluación de la magnitud del impacto ambiental relacionado con el recurso hídrico, ya que gracias a este se puede reflejar otra forma

de valorar la importancia del impacto a partir de un concepto particular de calidad ambiental. La información que se utilizará para la implementación de esta matriz será información ya colectada gracias al grupo de investigación MINDALA, perteneciente a la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

Además, en cuanto a la predicción de los impactos ambientales se ejecutará mediante el modelo matemático Streeter - Phelps, el cual también es de carácter cualitativo. Este es un modelo matemático en estado estacionario, mediante este se puede determinar la evolución, a lo largo de un río, en este caso el río Algodonal, en relación a la materia orgánica biodegradable y la concentración de oxígeno disuelto que se deriva de ello, a partir de la carga que obtiene debido a aguas servidas por parte de la laguna de oxidación de Abrego, el cual nos servirá de gran ayuda para determinar finalmente a lo que apunta el proyecto que es la evaluación ambiental del vertimiento.

3.5 Análisis de Información

Se tiene en cuenta los datos obtenidos a partir de la matriz de causa y efecto, como también aquellos resultados reflejados gracias al modelo matemático Streeter - Phelps para poder conocer los posibles impactos ambientales ocasionados a causa del vertimiento de la laguna de oxidación de Abrego, junto con el diagnóstico en donde se determina la evolución a lo largo del río Algodonal, en relación a la materia orgánica biodegradable y la concentración de oxígeno disuelto presente en ella, para finalmente analizarlos y con ello generar alternativas o generar posibles soluciones en cuanto a la problemática ahí presente debido a la carga contaminante que recibe el río Algodonal.

Enfatizando sobre el modelo matemático de Streeter – Phelps, tenemos la siguiente

figura:

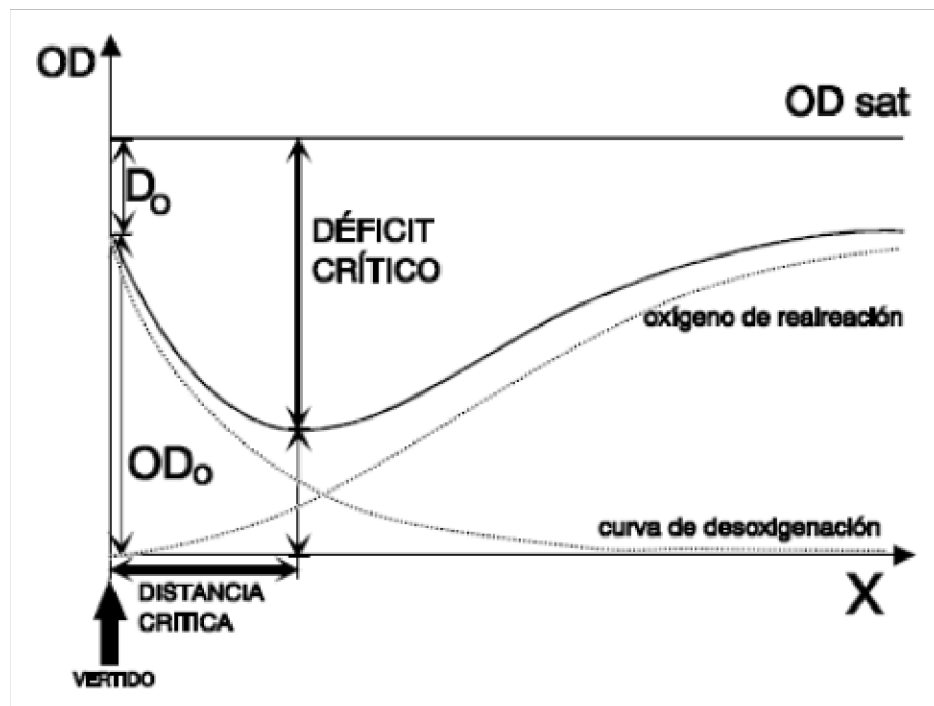


Figura 3. Curva DOSAG o del valle de oxígeno disuelto. Ordoñez & Palacios. (2017).

https://www3.opic.gov/Environment/EIA/pasto/Annexes/SanJuan/Annex_14_A.pdf

Según Ordoñez y Palacios (2017), la curva que se obtiene representando la ecuación de Streeter – Phelps proporciona la disminución y posterior recuperación del oxígeno disuelto en el río. La degradación bioquímica comienza inmediatamente después del vertido. Puesto que la reaeración es proporcional al déficit de oxígeno disuelto, su velocidad de aporte de oxígeno va aumentando conforme el déficit va creciendo. Por último, se alcanza un punto en el cual la tasa de consumo de oxígeno se iguala a la tasa de reaeración atmosférica; la curva alcanza su mínimo.

Así mismo, sabemos que el modelo matemático Streeter – Phelps está representado por diversas ecuaciones, las cuales utilizaremos para obtener resultados y luego analizarlos. Las ecuaciones a utilizar tomadas de Chapra, S. 1997 tomado de Rueda, F. S.N, son las siguientes:

Q_0 : Caudal tras el vertido

Q_r : Caudal del rio (antes del punto de vertido)

Q_v : Caudal del efluente

DBO_0 : Demanda biológica de oxígeno tras el vertido

DBO_r : Demanda biológica de oxígeno del rio (antes del punto de vertido)

DBO_v : Demanda biológica de oxígeno del efluente

OD_0 : Concentración de oxígeno disuelto tras el vertido

OD_r : Concentración de oxígeno disuelto del rio (antes del punto de vertido)

OD_v : Concentración de oxígeno disuelto del efluente

O_s : Oxígeno en saturación

T_0 : Temperatura tras el vertido

T_r : Temperatura del rio (antes del punto de vertido)

T_v : Temperatura del efluente

D_0 : Déficit de oxígeno en el tramo de vertido

A. Caudal tras el vertido: $Q_0 = Q_r + Q_w$

B. Concentración de materia orgánica tras el vertido: $L_0 = \frac{L_r Q_r + L_w Q_w}{Q_0}$

C. Concentración de oxígeno disuelto tras el vertido: $O_0 = \frac{O_r Q_r + O_w Q_w}{Q_0}$

D. Temperatura tras el vertido: $T_0 = \frac{T_r Q_r + T_w Q_w}{Q_0}$

E. Déficit de oxígeno en el tramo de vertido: $D_0 = O_s - O_0$

3.6 Cronograma de actividades

En la siguiente tabla se puede identificar fácilmente el número y la actividad a realizar, con el fin de cumplir con los objetivos planteados:

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES														
Objetivo General	Objetivos Específicos	Actividades	Mes 1				Mes 2				Mes 3			
			Dic 20				Ene 21				Feb 21			
			Semana				Semana				Semana			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Realizar la evaluación ambiental del vertimiento de la laguna de oxidación de Abrego, Norte de Santander, sobre el río Algodonal.	1. Describir los procesos de operación de la laguna de oxidación.	1. Recopilar información bibliográfica acerca de los procesos llevados a cabo en la laguna e información que tenga relación directa con la misma.												
		2. Realizar filtros con el fin de tomar la información clave y veraz.												
	2. Identificar los impactos ambientales originados por la laguna de oxidación sobre el río Algodonal.	1. Describir los procesos de la laguna que pueden presentar efectos negativos o positivos ante el entorno natural y humano.												
		2. Realizar una lista de chequeo para identificar los principales componentes ambientales a evaluar.												
		3. Realizar una matriz de causa – efecto para la identificación de los impactos ambientales, originados por la laguna de oxidación sobre el Río Algodonal.												
	3. Predecir el impacto del vertimiento proveniente de la laguna de oxidación mediante modelación de la calidad del agua, a través del modelo matemático Streeter-Phelps.	1. Implementar el modelo matemático Streeter-Phelps y analizar los resultados obtenidos.												
		2. Formular alternativas para la mitigación de los posibles impactos ambientales hacia el Río Algodonal.												

Tabla 1. Cronograma de actividades. Autores (2020).

Capítulo 4. Administración del proyecto

4.1 Recursos Humanos

Juan Camilo Cantillo Henao (estudiante investigador)

Manuel Solano Tellez (estudiante investigador)

Msc. Wilson Angarita Castilla (director del proyecto)

4.2 Recursos Institucionales

Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, a través del grupo de investigación MINDALA.

4.3 Recursos Materiales

Dos (2) computadores y un plan de internet para tener acceso a toda la información requerida, obtenidos con recursos propios de los estudiantes. Estos equipos son necesarios para llevar a cabo la recolección de información, analizarla y documentarla. Esto con ayuda de programas instalados en los equipos.

4.4 Recursos financieros

<i>Descripción</i>	<i>Justificación</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Recursos propios</i>	<i>UFPSO</i>	<i>Cantidad</i>
1. Computador	Necesario para llevar a cabo la recolección de información, analizarla y documentarla.	2	\$ 2'600.000	\$ 0	\$ 2'600.000
2. Modem con conexión a internet	Necesaria para tener acceso a la información.	2	\$ 200.000	\$ 0	\$ 200.000
3. Total					\$ 2'800.000

Tabla 2. Equipos requeridos para el desarrollo de la investigación. Autores (2020)

Capítulo 5. Resultados

5.1 Describir los procesos de operación de la laguna de oxidación.

Teniendo en cuenta información recolectada y datos sobre los procesos de operación de la laguna de oxidación, las variables e información vinculada en este sistema de vertimiento puntual efectuado por la comunidad de Ábrego - Norte de Santander; por lo cual, se pudo identificar que el municipio de Ábrego posee dos vertimientos puntuales, uno que se encarga de recolectar casi la totalidad de las aguas residuales del municipio (90 %) y las conduce a la laguna de oxidación para su tratamiento, y el otro se refiere a un tanque séptico en donde finalmente sus aguas son descargadas a la Quebrada el Molino.

Enfocándonos en las aguas residuales descargadas en la laguna de oxidación, siendo esta una laguna de tipo aerobia, las cuales son un método muy simple de tratamiento de aguas residuales en donde según Rodríguez, J. (sf.) “la aireación es natural, siendo el oxígeno suministrado por intercambio a través de la interfase aire-agua y fundamentalmente por la actividad fotosintética de las algas.”

Esta laguna fue construida en el año 1985 con el propósito de tratar las aguas residuales domésticas del municipio. Inicialmente se planeaba la construcción de dos lagunas de oxidación en paralelo, no obstante, únicamente se construyó la laguna número uno la cual posee una forma de polígono irregular, con una extensión de 10873.50 m² y un volumen útil de 16310.25 m³. (Alcaldía de Abrego, 2000)

El proceso de llenado de la laguna es por vertimiento directo de la red de alcantarillado que se desplaza por gravedad en dirección occidental y oriental empleando el

sistema de conducción hasta la laguna. El sistema de alimentación de la laguna es mediante un canal de entrada que consta de un viaducto construido en concreto reforzado descubierto superficialmente con una longitud de 210 mt, 60 cm de ancho y 70 cm de profundidad; elevado a 1,50 mt con 30 soportes en forma de (Y) distribuidos a 7 mt de distancia uno del otro. (Gobernación de Norte de Santander, 2014)⁹



Figura 4. Canal de conducción de aguas residuales. Contraloría general del departamento de Norte de Santander (2013).

http://www.contraloriands.gov.co/Content/ControlAmbiental/4_INFORME_RECURSOS_NATURALES_2013.pdf

Este canal de conducción llega a una recámara con guías de compuertas para desviar el agua o impedir su entrada, posee un diámetro de 12” y la tubería fluye a 15 m sobre la superficie filtrante; tiene además dos guías para compuerta metálica en forma de (V). También se pueden apreciar unas rejillas cerca de la desembocadura del canal en la laguna, que pretenden la remoción del material sólido transportado por la corriente de las aguas residuales.⁹



Figura 5. Recamara de entrada de aguas residuales a la laguna de oxidación. Contraloría general del departamento de Norte de Santander (2013).

http://www.contraloriands.gov.co/Content/ControlAmbiental/4_INFORME_RECURSOS_NATURALES_2013.pdf

Las aguas residuales que provienen del municipio de Abrego no cuentan con ningún tipo de tratamiento, primario o secundario, antes de llegar a la laguna; el curso de operación de esta, consiste en que cuando el agua residual es descargada en ella, se realiza de forma natural un proceso de auto-purificación en donde se da la sedimentación de sólidos en suspensión y oxidación de la materia orgánica por bacterias aerobias ayudadas a su vez por la fotosíntesis de las algas y de tal forma eliminando la materia orgánica y microorganismos patógenos en gran medida.

La compuerta de desagüe se encuentra situada en el dique norte, es una estructura de forma rectangular de 1,50 m de frente, por 3,85 m de largo y 1,90 m de profundidad y es

conducido al Río Algodonal ubicado a unos 20 m de distancia a través de un canal descubierto.⁹



Figura 6. Plano de diseño de la laguna de oxidación de Abrego. Corponor. (2013).

<http://corponor.gov.co/sitioanterior/index.php/comunicaciones/historico-de-noticias/1513-corponor-hizo-la-entrega-formal-de-las-obras-de-mantenimiento-de-la-laguna-de-oxidacion-al-municipio-de-abrego>

5.2 Identificar los impactos ambientales originados por la laguna de oxidación sobre el Río Algodonal.

Son diversos los procesos que ocurren en esta laguna de oxidación, cuyo propósito fundamental es solucionar una problemática socio-ambiental como lo son las aguas residuales. Es un beneficio para el medio ambiente y la comunidad de Abrego contar con un sistema de tratamiento de aguas residuales que ayude a disminuir el impacto ocasionado por las mismas, ya que estas aguas residuales son uno de los principales contaminantes de los afluentes superficiales y promotoras de diversas enfermedades que afectan a la población.

No obstante, la sola presencia de esta estructura genera diversos impactos derivados de sus características, que son a cielo abierto y procesos naturales donde el agua residual reposa por varios días en la laguna hasta disminuir su potencial contaminante. Estas características conllevan a que las poblaciones aledañas sean perturbadas por olores desagradables, que con ayuda de los vientos se extienden por grandes áreas; estos olores son generados por la acumulación de lodos derivados de la sedimentación de sólidos presentes en estas aguas residuales.

El principal impacto negativo se deriva de la ineficiente gestión en cuanto al mantenimiento de esta laguna, ya que no se realiza con frecuencia y esto provoca la saturación de la misma, como consecuencia el agua que es conducida a la laguna no cumple con su ciclo de descomposición y toda esta agua con gran potencial de contaminación es vertida al río Algodonal posteriormente, ocasionando un gran impacto a este ecosistema acuático.

Con el fin de identificar aquellos impactos los cuales son generados alrededor de la laguna de oxidación de Ábrego – Norte de Santander, se realizó esta lista de chequeo adjunta a continuación, identificando los impactos que se generan sobre Río Algodonal y a la atmósfera.


UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER - OCAÑA		IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS GENERADOS POR LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE ÁBREGO - N.S		
LISTA DE CHEQUEO				
Programa de formación: Ingeniería Ambiental	Competencia: Evidenciar los principales impactos positivos y negativos ocasionados por la laguna de oxidación de Ábrego – Norte de Santander, sobre el Río Algodonal.	 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia Vigilada Mineducación		
Evaluadores	Juan Camilo Cantillo Henao			
Director	Wilson Angarita Castilla			
ÍTEM	ASPECTOS	SI	NO	OBSERVACIONES
1	AGUA			
1.1	¿La laguna de oxidación genera impactos sobre la fauna acuática?	X		Se debe a que el agua proveniente de la laguna cuenta con cargas contaminantes.
1.2	¿Se afecta la calidad del agua del rio Algodonal por el vertimiento proveniente de la laguna?	X		Esto se debe ya que la laguna no remueve en su totalidad la carga contaminante.
1.3	¿La laguna de oxidación genera impactos sobre la flora acuática?	X		A causa de la remoción de carga contaminante no es la óptima
2	AIRE			
2.1	¿Se generan olores ofensivos derivados de la laguna de oxidación?	X		Esto es debido a la acumulación de lodos, los cuales generan gases como el metano.
2.2	¿Se generan gases contaminantes atmosféricos?	X		CH ₄ , CO ₂ , NH ₃ .
2.3	¿Existen problemáticas por ruido, derivados del funcionamiento normal de la laguna?		X	Los procesos que se generan en la laguna no ocasiona ruido alguno, para lograr alguna problemática.
3	SOCIAL			
3.1	¿Se han generado conflictos entre las comunidades a raíz del vertimiento generado por la laguna?	X		Degradación de recursos, problemas de salud, presencia de vectores.

Figura 7. Lista de chequeo dirigida a identificación de impactos sobre el Río Algodonal.

Autores. (2021)

Teniendo algunos de los impactos identificados posteriormente en la lista de chequeo y conociendo el proceso natural de autodepuración por el cual está sometido la laguna de oxidación de Ábrego, podemos sujetar que mediante estos procesos se generan diferentes impactos a la comunidad y al medio ambiente, ya sea bueno o malo dicho impacto, el cual va asociado directa o indirectamente por la laguna; de este modo se hace una valoración de impactos mediante el método de Batelle - Columbus por medio de una matriz, el cual es de tipo causa – efecto con la cual permitió evaluar los impactos ambientales ocasionados por la laguna, mediante el empleo de indicadores homogéneos.

Además, es importante la implementación de la matriz, ya que gracias a esta nos permite identificar y analizar cuáles son los efectos que se generan por parte de la laguna, para luego extraer una valoración completa de los mismos y cuantificar el impacto generado al Río Algodonal.

Los indicadores de impactos cuentan con 78 parámetros, en donde además de esto nos indica la representatividad de estos impactos ambientales derivados de la laguna de oxidación. Para el caso de este proyecto decidimos modificar la matriz Batelle – Columbus con el fin de no desviarnos del objetivo principal y trabajar con 6 parámetros los cuales tienen relación directa con el tema principal del proyecto, y son: ICOMI, ICOMO, ICOSUS, ICOPH, que son dirigidos al estudio del agua, H₂S para el aire y aparición de conflictos en las comunidades para el social.

Los siguientes datos se obtuvieron por el grupo MINDALA vinculado a la Universidad Francisco de Paula Santander – Ocaña, en el año 2017 mediante estudios realizados al Río Algodonal y los cuales fueron suministrados a los autores de este proyecto a través del director del mismo, el cual hace parte del grupo mencionado. Vale recalcar que estos análisis se tomaron en condiciones normales de funcionamiento de la laguna de oxidación.

Parámetro	Unidades	Punto inicial	Punto final
Temperatura (T)	°C	21,3	21,7
Conductividad	μohms	62,5	78,2
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	45,5	47,5
Sólidos Inorgánicos (SST)	mgD/L	12	17
Oxígeno disuelto	mgO ₂ /L	8,1	8
DBO	mgO ₂ /L	0,9	3,9
Fósforo inorgánico (SRP)	μgP/L	70	320
Alcalinidad	mgCaCO ₃ /L	35	38
coliformes totales	NMP/100 mL	310	2689,75
pH	s.u.	7,11	6,81
Caudal	m ³ /s	1,35	1,24

Tabla 3. *Parámetros de calidad del agua del Río Algodonal.* Grupo Mindala. (2017)

Realizando un análisis mostrado en la tabla anterior, establecemos que el punto inicial son datos tomados río arriba (antes del vertimiento) y los datos del punto final son los datos río abajo de donde la laguna de oxidación realiza el vertimiento de sus aguas. Los impactos ambientales identificados que genera el vertimiento de la laguna de oxidación son los siguientes:

Componente	Impacto
AIRE	Contaminación del aire por presencia de olores ofensivos
AGUA	Contaminación del agua por vertimiento de aguas residuales domésticas

Tabla 4. *Impactos ambientales generados por la laguna de oxidación.* Autores. (2021)

OLORES OFENSIVOS

Para la evaluación de contaminación del aire por presencia de olores ofensivos, se diseñó una escala valorativa tomando como referencia la resolución 1541 de 2013, de la siguiente manera:

Sustancia	Percepción	Tiempo de exposición	Valores
Ácido sulfhídrico	Valor permisible	24 horas	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		1 hora	7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabla 5. Niveles permisibles de calidad del aire por presencia de H₂S. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). <http://parquearvi.org/wp-content/uploads/2016/11/Resolucion-1541-de-2013.pdf>

Escala valorativa:

Nivel de percepción	Valores
imperceptible	<0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
perceptible	>0.2 a <5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
ofensivo	>5 a ≤ 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Muy ofensivo	>7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabla 6. Escala valorativa de contaminación del aire por presencia de olores ofensivos. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). <http://parquearvi.org/wp-content/uploads/2016/11/Resolucion-1541-de-2013.pdf>

En cuanto a la evaluación ambiental de la calidad del agua se estimaron los índices de contaminación propuestos por Ramírez et al: ICOMI, ICOMO, ICOSUS, ICOpH.

ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN DE AGUA (ICO'S)

La determinación del grado de contaminación de la fuente se realizó empleando los índices de contaminación (ICO's). El procedimiento metodológico para las formulaciones de los índices correspondió a la descrita por Ramírez et al. (1999).

A continuación, se describe brevemente la forma de calcular los índices:

ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MINERALIZACIÓN (ICOMI)

$$\text{ICOMI} = 1/3 * (\text{IC} + \text{ID} + \text{IA})$$

Para calcular I_C , I_D y I_A tenemos que:

$$\log(I_C) = -3,26 + 1,34 * \log C$$

Donde:

C es la conductividad expresada en (\square s/cm)

Para conductividades mayores a 270 (\square s/cm), $I_C = 1$.

$$\log(I_D) = -9,09 + 4,40 * \log D$$

Donde:

D es la dureza expresada en (mg/L)

Para durezas mayores a 110 mg/L tienen un $I_D = 1$; Durezas menores a 30 mg/L tienen un $I_D = 0$

$$I_A = -0,25 + 0,005 * A$$

Donde:

A es la alcalinidad expresada en (mg/L)

Para alcalinidades mayores a 250 mg/L tiene un $I_A = 1$; Alcalinidades menores a 50 mg/L tiene un $I_A = 0$

ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MATERIA ORGÁNICA (ICOMO)

$$\text{ICOMO} = 1/3 * (\text{IDBO} + \text{IC T} + \text{IO \%})$$

Para el cálculo de **IDBO**, **IC T** e **IO %** tenemos que:

$$I_{DBO} = -0,05 + 0,70 * \log(DBO)$$

Donde:

DBO es la demanda bioquímica de oxígeno expresada en (mg/L)

Para $DBO > 30$ mg/L tienen un $I_{DBO} = 1$; $DBO < 2$ mg/L se tiene $I_{DBO} = 0$

$$I_{CT} = -1,44 + 0,56 \log(CT)$$

Donde:

CT son los coliformes totales expresado en (NMP/100mL)

Para Coliformes Totales > 20.000 (NMP/100mL) tienen $I_{CT} = 1$;

Coliformes Totales < 500 (NMP/100mL) tienen $I_{CT} = 0$

$$I_{O\%} = 1 - 0,01O\%$$

Para % Oxígeno > 100 tienen un índice de oxígeno de 0.

ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR SÓLIDOS SUSPENDIDOS (ICOSUS)

$$\text{ICOSUS} = -0,02 + 0,003 * \text{SST}$$

Donde:

SST son los sólidos suspendidos totales expresados en (mg/L)

Sólidos suspendidos > 340 mg/L tienen **ICOSUS = 1**

Sólidos suspendidos <10 mg/L tienen **ICOSUS = 0**

ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR PH (ICOPH)

$$\text{ICOpH} = \frac{e^{-31,8+(3,45*\text{pH})}}{1+e^{-31,8+(3,45*\text{pH})}}$$

Si el pH es menor a 7 entonces $\text{pH}=14-\text{pH}$

Si el pH es superior a 7 se toma el valor reportado en el análisis y se calcula el ICOpH.

ICO's	NIVEL CALIDAD FUENTE
0- 0,2	Aceptable
>0,2 – 0,4	Baja
>0,4 – 0,6	Regular
>0,6 – 0,8	Deficiente
>0,8 - 1	Muy Deficiente

Tabla 7. Niveles de calidad de las fuentes (ICO's). Ramírez A, Restrepo R, Cardeñosa M. (1999); 1(5): 89-99.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831999000100008

RESULTADOS

OLORES OFENSIVOS		
Calidad ambiental		
Olor	c.a.	c.a.
0	1	1
0.1	0.9999	0.9999
1	0.99	0.99
2	0.96	0.96
3	0.91	0.91
4	0.84	0.84
5	0.75	0.75
6	0.64	0.64
6.5	0.5775	0.5775

7	0.51	0.51
8	0.36	0.36
9	0.19	0.19
10	0	0

Tabla 8. Resultados obtenidos del estudio de olores ofensivos a causa del H2S. Autores. (2021)

Función de transformación:

$$ca = -\frac{x^2}{max^2} + 1$$

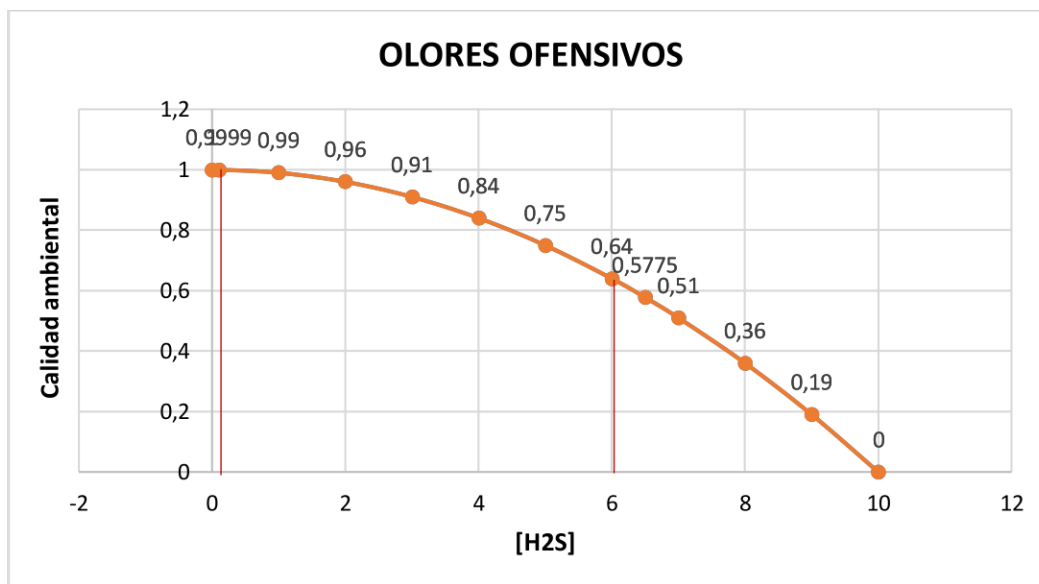


Figura 8. Grafica de la función de transformación referente a olores ofensivos. Autores. (2021)

ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA

	Parámetro		Calidad ambiental (c.a.)	
	SP	CP	SP	CP
ICOMI	0.05	0.069	0.9975	0.9952
ICOMO	0.3	0.58	0.91	0.66
ICOSUS	0.016	0.031	0.99	0.99
ICOPH	0.00068	0.00049	0.99	0.99

Tabla 9. Resultados obtenidos de los índices de calidad del agua (ICO'S) con proyecto y sin proyecto. Autores. (2021)

ICOMI		
Calidad Ambiental		
ICOMI	aguas arriba	aguas abajo
0	1	1
0.05	0.9975	0.9975
0.069	0.9952	0.9952
0.1	0.99	0.99
0.2	0.96	0.96
0.3	0.91	0.91
0.4	0.84	0.84
0.5	0.75	0.75
0.6	0.64	0.64
0.7	0.51	0.51
0.8	0.36	0.36
0.9	0.19	0.19
1	0	0

Tabla 10. Resultados del índice ICOMI para el caso de los dos puntos analizados. Autores. (2021)

Función de transformación:

$$ca = -\frac{x^2}{max^2} + 1$$

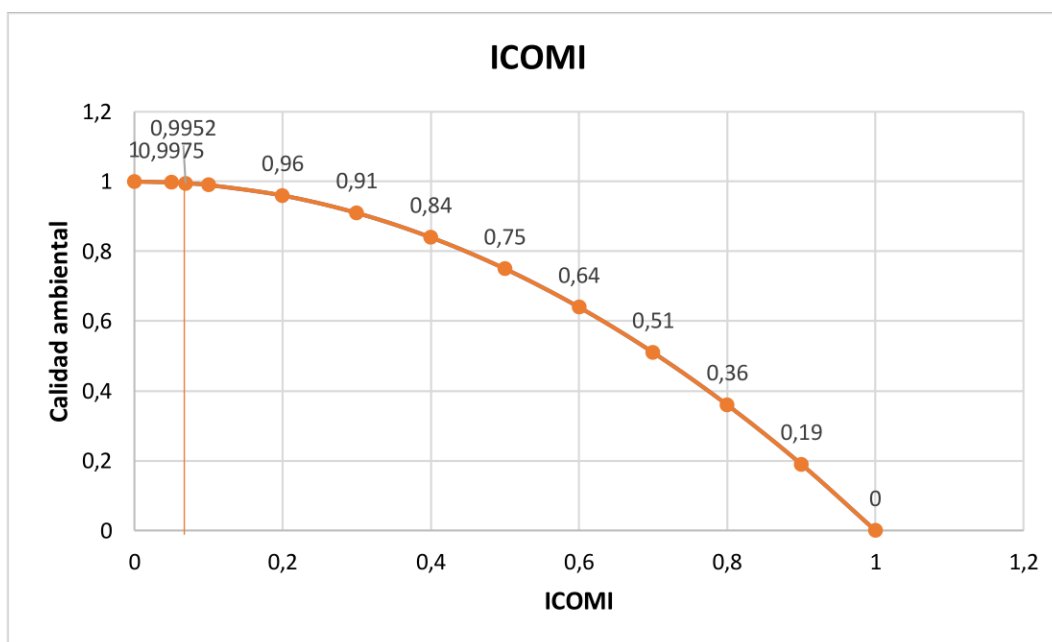


Figura 9. Gráfica de la función de transformación referente a los resultados obtenidos del estudio del índice de calidad ICOMI. Autores. (2021)

ICOMO		
calidad ambiental		
icomo	Aguas arriba	Aguas abajo
0	1	1
0.1	0.99	0.99
0.2	0.96	0.96
0.3	0.91	0.91
0.4	0.84	0.84
0.58	0.6636	0.6636
0.6	0.64	0.64
0.7	0.51	0.51
0.8	0.36	0.36
0.9	0.19	0.19
1	0	0

Tabla 11. Resultados del índice ICOMO para el caso de los dos puntos analizados. Autores. (2021)

Función de transformación:

$$ca = -\frac{x^2}{max^2} + 1$$

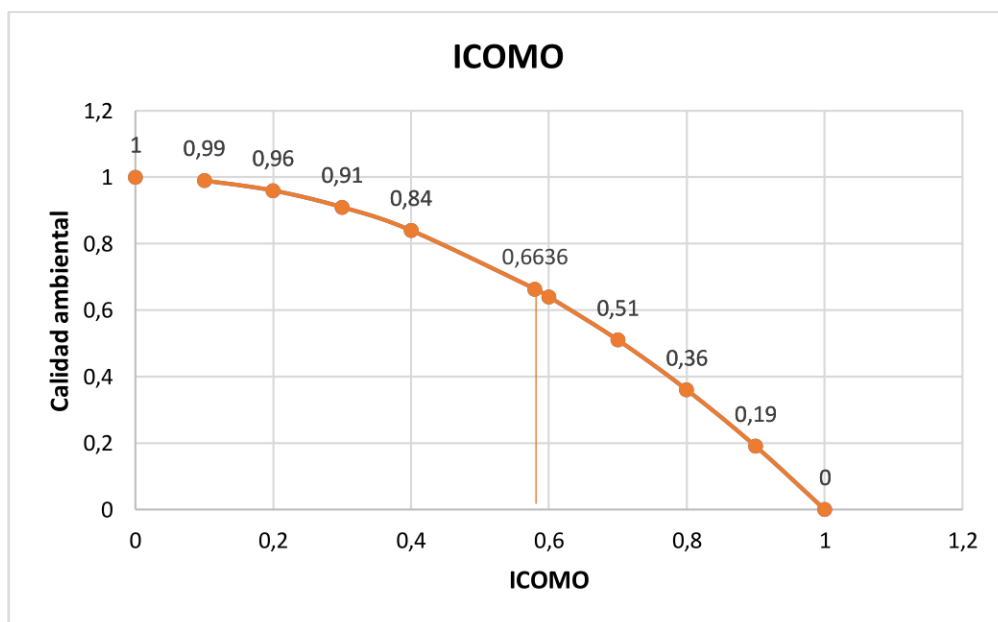


Figura 10. Gráfica de la función de transformación referente a los resultados obtenidos del estudio del índice de calidad ICOMO. Autores. (2021)

ICOSUS		
Calidad Ambiental		
ICOSUS	Aguas arriba	Aguas Abajo
0	1	1
0.016	0.999744	0.999744
0.031	0.999039	0.999039
0.2	0.96	0.96
0.3	0.91	0.91
0.4	0.84	0.84
0.5	0.75	0.75
0.6	0.64	0.64
0.7	0.51	0.51
0.8	0.36	0.36
0.9	0.19	0.19
1	0	0

Tabla 12. Resultados del índice ICOSUS para el caso de los dos puntos analizados. Autores. (2021)

Función de transformación:

$$ca = -\frac{x^2}{max^2} + 1$$

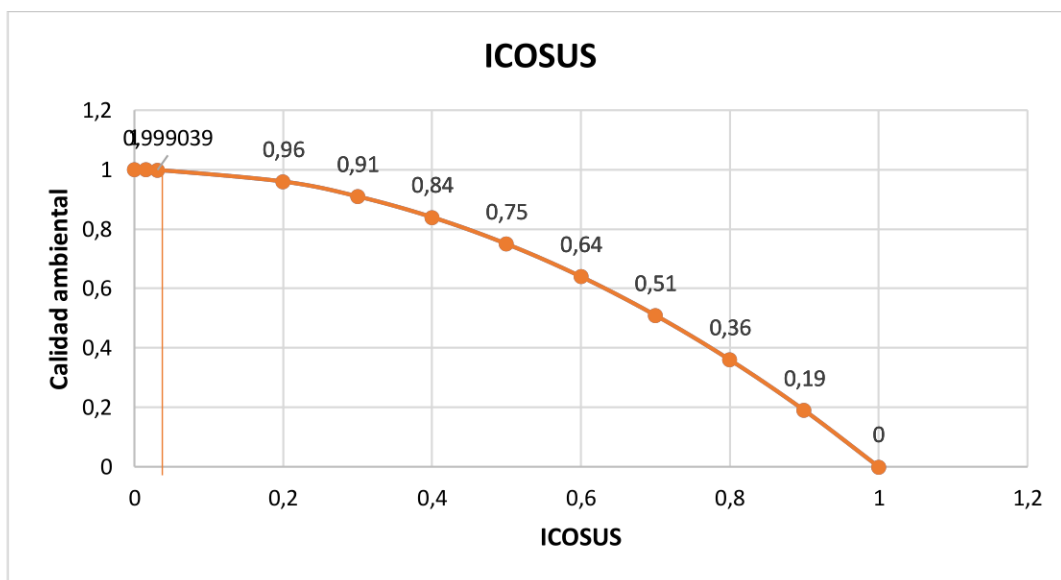


Figura 11. Gráfica de la función de transformación referente a los resultados obtenidos del estudio del índice de calidad ICOSUS. Autores. (2021)

ICOPH		
Calidad Ambiental		
ICOpH	aguas arriba	aguas abajo
0	1	1
0.00068	0.99999953	0.99999953
0.00049	0.99999976	0.99999976
0.1	0.99	0.99
0.2	0.96	0.96
0.3	0.91	0.91
0.4	0.84	0.84
0.5	0.75	0.75
0.6	0.64	0.64
0.7	0.51	0.51
0.8	0.36	0.36
0.9	0.19	0.19
1	0	0

Tabla 13. Resultados del índice ICOpH para el caso de los dos puntos analizados. Autores. (2021)

Función de transformación:

$$ca = -\frac{x^2}{max^2} + 1$$

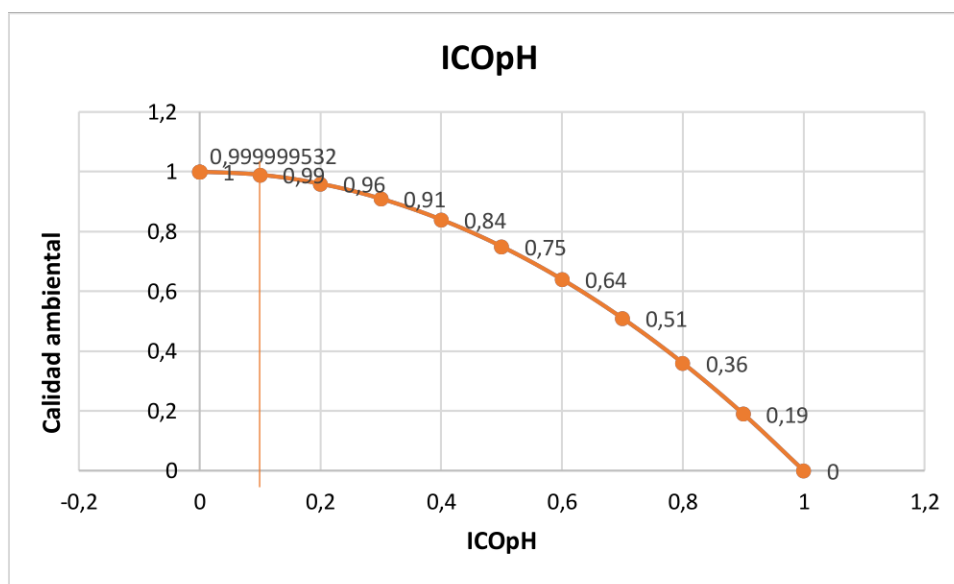


Figura 12. Gráfica de la función de transformación referente a los resultados obtenidos del estudio del índice de calidad ICOpH. Autores. (2021)

SOCIAL

Ítem	Ponderación
No ha habido conflicto	1
Situación de conflicto bajo	2
Situación de conflicto medio	3
Se ha presentado alto conflicto	4

Tabla 14. Tabla valorativa del grado de situación del conflicto. Autores. (2021)

Parámetro	c. a
0	1
1	0.75
2	0.5
3	0.25
4	0

Tabla 15. Resultados de la calidad ambiental del río junto al grado de situación del conflicto.

Autores. (2021)

IMPACTO	PARÁMETRO		CALIDAD AMBIENTAL	
	SP	CP	SP	CP
aparición de conflictos con las comunidades	1	3	0.75	0.25

Tabla 16. Valoración del impacto en parámetros y calidad ambiental. Autores. (2021)

Función de transformación:

$$ca = -\frac{x^2}{max^2} + 1$$

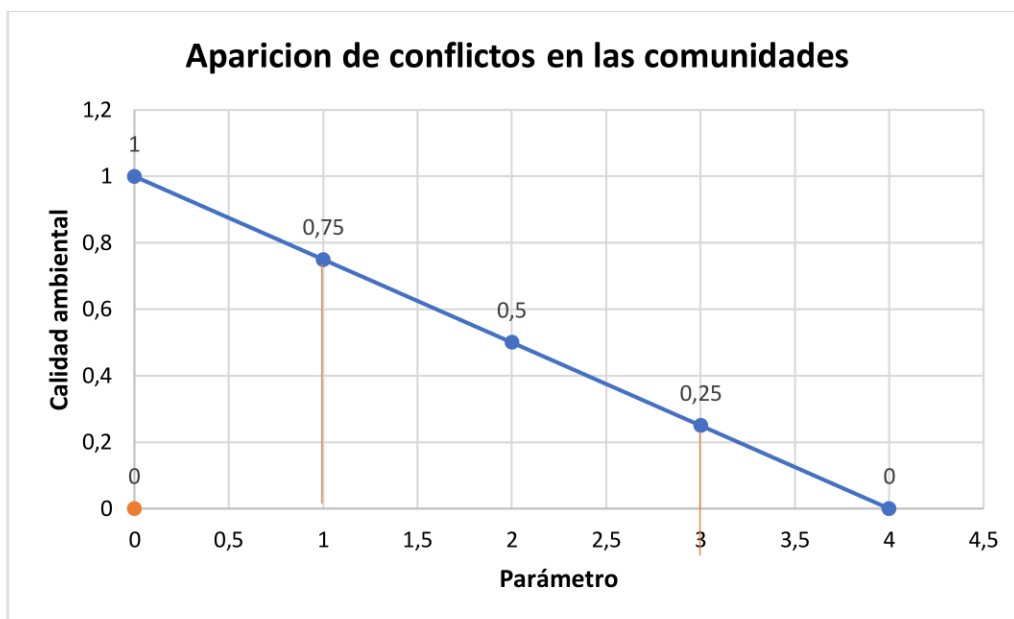


Figura 13. Gráfica de la función de transformación referente a los resultados obtenidos del estudio social. Autores. (2021)

MATRIZ DE BATELLE COLUMBUS MODIFICADA


MATRIZ BATALLE - COLUMBUS														 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia Vigilada Mineducación			
Evaluadores:		Juan Camilo Cantillo Henao Manuel Solano Tellez										Ubicación:		Ábrego, Norte de Santander			
Director		Wilson Angarita Castilla										Zona de Estudio:		Laguna de Oxidación			
CATEGORÍA AMBIENTAL	COMPONENTES	IMPACTOS AMBIENTALES	PARÁMETROS	uip	uip	ÍNDICE PONDERAL (UIP)	PARÁMETRO				CALIDAD AMBIENTAL (CA)		UNIDADES DE IMPACTOS AMBIENTALES (UIA)			% VARIACIÓN	SEÑALES DE ALERTA
							SIN PROY	Nivel de calidad	CON PROY	Nivel de calidad	SIN PROY	CON PROY	CON PROY	SIN PROY	CAMBIO NETO		
CONTAMINACIÓN AMBIENTAL	AGUA	Contaminación del agua por vertimiento de aguas residuales domesticas	ICOMI	8	1	8	0,05	ACEPTABLE	0,069	ACEPTABLE	0,9975	0,9952	7,98	7,9616	-0,0184	0,23 %	IRRELEVANTE
			ICOMO		3	24	0,3	BAJA	0,58	REGULAR	0,91	0,66	21,84	15,84	-6	27,47 %	MODERADO
			ICOSUS		3	24	0,016	ACEPTABLE	0,00068	ACEPTABLE	0,99	0,99	23,4	23,76	0,36	-1,54 %	IRRELEVANTE
			ICOPH		1	8	0,041	ACEPTABLE	0,00024	ACEPTABLE	0,99	0,99	7,45	7,92	0,47	-6,31 %	IRRELEVANTE
	AIRE	Contaminación del aire por presencia de olores ofensivos	H2S	2	2	4	0,1		6,5		0,99	0,54	3,96	2,16	-1,8	45,45 %	MODERADO
ASPECTOS DE INTERÉS HUMANO	SOCIAL	Aparición de conflictos con las comunidades	Aparición de conflictos	2	2	4	1		0,75		3	0,25	12	1	-11	92%	CRITICO

Figura 14. Matriz de impactos Batelle – Columbus modificada. Autores. (2021)

ICO's	NIVEL CALIDAD FUENTE
0- 0,2	Aceptable
>0,2 – 0,4	Baja
>0,4 – 0,6	Regular
>0,6 – 0,8	Deficiente
>0,8 - 1	Muy Deficiente

IMPORTANCIA DEL IMPACTO	
De 0 a 25	Irrelevante
De 26 a 50 moderado	Moderado
De 51 a 75	Severo
Mayor a 75	Crítico

5.3 Predecir el impacto del vertimiento proveniente de la laguna de oxidación mediante modelación de la calidad del agua, a través del modelo matemático Streeter-Phelps.

Para la ejecución de este objetivo tomamos datos que se obtuvieron por el grupo MINDALA vinculado a la Universidad Francisco de Paula Santander – Ocaña, en el año 2017 en el mes de febrero (periodo seco y es esencial ya que el análisis de esta fórmula busca las condiciones más desfavorables del río) mediante estudios realizados al Río Algodonal y los cuales fueron suministrados a los autores de este proyecto a través del director del mismo, el cual hace parte del grupo mencionado. Es importante recalcar que estos análisis se realizaron en condiciones normales de funcionamiento de la laguna.

DATOS RÍO ARRIBA	DATOS DEL EFLUENTE
$Q_r = 1,28 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_v = 0,232 \text{ m}^3/\text{s}$
$OD_r = 8,1 \text{ mg/L}$	$OD_v = 1,24 \text{ mg/L}$
$T^{\circ}_r = 21,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T^{\circ}_v = 24,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$
$DBO_r = 1,3 \text{ mg/L}$	$DBO_v = 53,5 \text{ mg/L}$

Tabla 17. Datos hidráulicos y de calidad del agua del Río Algodonal y del efluente proveniente de la laguna de oxidación de Ábrego. Grupo Mindala. (2017)

A continuación, se desarrollan las ecuaciones propuestas por Streeter y Phelps, contempladas en la metodología del presente documento.

✓ Balance de caudal:

$$Q_0 = Q_r + Q_v$$

$$= 1,28 + 0,232$$

$$= \mathbf{1,51 \text{ m}^3/\text{s}}$$

✓ Balance de oxígeno disuelto:

$$\begin{aligned}
 OD_0 &= \frac{OD_r Q_r + OD_v Q_v}{Q_0} \\
 &= \frac{8,1 * 1,28 + 1,24 * 0,232}{1,51} \\
 &= \mathbf{7,05 \text{ mg/L}}
 \end{aligned}$$

✓ Balance DBO:

$$\begin{aligned}
 DBO_0 &= \frac{DBO_r Q_r + DBO_v Q_v}{Q_0} \\
 &= \frac{1,3 * 1,28 + 53,5 * 0,232}{1,51} \\
 &= \mathbf{9,32 \text{ mg/L}}
 \end{aligned}$$

✓ Balance T°:

$$\begin{aligned}
 T^{\circ}_0 &= \frac{T^{\circ}_r Q_r + T^{\circ}_v Q_v}{Q_0} \\
 &= \frac{21,3 * 1,28 + 24,8 + 0,232}{1,51} \\
 &= \mathbf{21,44 \text{ }^{\circ}\text{C}}
 \end{aligned}$$

✓ Balance de OD (déficit de oxígeno en el tramo de vertido):

$$\begin{aligned}
 D_0 &= O_s - O_0 \\
 &= \mathbf{8,76 - 7,05 = 1,71 \text{ mg/L}}
 \end{aligned}$$

✓ Distancia de mezcla:

$$Lm = 0,24 * U \frac{B^2}{H}$$

$$= 0,24 * U \frac{12,35^2}{0,21}$$

$$= \mathbf{36,6 \text{ m}}$$

Obtenidos los datos, procedemos a realizar una comparación entre los puntos antes del vertimiento (río arriba), los obtenidos por las ecuaciones de Streeter – Phelps (en el punto de vertimiento) y puntos después del vertimiento (río abajo). Estos últimos datos también fueron obtenidos a través del grupo MINDALA. Es importante recalcar que estos análisis se realizaron en condiciones normales de funcionamiento de la laguna.

Punto	Distancia (m)	Tiempo (días)	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Caudal Q (m ³ /s)	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	Ka	kd	ka corregida	kd corregida	ODS (mg/L)	ODS-OD (mg/L)	DBOx (mg/L)	ODx (mg/L)
1	-200	0	0,21	0,46	1,28	21,3	8,1	1,3	0,25	0,20	0,258	0,206	8,79	0,69	1,30	8,1
2	0	0	0,22	0,4	1,51	21,44	7,05	9,32	0,21	0,19	0,217	0,197	8,76	1,71	9,32	7,05
3	204	0,005	0,2	0,26	1,3	21,7	7,11	3,5	0,18	0,20	0,187	0,208	8,72	1,61	3,49	7,15
4	6791	0,14	0,26	0,5	1,39	22,9	8,8	2,3	0,18	0,18	0,193	0,193	8,51	-0,29	2,23	9

Tabla 18. Datos hidráulicos y de calidad del agua del Río Algodonal junto a datos obtenidos a través de las ecuaciones de Streeter y Phelps. Grupo Mindala. (2017)

Teniendo en cuenta los datos de la tabla anterior procedemos a determinar cómo reacciona la DBO y el OD disuelto en función de la distancia.

COEFICIENTE DE DESOXIGENACIÓN (Kd)

Es la constante cinética de primer orden para el consumo de oxígeno por la acción metabólica. La relación entre Kd y la profundidad del río está dada por la siguiente expresión

(Chapra, 1997). Se escogió el factor de corrección de Chapra debido a que las condiciones hidráulicas del río se caracterizan por baja velocidad y profundidad.

$$K_d = 0.3 * \left(\frac{H}{8}\right)^{-0.434}$$

(Chapra, 1997)

Donde,

Ka: Constante de desoxigenación

H: Profundidad

COEFICIENTE DE REAIREACIÓN (Ka)

Es la constante cinética de primer orden para la transferencia de oxígeno desde el aire, mide la velocidad a la que el oxígeno presente en la atmosfera es transferido a los cuerpos de agua. Un coeficiente de aireación alto indica rápida recuperación de oxígeno disuelto, mientras que un coeficiente bajo indica recuperación baja de oxígeno disuelto. El coeficiente de reaireación depende de la mezcla y turbulencia interna debido a la gradiente de velocidad, temperatura, viento, caídas de agua, rápidos, etc. (Cajas, V. 2015)

$$K_a = 5,32 \frac{V^{0.67}}{H^{1.85}}$$

(Owens y Gibbs, 1964)

Donde,

Ka: Constante de reaireación

V: Velocidad

H: Profundidad

CORRECCIONES DE LAS CONSTANTES CINÉTICAS POR LA TEMPERATURA

$$K(T) = K_{20} * \theta^{T-20}$$

Donde,

$K(T)$ = Corrección de la temperatura

K = Factor de corrección

T = Temperatura de la mezcla

θ = Factor para obtención de las constantes cinéticas reales

Punto 1

Constante de desoxigenación

$$K_d = 0,3 * (H/8)^{(-0,434)}$$

$$K_d = 0,3 * (21/8)^{(-0,434)}$$

$$K_d = \mathbf{0,20}$$

Constante de Reaireación

$$K_a = 5,32 * (V^{(0,67)}/H^{(1,85)})$$

$$K_a = 5,32 * (46^{(0,67)}/21^{(1,85)})$$

$$K_a = \mathbf{0,25}$$

Corrección de la constante de Oxidación (Kd):

$$K(T) = 0,20 * 1,024^{(21.3-20)}$$

$$K(T) = \mathbf{0,206}$$

Corrección de la constante de aireación (Ka):

$$K(T) = 0,25 * 1,024^{(21.3-20)}$$

$$K(T) = \mathbf{0,258}$$

Punto 2

Constante de desoxigenación

$$K_d = 0,3 * (H/8)^{(-0,434)}$$

$$K_d = 0,3 * (22/8)^{(-0,434)}$$

$$K_d = \mathbf{0,19}$$

Constante de reaireación

$$K_a = 5,32 * (V^{(0,67)}/H^{(1,85)})$$

$$K_a = 5,32 * (40^{(0,67)}/22^{(1,85)})$$

$$K_a = \mathbf{0,21}$$

Corrección de la constante de Oxidación (Kd):

$$K(T) = 0,19 * 1,024^{(21,44-20)}$$

$$K(T) = \mathbf{0,197}$$

Corrección de la constante de aireación (Ka):

$$K(T) = 0,21 * 1,024^{(21,44-20)}$$

$$K(T) = \mathbf{0,217}$$

Punto 3

Constante de desoxigenación

$$K_d = 0,3 * (H/8)^{(-0,434)}$$

$$K_d = 0,3 * (20/8)^{(-0,434)}$$

$$K_d = \mathbf{0,20}$$

Constante de reaireación

$$K_a = 5,32 * (V^{(0,67)}/H^{(1,85)})$$

$$K_a = 5,32 * (26^{(0,67)}/20^{(1,85)})$$

$$K_a = \mathbf{0,18}$$

Corrección de la constante de oxidación (Kd):

$$K(T) = 0,20 * 1,024^{(21,7-20)}$$

$$K(T) = \mathbf{0,208}$$

Corrección de la constante de aireación (Ka):

$$K(T) = 0,18 * 1,024^{(21,7-20)}$$

$$K(T) = \mathbf{0,187}$$

Punto 4

Constante de desoxigenación

$$K_d = 0,3 * (H/8)^{(-0,434)}$$

$$K_d = 0,3 * (26/8)^{(-0,434)}$$

$$K_d = \mathbf{0,18}$$

Constante de Reaireación

$$K_a = 5,32 * (V^{(0,67)}/H^{(1,85)})$$

$$K_a = 5,32 * (50^{(0,67)}/26^{(1,85)})$$

$$K_a = \mathbf{0,18}$$

Corrección de la constante de Oxidación (Kd):

$$K(T) = 0,18 * 1,024^{(22,9-20)}$$

$$K(T) = \mathbf{0,193}$$

Corrección de la constante de aireación (Ka):

$$K(T) = 0,18 * 1,024^{(22,9-20)}$$

$$K(T) = \mathbf{0,193}$$

CONCENTRACIÓN DE SATURACIÓN DE OXÍGENO

$$\text{ODS} = 14.652 - (0,41022 * T) + (0.0079910 * T^2) - (0.000077774 * T^3)$$

Donde,

ODS = Concentración de saturación de oxígeno

T = Temperatura

Punto 1

$$\text{ODS} = 14.652 - (0,41022 * 21,3) + (0.0079910 * 21,3^2) - (0.000077774 * 21,3^3)$$

$$\text{ODS} = 8.79$$

Punto 2

$$\text{ODS} = 14.652 - (0,41022 * 21,44) + (0.0079910 * 21,44^2) - (0.000077774 * 21,44^3)$$

$$\text{ODS} = 8.76$$

Punto 3

$$\text{ODS} = 14.652 - (0,41022 * 21,7) + (0.0079910 * 21,7^2) - (0.000077774 * 21,7^3)$$

$$\text{ODS} = 8.72$$

Punto 4

$$ODS = 14.652 - (0,41022*22,9) + (0.0079910*22,9^2) - (0.000077774*22,9^3)$$

$$ODS = \mathbf{8.51}$$

CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO

$$OD = Os - Do$$

Donde:

OD = Oxígeno disuelto en el río a x (m) aguas debajo de la descarga

Os = Saturación del oxígeno disuelto

Do = Déficit inicial de oxígeno disuelto

Punto 1

$$OD = 8,79 - 8,1$$

$$OD = \mathbf{0,69}$$

Punto 2

$$OD = 8,76 - 7,05$$

$$OD = \mathbf{1,71}$$

Punto 3

$$OD = O_s - D_o$$

$$OD = 8,72 - 7,11$$

$$OD = \mathbf{1,61}$$

Punto 4

$$OD = O_s - D_o$$

$$OD = 8,51 - 8,8$$

$$OD = \mathbf{-0,29}$$

DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA

$$\mathbf{DBO_x = L_o * e^{-kd*x/v*86400}}$$

Donde,

L_o = Demanda biológica de oxígeno (DBO)

e = El número de Euler

K_d = constante de Oxidación corregida

x = Distancia

v = Velocidad

Punto 1

$$DBO_x = L_0 * e^{-k_d * x / v * 86400}$$

$$DBO_x = 1,3 * e^{-0.206 * 1/0,46 * 86400}$$

$$DBO_x = \mathbf{1,30}$$

Punto 2

$$DBO_x = L_0 * e^{-k_d * x / v * 86400}$$

$$DBO_x = 9,32 * e^{-0.197 * 1/0,4 * 86400}$$

$$DBO_x = \mathbf{9,32}$$

Punto 3

$$DBO_x = L_0 * e^{-k_d * x / v * 86400}$$

$$DBO_x = 3,5 * e^{-0.208 * 204 / 0,26 * 86400}$$

$$DBO_x = \mathbf{3,49}$$

Punto 4

$$DBO_x = L_0 * e^{-k_d * x / v * 86400}$$

$$DBO_x = 2,3 * e^{-0.193 * 6791 / 0,5 * 86400}$$

$$DBO_x = \mathbf{2,23}$$

DEMANDA OXÍGENO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA

$$\mathbf{OD_x = L_0 * e^{-k_a * x / v * 86400}}$$

Donde,

L_0 = Oxígeno Disuelto (OD)

e = El número de Euler

K_a = Constante de aireación corregida

x = Distancia

v = Velocidad

Punto 1

$$OD_X = L_0 * e^{-ka*x/v*86400}$$

$$OD_X = 8,1 * e^{-0,258*1/0,46*86400}$$

$$OD_x = \mathbf{8,1}$$

Punto 2

$$OD_X = L_0 * e^{-ka*x/v*86400}$$

$$OD_X = 7,05 * e^{-0,217*1/0,4*86400}$$

$$OD_x = \mathbf{7,05}$$

Punto 3

$$OD_X = L_0 * e^{-ka*x/v*86400}$$

$$OD_X = 6,4 * e^{-0,187*204/0,26*86400}$$

$$OD_x = \mathbf{7,15}$$

Punto 4

$$OD_x = L_0 * e^{-ka*x/v*86400}$$

$$OD_x = 8,8 * e^{-0,193*6791/0,5*86400}$$

$$OD_x = 9,00$$

A continuación, haremos una comparación de la DBO tomada en campo y la DBOx en función de la distancia, la cual fue obtenida mediante ecuaciones propuestas por Streeter – Phelps y otros autores.

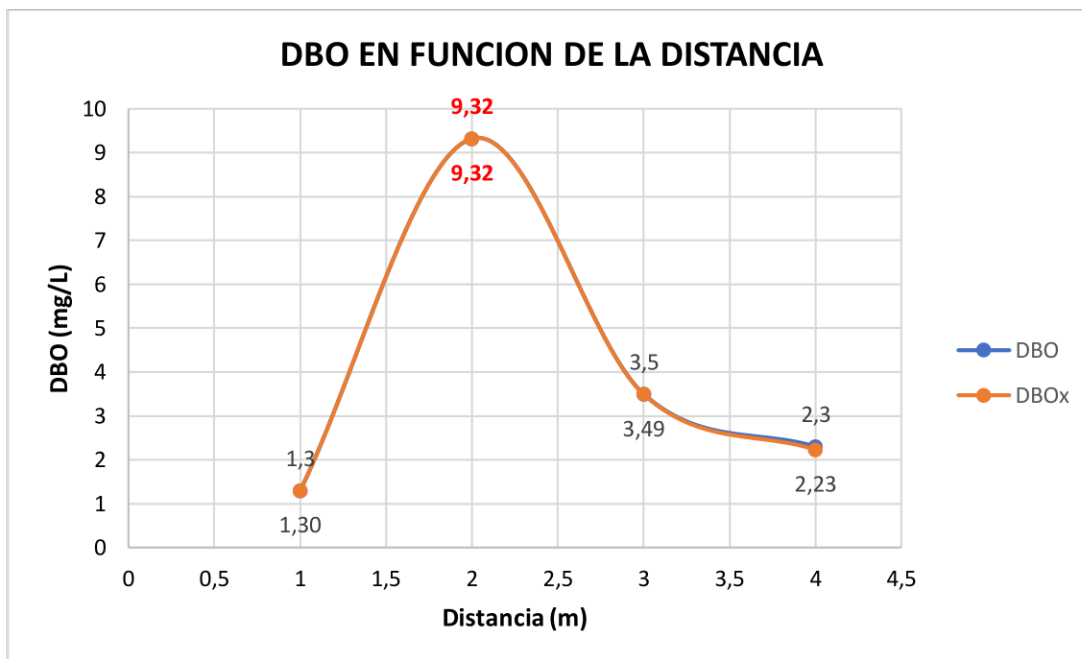


Figura 15. Evolución de la DBO en distintos puntos de muestreo. Autores. (2021)

De acuerdo a esta grafica podemos apreciar que la DBO tomada en campo es similar a la hallada mediante ecuaciones lo que refleja el % de error pequeño que tiene esta. La cantidad de DBO presente en Río Algodonal río arriba, es decir antes del vertimiento es baja,

haciendo referencia a las condiciones normales de este y luego al momento de obtener las descargas de aguas residuales por parte de la laguna de oxidación se observa un aumento exponencial de la DBO, la cual se produce debido al alto contenido de materia orgánica proveniente de la laguna, lo que indica que cuanto mayor cantidad de materia orgánica contiene la muestra, más oxígeno necesitan sus microorganismos para degradarla y a partir de este vertimiento la DBO vuelve a disminuir conforme se aleja del punto donde se presenta el vertimiento.

A continuación, haremos una comparación del OD tomada en campo y el ODx en función de la distancia, la cual fue obtenida mediante ecuaciones propuestas por Streeter – Phelps y otros autores.

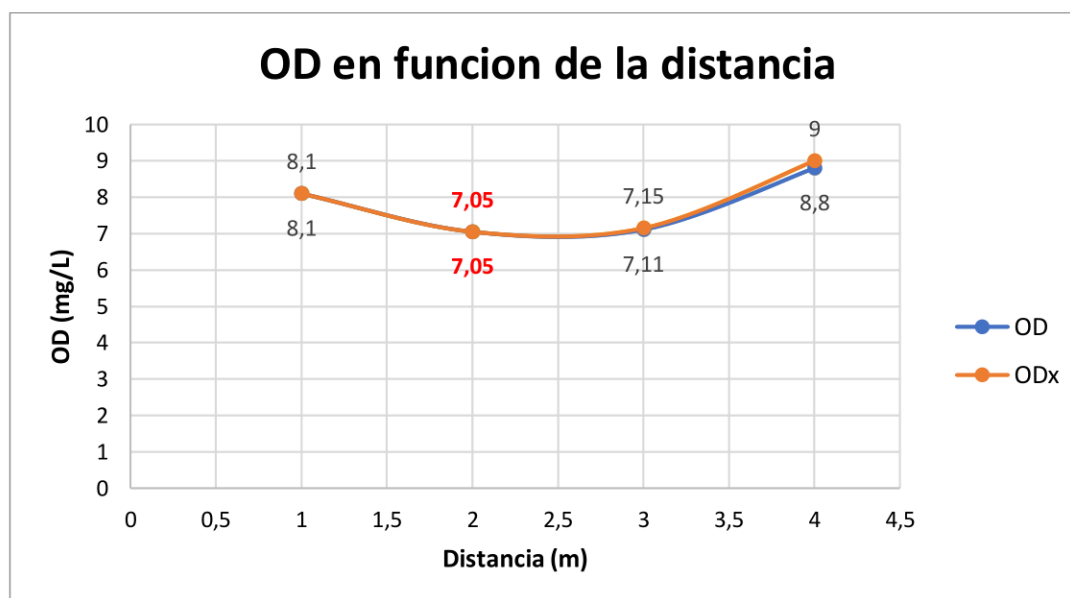


Figura 16. Evolución del OD en distintos puntos de muestreo. Autores. (2021)

De acuerdo a esta grafica podemos apreciar que el OD tomado en campo es similar a la hallada mediante ecuaciones lo que refleja el % de error pequeño que tiene esta. Como se sabe el oxígeno disuelto es uno de los indicadores más importantes para determinar la calidad

del agua, es decir que entre más alta es este valor nos indica que estas aguas están en perfecto estado, en donde podemos decir que los valores normales varían entre los 7.0 y 10 mg/L, y de acuerdo a la gráfica anterior podemos observar y concluir que río arriba el OD se encuentra cerca de los niveles normales de los valores de OD, y a partir del punto donde se generan las descargas del vertimiento en donde trae con ello un alto contenido de materia orgánica, lo cual acarrea al descenso de la concentración de oxígeno pudiendo crear episodios de hipoxia, y luego río abajo los niveles de OD vuelven a tener nuevamente valores normales de OD.

A continuación, haremos una comparación del ODx vs el DBOx obtenido mediante ecuaciones de modelación.

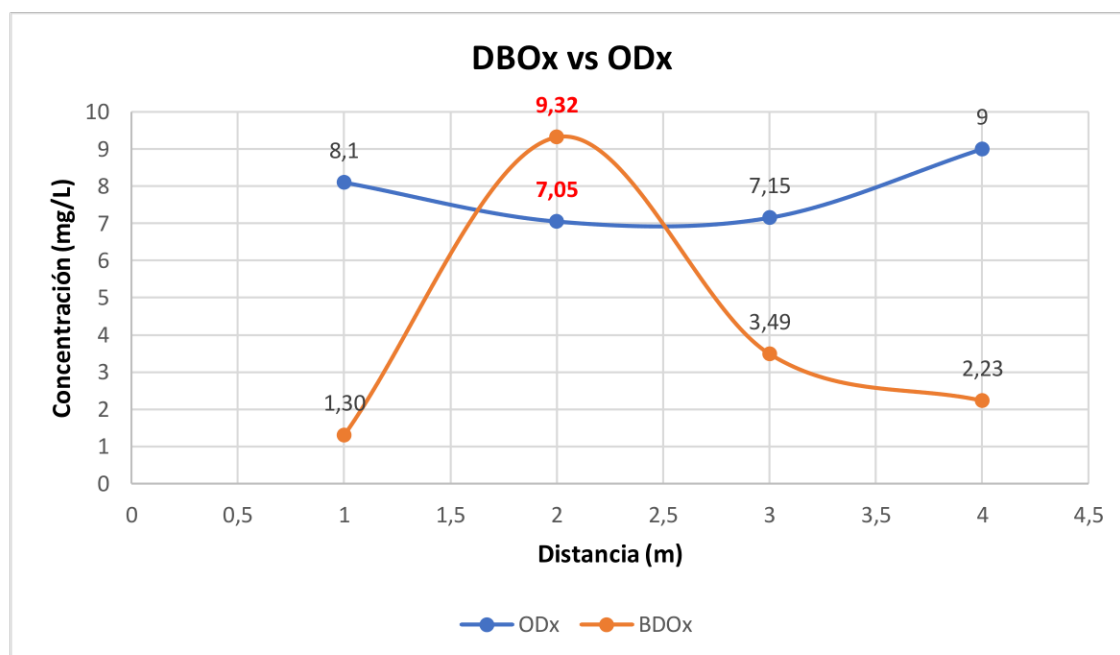


Figura 17. Evolución del ODx vs el DBOx en distintos puntos de muestreo. Autores. (2021)

En esta gráfica podemos observar el cambio que en el punto donde se genera el vertimiento se presentan distintas variaciones a la calidad del agua del Río Algodonal, es por esto que el ODx en este punto disminuye y en cambio ahí mismo se observa un aumento de

DBOx que son perceptibles, esto debido a que los microorganismos presentes utilizan el oxígeno del agua para degradar la materia orgánica, lo cual conlleva a descender estos niveles de OD alterando los ecosistemas de flora y fauna acuáticos. No obstante, la evolución de estos dos parámetros se estabiliza en pocos metros (punto 3) y se normalizan río abajo (punto 4); esto debido a la gran capacidad de asimilación que tiene el río a la recepción de materia orgánica, impidiendo una afectación considerable a la calidad del agua y biota de la laguna.

Capítulo 6. Conclusiones

De acuerdo a toda la información recolectada acerca de los procesos de operación de la laguna de oxidación de Ábrego – Norte de Santander, se puede establecer que esta es una infraestructura encargada de tratar las aguas residuales del 90% del municipio de Ábrego; la cual tiene una extensión de 10873.50 m² y un volumen útil de 16310.25 m³. Esta laguna funciona autónomamente y es un método muy simple de tratamiento de aguas residuales, la cual consiste en que cuando el agua residual es descargada en ella, se realiza de forma natural un proceso de auto-purificación en donde se da la sedimentación de sólidos en suspensión y oxidación de la materia orgánica por bacterias aerobias ayudadas a su vez por la fotosíntesis de las algas y de tal forma eliminando la materia orgánica y microorganismos patógenos en gran medida. Por causa del abandono por parte de la unidad de servicios públicos de Ábrego y la alcaldía del mismo municipio, esta laguna se satura por el alto contenido de lodos resultantes del proceso que ocurre en ella y como consecuencia la alta probabilidad de modificar la calidad del agua del río Algodonal.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos del desarrollo de la matriz de evaluación Batelle – Columbus modificada, se puede observar que 3 de los 6 parámetros estudiados presentan señales de alerta irrelevantes los cuales fueron los índices de contaminación por mineralización (ICOMI) los cuales se relacionan a la conductividad y dureza del agua que para el caso de la laguna son aguas provenientes en su gran mayoría de uso residencial y su principal componente de alteración de este índice son la presencia de aguas grises que contienen residuos de jabones y lo cual demuestra que no es un impacto de consideración. También se encuentra el índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) como se indica anteriormente, se determina por la presencia de sólidos en el agua y según los

resultados arrojados podemos ratificar que esto se debe a la función que realizan las rejillas de retención situadas en el conducto de entrada del agua a la laguna y los procesos de degradación que ocurren en ella. Por último, tenemos el índice de contaminación por pH (ICOpH); el valor de pH utilizado para determinar el índice de contaminación fue de 7.11 para la muestra aguas arriba y 6.81 para aguas abajo, después de aplicar este valor a la fórmula del ICOpH se obtuvo un valor de 0.99999976 con tendencia a 0, lo que indica que la contaminación generada por la variación del pH es casi nula y esto también se refleja en los datos determinamos en la matriz de evaluación siendo el nivel de calidad aceptable y la señal de alerta irrelevante.

Por otro lado, se observa que 3 parámetros arrojaron niveles de calidad bajo sin proyecto y regular con proyecto, además señales de alerta moderado para el caso de índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO), lo que lleva a concluir que a pesar de que la laguna trabaja en condiciones normales aún se logra apreciar cierto contenido de materia orgánica en el vertimiento que se realiza al Río Algodonal, generando un leve cambio a la calidad del agua y una alteración a la fauna y flora de este. El otro parámetro que presentó señales de alerta moderada fue la calidad del aire por medio de la liberación del sulfuro de hidrógeno (H₂S) provocando ligeros impactos ambientales por contaminación del aire por presencia de olores ofensivos. Este gas es inflamable, incoloro, tóxico, odorífero: su olor es el de materia orgánica en descomposición, como de huevos podridos. Esta proliferación de olores desagradables se debe principalmente a la descomposición de lodos acumulados por largos periodos en esta laguna y como consecuencia los principales afectados son los pobladores con asentamientos cercanos a esta. Finalmente, en el componente social que se encuentra en un estado crítico.

En cuanto a los resultados obtenidos mediante la ejecución de las ecuaciones de Streeter y Phelps, podemos afirmar que se produce una alteración a las condiciones normales del río en el punto del vertimiento del efluente en términos de oxígeno disuelto (OD) arrojando un valor de 7,05 mg/L, el cual en comparación con datos tomados en otros puntos del río es este el que tiene la concentración más baja, esto como consecuencia de la demanda de oxígeno utilizada por los microorganismos encargados de degradar la materia orgánica presente. En cuanto a la demanda biológica de oxígeno (BDO) arrojando un valor de 9,32 mg/L, el cual en comparación con datos tomados en otros puntos del río es este el que tiene la concentración más alta debido a la gran presencia de materia orgánica proveniente de la laguna. No obstante, analizando la evolución de estos dos parámetros después del vertimiento generado se concluye que a una distancia de 204 metros (punto 3) el río puede absorber la carga contaminante y comienza a recuperar sus condiciones normales y que metros más abajo (punto 4) se estabiliza totalmente afirmando que este vertimiento no altera en gran medida al Río Algodonal debido a su capacidad de asimilación aun estando en época seca, que es cuando el río en sus condiciones menos óptimas y estando la laguna de oxidación en condiciones normales.

Capítulo 7. Recomendaciones

A corto plazo se recomienda llevar a cabo un adecuado mantenimiento periódicamente a la laguna de oxidación teniendo como objetivo principal la remoción de lodos que saturan la laguna, con la finalidad de que esta tenga una alta capacidad de remoción en cuanto a la carga orgánica y de agentes biológicos. Además de esto, mantenimientos preventivos y correctivos al sistema de conducción de aguas residuales ya que muchas veces no alcanzan a llegar a la laguna y se vierten directamente al Río Algodonal sin ningún tipo de tratamiento.

En el mediano plazo llevar a cabo la construcción de la segunda laguna de oxidación como se había estipulado inicialmente en el plan de desarrollo de Ábrego, ya que los caudales de aguas residuales que recibe la laguna de oxidación son muy grandes debido al incremento de la población en el casco urbano del municipio de Ábrego y sumando a ello los largos períodos de lluvia, ocasionando que la laguna de oxidación colapse. Junto con lo anterior, se recomienda la implementación de tratamientos primarios tales como sedimentadores o utilizar aireadores mecánicos para que el proceso de la laguna se lleve a cabo con más rapidez y efectividad.

A futuro se recomienda implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales con procesos físicos, químicos y biológicos donde se lleve un monitoreo permanente de la calidad de las aguas y con la suficiente capacidad para recibir grandes caudales de aguas residuales provenientes de una gran población que crece exponencialmente.

Referencias

- Aguilar, J. (2018). *Evaluación De La Calidad Del Biosólido Obtenido Mediante El Proceso De Digestión Anaerobia Termofílica, De Los Lodos Residuales De La Laguna De Estabilización De La Ciudad De Juliaca*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional del Altiplano.
- Alcaldía de Abrego (2000). *Plan básico de ordenamiento territorial (2001 – 2009)*.
https://abregonortedesantander.micolombiadigital.gov.co/sites/abregonortedesantander/content/files/000023/1102_55-pbot.pdf
- Atencia, C. (2007). *Diagnóstico de la Contaminación Por Vertimiento de Aguas Residuales Domésticas Y Residuos Sólidos Domésticos Sobre la Microcuenca Monteadentro hasta el Sector de la Bocatoma del Acueducto de la Ciudad Pamplona*. [Tesis de Pregrado, Universidad Libre de Colombia]. Repositorio institucional - Universidad Libre de Colombia.
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10293/PROYECTO%20DE%20PASANTIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bigorda, T. (27 de junio de 2017). *El problema de la contaminación del agua. El problema de la contaminación del agua*. Tomado el 28 de octubre de 2020.
<https://afaramos.blogspot.com/2017/06/el-problema-de-la-contaminacion-del-agua.html?spref=tw>
- Cajas, V. (2015). *ESTIMACIÓN DE VALORES DE CONTAMINACIÓN DIFUSA PARA EL RÍO TOMBAMBA EN ZONAS PERIFÉRICAS Y URBANAS – PRIMERA*

APROXIMACIÓN.

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23122/1/TESIS.pdf>.

Contraloría general del departamento de Norte de Santander (2013). *INFORME DEL*

ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE DEL

DEPARTAMENTO NORTE DE SANTANDER

http://www.contraloriands.gov.co/Content/ControlAmbiental/4_INFORME_RECursos_NATURALES_2013.pdf

DANE. (2005). *BOLETÍN. Censo General 2005.*

https://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/54003T7T000.PDF

Decreto 050, Art. 9. (2018). *"Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1076 de 2015,*

Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en

relación con los Consejos Ambientales Regionales de la Macrocuencas (CARMAC), el

Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos y se dictan otras disposiciones". 16

de enero de 2018.

Decreto 2667. (2012). *Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e*

indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras

determinaciones. 21 de diciembre de 2012. Diario oficial No. 48651.

Decreto 3930. (2010). *Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979,*

así como el Capítulo 11 del Título VI-Parte 111- Libro 11 del Decreto - Ley 2811 de

1974 en cuanto a usos del agua y residuos liquidas y se dictan otras disposiciones. 25

de octubre de 2010. Diario oficial No. 47873.

- Decreto 2811. (1974). *Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente*. Diciembre de 1974. Diario Oficial No. 34243.
- E Colombia. (2004, abril). *Saneamiento hídrico en Colombia: Instituciones y situación actual*. Publicación, N° 18. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4021099.pdf>
- Fibras & Normas de Colombia S.A.S (2018). *Lagunas de Oxidación Definición y Características*. Fibras & Normas de Colombia S.A.S. Tomado el 27 de noviembre de 2020. <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/definicion-y-caracteristicas-de-las-lagunas-de-oxidacion/>
- González, F. (2011, diciembre). *Diseño de una Planta de Tratamiento Piloto de Aguas Residuales Domésticas para el Conjunto Residencial Matisse utilizando un Humedal Artificial*. [Tesis de Pregrado, Universidad San Francisco de Quito]. Repositorio institucional - Universidad San Francisco de Quito
<http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1238/1/101772>
- Haz, J. (2016, septiembre). *Diseño de un Sistema de Aireación Para Mejorar la Operación de las Lagunas de Oxidación del Cantón Playas*. [Tesis de Maestría, Universidad de Guayaquil]. Repositorio institucional – Universidad de Guayaquil.
http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/12883/1/TESIS%20MGA%20009_%20%20Jos%c3%a9%20Haz.pdf

- Hellweger, F. (2015, mayo). *100 años desde Streeter y Phelps: es hora de actualizar la biología en nuestros modelos de calidad del agua. Ciencia y Tecnología Ambiental.* 49 (11), 6372-6373. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.5b02130>
- Hidalgo, M. & Mejía, E. (2010). *Diagnóstico De La Contaminación Por Aguas Residuales Domésticas, Cuenca Baja De La Quebrada La Macana, San Antonio De Prado. Municipio De Medellín.*
<http://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/1304/1/DiagnosticoContaminacionAguasResidualesDomesticas.pdf>.
- Larios, F. L. M., Gonzáles, C. G. T., & Morales, Y. N. O. (2015, agosto). *Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. SABER Y HACER.* Tomado el 02 de diciembre de 2020. <http://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115>
- Ley 99. (1993). *Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.* 22 de diciembre de 1993. Diario Oficial No. 41.146.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2011, octubre). *Proyecto: Desarrollo De Capacidades En El Uso Seguro De Aguas Residuales Para Agricultura.*
https://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/356/mod_page/content/128/Colombia_Informe%20Nacional.pdf
- MinSalud. (1979). *LEY 9. Colombia. Por la cual se dictan Medidas Sanitarias.* 24 de Enero de 1979. Diario Oficial No. 35308.

Ordoñez & Palacios. (2017, junio). *Vertimientos a cuerpos superficiales de agua – proyecto vial: Doble calzada Rumichaca – Pasto, Tramo San Juan – Pedregal.*

CONCESIONARIA VIAL UNIÓN DEL SUR.

https://www3.opic.gov/Environment/EIA/pasto/Annexes/SanJuan/Annex_14_A.pdf

Prieto, L., (2015). *Estudio Sobre los Mecanismos de Remoción y Principales Géneros Microbianos implicados en la Depuración de Metales pesados, Empleando Lagunas de Estabilización Enriquecidas con Bioflóculos.* [Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Aguascalientes]. Repositorio institucional - Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Quiroz, L., Izquierdo, E. & Menéndez Gutiérrez. (2018). *Estudio del impacto ambiental del vertimiento de aguas residuales sobre la capacidad de autodepuración del río Portoviejo, Ecuador.* Revista SciELO. Vol.45 no.1. Tomado el día 24 de noviembre de 2020. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612018000100008

Ramírez A, Restrepo R, Cardeñosa M. (1999); 1(5): 89-99. *Niveles de calidad (ICO'S).* http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831999000100008

RAS. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales. Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico.*
http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_e_.pdf

Resolución 631 (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.* 18 de abril de 2015. Diario Oficial No. 49.486.

Rodríguez, J. (s.f). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades.* [Tesis de Pregrado, Universidad de Sonora]. Biblioteca digital – Universidad de Sonora.
<http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=19117>

Rubio, A. Amezquita, L. & Martínez, E. (2017, junio). *Determinación De La Capacidad De Asimilación Del Vertimiento De La Ptar Del Municipio De Tenjo Cundinamarca En La Quebrada Churuguaco Mediante El Modelo Qual2kw.*
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14631/1/Capacidad%20de%20asimilaci%C3%B3n%20Qda.%20Churuguaco.pdf>

Rueda, F. (2007). *Autodepuración y vertidos en cursos fluviales.*
http://www.ugr.es/~iagua/LICOM_archivos/Tema_AD2DOC.pdf

Salazar, D. (2015, mayo). *Estudio Del Impacto Ambiental Generado Por Vertimientos Provenientes De Un Establecimiento Penitenciario De Orden Nacional Al Recurso Hídrico. “Estudio De Caso”.*
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6463/ARTICULO%20ESPECIALIZACION%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sánchez, D. (2015). *Calidad Del Agua En Los Ríos.*
http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2016/05/12_Calidad-agua-r%C3%ADos_v2015_resumen.pdf

Secretaria de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2014, mayo). *Contratación De Una Consultoría Especializada Para La Actualización de Los Indicadores y La Generación De Un Diagnóstico Técnico de La Línea Base de La Infraestructura en La Prestación De Servicios Públicos, para el Departamento Norte de Santander*. Informe Diagnostico, Municipio de Abrego. http://www.pdanortedesantander.com/wp-content/uploads/lineabase2014/dg-PT-14-INFORME_DIAGN%C3%93STICO_ABREGO.pdf

Toscano, J. G. T. P. (2014, enero). *Diseño de lagunas de oxidación para tratamiento de aguas residuales generadas en el campamento la coca de la empresa triboilgas*. REPOSITORIO DIGITAL. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2257>

Valdivia, F. (2010). *Autodepuración y Vertidos en cursos fluviales*. http://www.ugr.es/~iagua/LICOM_archivos/Tema_AD2DOC.pdf

Vega, S., & Valencia, M. (2012). *El problema de los vertimientos: con el agua (¡sucia!) hasta el cuello*. Grupo de acciones publicas Icesi. Tomado el 22 de noviembre de 2020. https://www.icesi.edu.co/blogs_estudiantes/gapi/2016/06/18/el-problema-de-los-vertimientos-con-el-agua-sucia-hasta-el-cuello/

We Are Water. (2017). *Aguas negras, el rastro de nuestra historia*. Tomado el 24 de octubre de 2020. https://www.wearewater.org/es/aguas-negras-el-rastro-de-nuestra-historia_281141