

PROPUESTA DE MEJORA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE ARBELAEZ A PARTIR DEL SISTEMA DE DEER ISLAND
WASTEWATER TREATMENT PLANT

MARIA CAMILA MÉNDEZ GÓMEZ

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FALCULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
VISITA TECNICA INTERNACIONAL
BOGOTÁ
2019

PROPUESTA DE MEJORA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE ARBELAEZ A PARTIR DEL SISTEMA DE DEER ISLAND
WASTEWATER TREATMENT PLANT

MARIA CAMILA MÉNDEZ GÓMEZ

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Industrial

Director
Msc. German Rodríguez Escobar
Ingeniero Industrial

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
VISITA TECNICA INTERNACIONAL
BOGOTÁ
2019



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Sin Obras Derivadas — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

Nota de Aceptación

Director

Jurado 1

Jurado 2

Revisor Metodológico

Bogotá, 28, mayo, 2019

DEDICATORIA

Doy gracias a Dios por darme la fuerza necesaria para poder culminar mis estudios y de contar con personas que siempre me apoyaron como mi familia, mis amigos y profesores que acompañaron durante estos años.

María Camila Méndez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por su apoyo incondicional durante el tiempo que duro mi carrera, por depositar su confianza en mí, amor y comprensión.

Gracias a Jonathan, mi compañero quien siempre estuvo a mi lado brindándome la confianza necesaria y que supo entender que todo esfuerzo conlleva un sacrificio.

Gracias a mis maestros de la carrera, quienes durante la carrera me aportaron conocimiento y experiencias académicas que ahora se ven reflejadas en este proyecto.

A mi asesor, como no agradecerle por el tiempo que me dedicó, por sus consejos y asesorías para llevar a buen término el presente proyecto.

Y gracias a la Universidad y a todos aquellos que creen en la educación como un camino para transformar la sociedad.

CONTENIDO	pág.
INTRODUCCIÓN	18
1 GENERALIDADES	20
1.1 ANTECEDENTES	20
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
1.2.1 Descripción del Problema.	21
Fuente.	23
1.2.2 Formulación del Problema.	23
1.3 OBJETIVOS	23
1.3.1 Objetivo General.	23
1.3.2 Objetivos Específicos	23
1.4 JUSTIFICACIÓN	23
1.5 DELIMITACIÓN	24
1.5.1 Espacio.	24
1.5.2 Tiempo.	24
1.5.3 Contenido.	24
1.5.4 Alcance.	24
1.6 MARCO REFERENCIAL	25
1.6.1 Marco Teorico.	25
1.6.2 Marco Conceptual.	32
1.6.3 Marco Legal	36
1.7 METODOLOGÍA	37
Tipo Investigativo.	37
1.7.1 Fuentes de Información.	38
1.8 DISEÑO METODOLÓGICO	39
2 ESTADO ACTUAL DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE ARBELÁEZ CUNDINAMARCA	41
2.1 PLANES DE DESARROLLO	42
2.1.1 Plan de Desarrollo Municipal 2008-2011.	42
2.1.2 Plan de Desarrollo Municipal 2012-2015.	44
2.1.3 Plan de Desarrollo 2016-2019.	45
2.2 PLANTA LA RINCONADA EN ARBELÁEZ (CUND)	46
2.2.1 Ingreso por tubería.	47
2.2.2 Cámara de alivio.	47
2.2.3 Medidor de flujo.	48
2.2.4 Sistema de rejillas.	48

2.2.5	Canaleta parshall.	48
2.2.6	Trampa de grasas.	49
2.2.7	Digestor anaerobio.	50
2.2.8	Filtro percolador.	53
2.2.9	Escalones.	54
2.2.10	Descarga.	55
2.3	PLANTA DEER ISLAND WASTEWATER TREATMENT PLANT	55
2.3.1	Bombeo.	59
2.3.2	Tratamiento primario.	59
2.3.3	Tratamiento secundario.	59
2.3.4	Digestor de lodos.	59
2.3.5	Control de olores.	60
2.3.6	Desinfección.	61
2.3.7	Descarga.	61
2.3.8	Laboratorio.	61
2.3.9	Entrevista realizada.	61
3	ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE ARBELÁEZ	63
3.1	PTAR ARBELÁEZ	63
3.2	MATRIZ LEOPOLD	63
3.3	MATRIZ ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES	70
4	ESTRUCTURAR UNA MEJORA PARA LA PTAR DE ARBELÁEZ CON BASE EN EL SISTEMA DE LA PLANTA DE DEER ISLAND WASTEWATER TREATMENT PLANT.	78
4.1	PLAN DE MEJORA	78
4.1.1	Ingreso.	78
4.1.2	Tratamiento Preliminar.	79
4.1.3	Tratamiento Primario.	80
4.1.4	Tratamiento Secundario.	80
4.1.5	Descarga.	81
4.1.6	Olores.	81
4.7	PLAN DE MANTENIMIENTO	85
5	CONCLUSIONES	93
6	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	95
	BIBLIOGRAFÍA	96

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Vertimientos por sector	23
Tabla 2. Fragmento de la tabla No 58: Matriz de formulación, Programas, subprogramas y proyectos Plan de Desarrollo 2008-2012	43
Tabla 3. Fragmento de la Tabla No. 92: Agropecuario y medio ambiente.	43
Tabla 4. Fragmento de la Tabla 58: Programas en Agua Potable y Saneamiento Ambiental.	44
Tabla 5. Fragmento de la tabla 39: Programa de Servicios públicos.	45
Tabla 6. Calificación de Factores.	64
Tabla 7. Calificación de Factores. (Continuación)	64
Tabla 8. Diseño de Matriz para análisis de Impacto Ambiental de la PTAR Arbeláez	67
Tabla 9. Matriz de Identificación de Aspectos y Evaluación de Impacto PTAR Arbeláez.	72
Tabla 11. Propuesta de Mejoramiento para PTAR Arbeláez.	83
Tabla 12. Propuesta de Mejoramiento para PTAR Arbeláez. (continuación)	84
Tabla 13. Propuesta Presupuestal para el Mantenimiento PTAR Arbeláez.	86
Tabla 16. Programación de Mantenimiento.	91

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Composición media de las ARD.	26
Figura 2. Esquema de diseño tratamiento de PTAR Salitre	29
Figura 3. Esquema de Tratamiento de Aguas PTAR San Fernando	30
Figura 4. Cámara de alivio. Registro tomado el 14 de marzo de 2019. PTAR Arbeláez.	47
Figura 5. Sistema de Rejillas.	48
Figura 6. Canal de Parshall. Estimación de Caudales	49
Figura 7. Trampas de Grasas, Clean water Technology	50
Figura 8. Proceso Biológico de la Digestión Anaerobia.	51
Figura 9. Salida de Biogás del digestor anaerobio. PTAR Arbeláez.	51
Figura 10. Digestor Anaerobio. PTAR Arbeláez.	52
Figura 11. Sistema de tuberías y válvulas de digestores. Tomado de: PTAR Arbeláez.	52
Figura 12. Ingreso tuberías a digestor	53
Figura 13. Filtro Precolador. Tomado de: PTAR Arbeláez	54
Figura 14. Escalones. Tomado de PTAR Arbeláez	55
Figura 15. Cobertura MWRA. Tomado de: MWRA State Ma Us.	57
Figura 16. Tratamiento aguas residuales de Deer Island.	58
Figura 17. Digestores de lodo. Tomado de:	60
Figura 18. Nivel de Relevancia de Impactos por Actividad	68
Figura 19. Relevancia de los impactos por procesos	68
Figura 20. Impactos Ambientales por Factores.	69
figura 21. Evaluación de Impactos Ambientales.	74

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Metodología	40
cuadro 2. Factores de Probabilidad.	71

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A Formato entrevista a funcionaria de la oficina de servicios públicos municipales.	102
Anexo B. Formato entrevista lugareño municipio de Arbeláez	103
Anexo C. Formato ingreso planta	104
Anexo D. Folletos Deer Island WasteWater Treatment Plant	105

GLOSARIO

AGUAS RESIDUALES: El tratamiento de aguas residuales consiste en procesos biológicos, químicos y físicos, que buscan eliminar los contaminantes que puede contener el agua residual el objetivo de las plantas de tratamiento es que el recurso hídrico vuelva al medio ambiente y no lo contamine y su residuo solido se pueda reutilizar.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL: Instalación donde a las aguas residuales se les retiran sustancias contaminantes que pueden generar problemas para la salud pública y el medio ambiente.

AEROBIO: Organismos aerobios que requieren de oxígeno para vivir y reproducirse. Estos descomponen la materia orgánica.

ANAEROBIO: Organismos anaerobios que no requieren de oxígeno para vivir y reproducirse y se encargan de consumir materia organiza o descomponerla.

EFLUENTE: Aguas con presencia de desechos sólidos o líquidos que se generan en industrias y en el uso doméstico.

AGUAS SERVIDAS: Son también conocidas como las aguas domésticas.

SANEAMIENTO BÁSICO: Control de los factores del medio ambiente que permite identificar y solucionar problemas en las comunidades para un manejo adecuado del agua y residuos sólidos que se materializan a través de acciones o procedimientos que puedan prevenir problemas de salud pública.

LODOS ACTIVOS. Proceso biológico de microorganismos aerobios, en tanques de depósito aireados y agitados mecánicamente que evita sedimento y homogeniza los cultivos bacterianos; la aireación ya sea natural o mecánica suministra el oxígeno para la reproducción de microorganismos.

BIOMASA. Materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyen residuos y desechos orgánicos que pueden ser aprovechados energéticamente.

UASB: Tipo de biorreactor que opera en flujo ascendente, es decir el efluente entra por la parte inferior y atraviesa la parte longitudinal para salir por la parte superior.

ASPECTO AMBIENTAL: Elemento de las actividades de una organización que pueden interactuar con el medio ambiente.

IMPACTO AMBIENTAL: Cualquier cambio en el medio ambiente ya sea beneficioso o desfavorable como resultado de los aspectos ambientales.

ACRONIMOS

AR: Aguas residuales

ARD: Aguas residuales Domésticas.

ARI: Aguas industriales.

ARnD: Agua Residual No doméstica.

ALL: Aguas residuales lluvia.

ARA. Aguas residuales agrícolas.

PTAR. Plata de Tratamiento de Agua Residual.

DBO. Demanda Biológica de Oxígeno.

MWRA. Massachusetts Water Resources Authority

RAS 2000: Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.

RESUMEN

La creación de plantas de tratamiento de aguas residuales, PTAR, se presentan como una respuesta a la grave contaminación que sufren los cuerpos de agua subterráneos y superficiales y, a la necesidad de optimizar el recurso hídrico en actividades que demandan un mayor uso de agua dulce, como es el caso de la agricultura.

La disposición final del agua residual representa un problema que va en aumento debido al crecimiento demográfico, a nuevas prácticas de consumo y al crecimiento industrial. En Colombia menos del 50% de los municipios cuenta con una PTAR y muchas de ellas no cumplen con las condiciones normativas que garanticen la calidad del agua para su reusó, especialmente en actividades de tipo agrícola. También sigue siendo común que la disposición final de las aguas residuales se haga de manera directa y sin tratamiento en los cuerpos de aguas superficiales, generando problemas de contaminación ambiental y en la salud pública; a razón de lo anterior, este proyecto tuvo como objetivo realizar una propuesta de mejora en la PTAR del municipio de Arbeláez con base en el sistema de Deer island WasteWater treatment plant, ya que desde el año 2002 esta planta no funciona adecuadamente por falta de mantenimiento y porque la descontaminación en la descarga solo llegaba al 50%.

PALABRAS CLAVE: Agua Residual, Planta de Tratamiento de agua residual, Aerobio, Anaerobio, impacto ambiental.

ABSTRACT

The creation of wastewater treatment plants, (WWTP for its initials in English), is developed as a response to the serious contamination suffered by underground and surface water bodies, and due to the need for optimizing water resources in activities that demand greater use of fresh water, as is the case of agriculture.

The final disposal of wastewater represents a problem that is increasing because of the population growth, new consumption practices and industrial expansion. In Colombia, less than 50% of the municipalities have a WWTP and many of them do not comply with the normative conditions that guarantee the quality of the water for its reuse, especially, in agricultural type activities. It is also common for the final disposal of wastewater to be done directly and without treatment in surface water bodies, generating problems of environmental pollution and public health. In view of the above, the objective of this project was to make a proposal for the improvement in the WWTP of the municipality of Arbeláez based on the system of Deer Island Wastewater treatment plant. Since 2002, the plant of Arbeláez does not work properly due to lack of maintenance and because the decontamination in the discharge only reached 50%.

KEY WORDS: Residual Water, Wastewater Treatment Plant, Aerobic, Anaerobic, environmental impact.

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales (AR) son todas aquellas que resultan del uso doméstico, agrícola, industrial, pluvial y como consecuencia son contaminadas con materia orgánica y sustancias tóxicas sobrantes de las diferentes actividades humanas. Estas aguas han sido clasificadas en cuatro tipos: la de tipo doméstico (ARD), que a su vez se dividen en aguas negras y grises; las aguas negras transportan materia fecal y orina; las grises, son las provenientes del uso de detergentes¹.

Las aguas industriales (ARI), provienen de la actividad industrial en las que se emplean el uso de agua de acuerdo a la actividad económica; El tercer tipo, es agua proveniente de las lluvias (ALL), las cuales hacen un recorrido por diferentes terrenos en el que arrastra material contaminante y, por último, las aguas residuales agrícolas (ARA) producto de los riegos que llevan en sí contaminantes agroquímicos.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, es necesario realizar un correcto tratamiento de las aguas residuales a través de métodos adecuados de modo que no causen un impacto negativo en las aguas superficiales, subterráneas, marinas ya que como principal fuente hace sustentable los ecosistemas, en tanto unidad funcional de la vida. Sin embargo, en Colombia solamente el 48.2% de los municipios cuentan con una planta de tratamiento (PTAR) y el 29% corresponde a un tratamiento primario en el cual solo hay la remoción de sólidos gruesos y en suspensión. Según un estudio de la Universidad Central, el 71,86% de plantas de tratamiento se encuentran en optimización dado que no cumplen con la normativa, el manejo inadecuado de las aguas residuales genera graves problemas de salud pública y contaminación al medio ambiente.

Arbeláez (Cundinamarca) es uno de los municipios que cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales de tipo aerobio y anaerobio; actualmente no se encuentra en funcionamiento a causa de la ejecución del presupuesto y del control operacional para su mantenimiento; además, por qué la planta sólo hacia una descontaminación del 50% del agua residual; es así, que pesar de que el agua residual pasa por la planta, estas llega directamente a las quebradas del ható y la lejía produciendo una alta contaminación generando impactos ambientales negativos².

Este proyecto se desarrolló desde un enfoque de la investigación cualitativa de tipo descriptivo explicativo, con el cual se buscó identificar el porqué de los hechos, objetos del estudio, mediante la identificación de las causas y efectos que puede producir un fenómeno y establecer la estructura o comportamiento. El diseño

¹ Ibid., p.1.

² ENTREVISTA con Lina Paola Gómez, ingeniera de oficina de servicios públicos Arbeláez. Arbeláez, 18 de marzo de 2008.

metodológico se organizó en dos fases para la obtención de los datos primarios: La observación de la planta de tratamiento de agua residual del municipio de Arbeláez, la cual permitió identificar el estado actual de la Planta de tratamiento y segundo, la fuente documental en la que los datos se recogieron a través de entrevista a algunos habitantes de la zona conocida como la Rinconada en donde se encuentra la planta; además, se analizaron documentos como los planes de desarrollo y otras fuentes; como estudios previos e investigaciones relacionados con la planta de tratamiento objeto del estudio. También, se hicieron registros fotográficos de la Planta de agua residual.

El proyecto tuvo como objetivo realizar una propuesta de mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Arbeláez, con base en el sistema de Deer Island WasteWater treatment plant; para tal efecto en el desarrollo de proyecto, se partió por Identificar el estado actual del tratamiento de aguas residuales del municipio de Arbeláez Cundinamarca y la planta de tratamiento de Boston Massachusetts;

Con base en los resultados de la fase diagnóstica, en el segundo objetivo propuesto, se analizó los aspectos e impactos ambientales del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio, los cuales permitieron estructurar una mejora para la PTAR de Arbeláez con base en el sistema de la planta de Deer Island WasteWater Treatment Plant.

1 GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

A nivel internacional organizaciones como la United Nations Educational, scientific and Cultural Organización, UNESCO, En el 2017 presentó el Informe Mundial sobre la importancia que debía tener para los gobiernos generar políticas para el tratamiento de aguas residuales, en tanto fuente infravalorada y sostenible de agua, energía, nutriente y otros subproductos recuperables, en lugar de algo que se debe eliminar. En el informe, se advierte que las aguas residuales hacen parte de lo que se definen como una economía circular que equilibra el desarrollo económico de la mano de la protección y sostenibilidad de los recursos naturales y la sostenibilidad ambiental; así como en la mejora de la calidad del agua.

En Latinoamérica, existen diferentes investigaciones que dan cuenta de métodos que se vienen implementando para el tratamiento de aguas residuales. El estudio titulado: Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo³. Este documento plantea un análisis y reflexión sobre el tratamiento anaerobio de ARD en países en desarrollo y sobre las perspectivas de aplicación en pequeña y gran escala.

En el país se han desarrollado diferentes investigaciones que se ocupan de problematizar las plantas de tratamiento de aguas residuales. A nivel de pregrado, se encuentran investigaciones de la facultad de ingeniería civil de la Universidad Católica de Colombia, titulada: Optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas residuales del Municipio de Bojacá Cundinamarca⁴ en ella identifica como un problema de la planta de tratamiento, la falta de capacidad del caudal de la planta la cual no cumple los parámetros y que se rebosa, en los días festivos y semana santa en el que entra un caudal de 11L/s y el caudal de diseño es de 7 L/s lo que implica que el caudal restante quede en el sistema de reboce y se vierta en la laguna el juncal sin haberse tratado el agua residual.

Otra investigación de la facultad de ingeniería de la Universidad Católica se propuso diseñar una propuesta para la construcción de una planta de tratamiento de agua residual por Zanjón de oxidación para el casco urbano del municipio de Vélez

³ TORRES, Patricia. Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países de Desarrollo. En EIA. Diciembre,2012. No. 18, p. 129

⁴ GONZÁLEZ SILVA, Jean Pierre. GÓMEZ ORTEGA, Katherine. Optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas residuales del Municipio de Bojacá Cundinamarca. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería Civil. Trabajo de investigación, 2016, p. 119.

Santander⁵ centrado en el cálculo hidráulico y de comportamiento biológico. La estructura del desarenador cumple con los parámetros de diseño establecidos de acuerdo al método utilizado, el tiempo de retención de las partículas.

A nivel de maestría la facultad de ingeniería civil y ambiental de la Universidad de los Andes, desarrollo un estudio en el municipio de Arbeláez que título: Impacto ambiental de la descarga de aguas residuales del Municipio de Arbeláez ⁶ El estudio concluyó que la planta se encuentra en un total abandono frente al mantenimiento; la calidad del agua de la quebrada la Lejía sólo puede mejorar si se interviene la planta de tratamiento aguas arriba de la descarga de la planta de tratamiento de lo contrario no tiene ningún sentido sino se hace un manejo de forma integral que no solo pone en riesgo la inversión presupuestal sino la salud de sus habitantes de las poblaciones que se encuentran aguas debajo de los puntos de descarga.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Descripción del Problema. Según la UNESCO⁷ el 69% del agua dulce del planeta se destina a la agricultura y sólo un 8% al consumo doméstico y su disposición final representa un problema que va en aumento debido al crecimiento demográfico, a nuevas prácticas de consumo y, al crecimiento industrial.

La creación de plantas de tratamiento de agua residual se ha presentado como una respuesta a la grave contaminación que sufren los cuerpos de agua subterráneos y superficiales; en los países en vía de desarrollo se ha convertido en una necesidad a causa del crecimiento poblacional, la desigualdad en la distribución del recurso hídrico y los largos períodos de sequía que exigen la búsqueda de nuevos abastecimientos de agua como los son las aguas residuales.

En latinoamericana, la planta Atotonilco en ciudad México en el estado de Hidalgo es considerada una de las más grandes de Latinoamérica la cual recoge 23 metros cubico por segundo; en Quito (Ecuador) existe una estrategia de descontaminación

⁵ GALEANO NIETO Lady. ROJAS IBARRA Vivian Daniela. Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de agua residual por Zanjón de oxidación para el casco urbano del municipio de Vélez Santander. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería Civil, Trabajo de Investigación, 2016, p.112.

⁶ ROBLES PÉREZ, Emiro Julián. Impacto ambiental de la descarga de aguas residuales del Municipio de Arbeláez. Bogotá: Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Trabajo de Investigación, 2004, p.205.

⁷ ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN LA CIENCIA Y LA CULTURA. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos: Agua para Todos, Agua para la vida. [en línea]. Paris, Unesco [Citado 5 marzo, 2019]. Disponible en internet: <URL: http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2018-nature-based-solutions/?utm_source=IWA-NETWORK&utm_campaign=225734ad48-EMAIL_CAMPAIGN_2018_03_15&utm_medium=email&utm_term=0_c457ab9803-225734ad48-158989237>

con la construcción de una planta en Vindobona para el tratamiento del agua residual de la capital ecuatoriana. En Colombia se encuentra en construcción un megaproyecto para construcción de una planta de agua tratamiento residual en un área de 45 hectáreas en Bello-Antioquía, con la que se busca recoger las aguas residuales de Medellín y Bello antes de llegar al río Medellín.

Sin embargo, en algunos países de Latinoamérica y Colombia sigue siendo común que la disposición final de las aguas residuales crudas o diluidas con aguas superficiales se haga de manera directa y sin tratamiento a los cuerpos de agua superficiales y subterráneas, generando problemas a la salud pública de tipo respiratorio e infecciosas ya que los agentes patógenos se alojan en el ambiente y afectan particularmente a los habitantes de las zonas aledañas; así como, cuando se usa para el riego de cultivos de consumo directo sin ser tratadas adecuadamente, así lo revela un estudio de la Universidad de Antioquia⁸, en el que se asegura que el 10% del agua residual se emplea en el riego de cultivos de manera oculta, a pesar de ser una conducta sancionable por la ley.

Una experiencia exitosa en Estados Unidos (Boston- Massachusetts) es la planta de tratamiento de aguas residuales Deer Island la cual se creó a raíz de una orden de la Corte Federal hacia 1868, con el fin de evitar la descarga al puerto de Boston que para ese momento ascendía a 1,9 millones de metros cúbicos. En la actualidad, la descontaminación alcanzada por la planta es del 90% y el lodo resultante de los procesos se transforma en fertilizante que es comercializado para la agricultura, campos de golf y jardines, así también la descontaminación del recurso hídrico es tan exitosa que parte del agua descontaminada es reusada para riego y limpiezas de las calles de Boston (MA).

En Colombia sólo existen 237 plantas de tratamiento de aguas residuales, una de ellas es la localizada en el sector conocido como la Rinconada (Arbeláez-Cundinamarca). Es una planta de tratamiento tipo UASB con dos sistemas aerobio y anaerobio, el sistema de disposición final de as ARD hacen dos vertimientos uno hacia sur- occidente que es la quebrada la Legía (miro lindo y rinconada) y el segundo hacia el nor -oriente que hace el vertimiento en la quebrada Zanja de los pozos y la quebrada Hato, las cuales pasan por la planta que no funciona y llegan finalmente a los vertimientos.

La planta de tratamiento no está en funcionamiento desde el año 2002 a causa de la ejecución del presupuesto y de la falta de control operacional para su mantenimiento; además, por qué la planta sólo hacia una descontaminación del 50% del agua residual por la ineficiencia de sus procesos, es así, que pesar de que el agua residual pasa por la planta, estas llegan directamente a las quebradas del

⁸ BEDOYA PÉREZ, Juan Carlos. ARDILA ARIAS, Alba Nelly. REYES CALLE, Juliana. Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. En: Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Agosto- junio, 2014. Vol. 30, no. 3, p. 14

hato y la lejía produciendo una alta contaminación generando impactos ambientales negativos. Sin embargo, la corporación autónoma de regional de Cundinamarca (CAR) da un visto bueno a él plan de saneamiento y manejo de vertimiento a través de la Resolución No. 3286 de diciembre 12 del 2011 (véase tabla 1).

Tabla 1. Vertimientos por sector

NO	DETALLE DE VERTIMIENTO	NOMBRE DE LA FUENTE
1	Colector Villa Olímpica	Quebrada el Hato
2	Santa Mónica	Caño
3	La Rinconada	Quebrada la Lejía
4	Parte Baja la Rinconada	Quebrada la Lejía
5	San Rafael	Zanjón los Pozos
6	San Rafael-sector Alto	Zanjón los Pozos

Fuente. Plan de desarrollo municipal 2016-2019

1.2.2 Formulación del Problema. ¿Cómo mejorar la planta de tratamiento de aguas residuales de Arbeláez Cundinamarca para su correcto funcionamiento, basado en el sistema de tratamiento de Deer Island WasteWater de la ciudad de Boston?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General. Realizar una propuesta de mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Arbeláez con base en el sistema de Deer island WasteWater treatment plant.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar el estado actual del tratamiento de aguas residuales del municipio de Arbeláez Cundinamarca y la planta de tratamiento de Boston Massachussets
- Analizar los aspectos e impactos ambientales del sistema de tratamiento de aguas residuales de Arbeláez a partir de los resultados obtenidos en la fase diagnóstica.
- Proponer una mejora para la PTAR de Arbeláez con base en el sistema de la planta de Deer Island WasteWater Treatment Plant.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Las aguas residuales domesticas producen un nivel de contaminación donde se encuentran residuos sólidos, desechos orgánicos, grasas, detergentes que requieren de un tratamiento para para su eliminación. La importancia de la

descontaminación radica en la posibilidad de devolverlas a su origen natural o ser reutilizada para algunas actividades agrícolas, contribuyendo al aprovechamiento del líquido, sobre todo en algunos períodos de sequía donde se presenta escases de agua para el riego y a la sostenibilidad ambiental sin que representen peligro alguno para la vida humana.

De acuerdo a lo anterior, la planta de tratamiento de agua residual, ubicada en Arbeláez Cundinamarca, requiere de una mejora ya que la carga de agua es enviada a las quebradas del hato y la lejía produciendo una alta contaminación a pesar de que cuenta con una planta de tratamiento de tipo aerobio y anaerobio no funciona óptimamente desde el año 2002.

Esta problemática, afecta a la población, quienes han tenido que desplazarse por el problema de olores, presencia de mosquitos y aves de carroña afectando la salud de los lugareños; así como la contaminación de los ríos a donde llegan las aguas residuales no controladas

El tratamiento de las aguas residuales de manera integral en el sector, solucionaría diversos problemas de la comunidad aprovechando el recurso hídrico antes de la descarga y así alcanzar altos índices de calidad, se mitigará el nivel de contaminación previniendo que estas aguas negras afecten el medio ambiente y la salud de la comunidad ya que se reducirían los olores, se mitigaría el daño ocasionando al medio ambiente; el manejo adecuado garantizaría que las familias de este municipio gocen de un ambiente sano y sin riesgos a diversas enfermedades que generar estos vertimientos.

1.5 DELIMITACIÓN

1.5.1 Espacio. El trabajo de investigación se limita para el municipio de Arbeláez en el sector la Rinconada donde está localizada la planta de tratamiento de aguas residuales de las zonas que abarca del municipio.

1.5.2 Tiempo. Esta propuesta se realizará en un tiempo de 15 semanas, con fecha de iniciación es el 5 de febrero del 2019.

1.5.3 Contenido. El contenido del proyecto consiste en Diagnosticar el estado actual de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Arbeláez, conociendo sus procesos y generando un proceso de mejora basado en la visita a la planta de Deer island ubicada en Boston Massachussets

1.5.4 Alcance. El alcance general de este proyecto incluye el análisis y propuesta de la PTAR del municipio de Arbeláez, de esta manera se genere el funcionamiento óptimo de la planta de tratamiento de las aguas residuales.

1.6 MARCO REFERENCIAL

1.6.1 Marco Teorico. En éste apartado, se desarrollan tres aspectos que fundamenta la comprensión del sentido del proyecto respecto a las aguas residuales; primero, la visita técnica realizada al sistema de tratamiento de aguas residuales de MWRA en Boston (Massachusetts); segundo, el desarrollo del concepto de agua residual desde la perspectiva de la Organización de naciones unidas para la alimentación y la agricultura, FAO; tercero, el análisis respecto a la composición de la aguas residuales y por último, se describen dos sistema de tratamiento de aguas residuales en Colombia y la planta de Deer Island WasteWater.

Una de las principales experiencias que constituye una fuente primaria para este proyecto, es la visita técnica al sistema de tratamiento de aguas residuales de MWRA durante el mes de diciembre de 2018, en la que se realizó el trabajo de campo. La planta de tratamiento de Deer Island es de tipo lodos activos, emplea un sistema de tratamiento primario y secundario con dos túneles interinsulares unidos a dos sistemas de alcantarillado separados, norte y sur, y que se unen posteriormente en uno solo; contiene otro túnel de descarga de efluentes de 9.5 millas para descargar las aguas residuales tratadas lejos de las aguas poco profundas del puerto de Boston y hacia aguas más profundas y corrientes más fuertes de la Bahía de Massachusetts. Aguas residuales.

La organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) define las aguas residuales como aquellas que “no tiene valor inmediato para el fin para el que se utilizó ni para el propósito para el que se produjo debido a su calidad, cantidad o al momento en que se dispone de ella. No obstante, las aguas residuales de un usuario pueden servir de suministro para otro usuario en otro lugar”⁹

El 99,9% de las aguas residuales se componen de agua potable y de un 0,1% por peso de sólidos, sean éstos disueltos o suspendidos que es el que requiere ser removido para que el agua pueda ser reutilizada.

Del peso sólido, es decir del 1%, el 70% están compuestos por proteínas, carbohidratos y grasas y el 30% de material inorgánico están compuestos por arenas, sales y metales (véase figura 1).

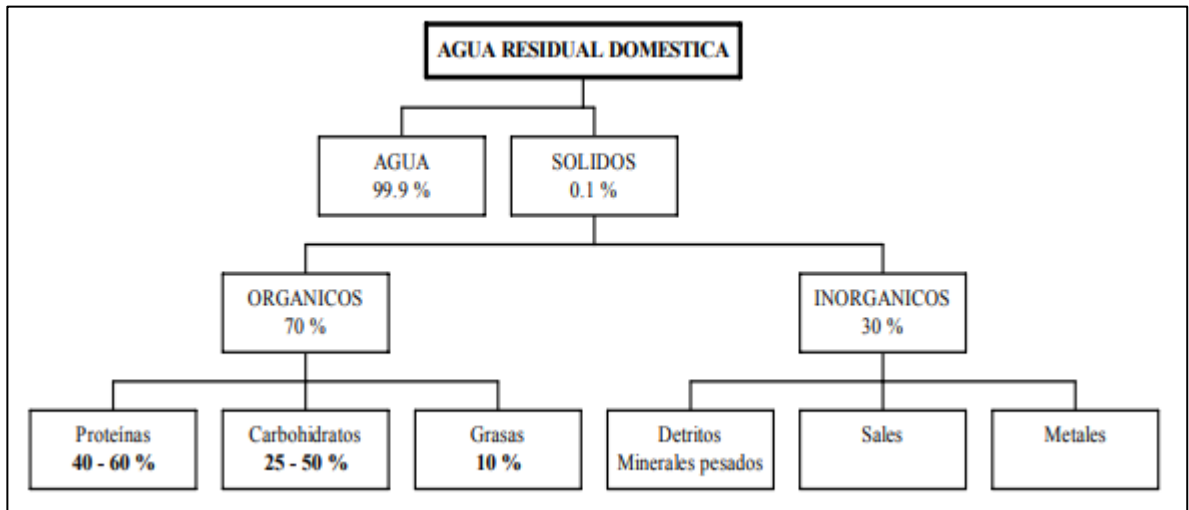
En este proyecto, centramos el estudio en aquellas derivadas de las actividades humanas que se desarrolladas en el ámbito doméstico, en el que se distinguen las

⁹ FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. WasteWater. [en línea]. Canadá: FAO [Citado 12 marzo, 2019]. Disponible en internet: <URL: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/glossary/search.html?submitBtn=-1&d-49690-s=0&lang=en&d-49690-p=1&d-49690-o=2&termId=7412>>

que forman deposiciones líquidas y sólidas de origen humano.¹⁰ Las deposiciones sólidas, heces, están compuestas por un 65% de agua, grasas, bacterias, proteínas, fibra no digerida, y algunos componentes de jugos digestivos y las deposiciones líquidas como la orina que contiene un pH de 6 ligeramente ácido la cual está compuesta por ácidos grasos, ácido hipúrico, ácido úrico, alcoholes, aminoácidos, bases púricas, creatina, glúcidos y urea.

El ser humano elimina en promedio diariamente 1,3 litros de orina.¹¹, después de ser descargadas las aguas residuales provenientes de las diferentes fuentes los desechos se convierten en mezclas heterogéneas de contaminantes. El impacto provocado por la materia orgánica provoca un decremento de oxígeno disuelto en el cuerpo del agua lo cual es un grave factor dado que se requiere de 3 a 4 mg/l de oxígeno en el agua para mantenerla aceptable.¹²

Figura 1. Composición media de las ARD.



Fuente: Metcalf & Eddy (1985)

¹⁰ ESTRUCPLAN. Composición de las aguas residuales [en línea]. Estructplan [citado 12 marzo, 2019]. Disponible en internet: <URL: <https://estrucplan.com.ar/articulos/composicion-de-las-aguas-residuales/>>

¹¹ LÓPEZ DEL PINO, Sergio Jesús. CALDERON MARTÍN, Sonia. Depuración de aguas residuales. 5.1 ed. España: Elearning S.L, 2015. p.511.

¹² MONTELONGO CASANOVA, Rosalba. OTAZO SÁNCHEZ, Elena María. VILLAGÓMEZ IBARRA, José. Modelación de la Calidad del Agua del río tula, Estado De Hidalgo, México. En Dyna. Junio- marzo, 2008. Vol.75, no.154. p.14.

Una de las disposiciones finales del ARD ha sido el vertimiento sin tratamiento en aguas superficiales y en suelo, sin embargo, así el agua puede generar problemas en la salud pública principalmente en zonas tropicales por la generalidad de enfermedades infecciosas cuyos agentes se dispersan en el medio ambiente de manera mucho más rápida a través de las aguas residuales ¹³, entre diversas afectaciones ambientales por afectar los ecosistemas del suelo lo que resulta disminuyendo valor económico del recurso.

1.6.1.1 Tratamiento del ARD. En este apartado, se describen dos plantas de Tratamiento de aguas residuales: la PTRA en Bogotá denominada el Salitre y la planta San Fernando en Medellín.

En Bogotá, se encuentra la PTAR salitre la cual se caracteriza por realiza un procedimiento primario en tres etapas, la primera es el tratamiento primario físico, el segundo es conocido como tratamiento secundario o biológico y el tercero implica una coloración. Esta planta capta las aguas residuales del río salitre, cuenca del humedal la conejera y humedal torca, el agua es distribuida por medio de vasos comunicantes que es el mismo sistema que se utiliza para la liberación al río Bogotá. Esta planta hace parte del programa de saneamiento del río Bogotá que es la gestión integral del agua y residuos sólidos generados por la población y que abastece a 21 municipios.

En el tratamiento primario, se remueven sólidos como arena, grasas, espuma y materia orgánica sedimentable; en la etapa inicial se hace un proceso de colado de residuos sólidos; luego se procede a la sedimentación en tanques diseñados para ese objetivo en donde se separan tanto los sólidos decantables como aquellos que flotan, durante la decantación las partículas forman agregados de manera controlada con químicos como cloruro férrico y polímero. Por su parte, el material orgánico que queda flotando como aceites, ceras, ácidos grasos y jabones insolubles conocidos como grasa.

El tratamiento secundario convencional consiste en la utilización de bacterias aerobias que consumen la materia orgánica presente en el agua residual, la creación de dichas bacterias se logra con la aireación consiguiendo niveles de oxígeno que permitan los microorganismos aerobios, a los lodos resultantes se les hace un tratamiento en los que se logra un porcentajes de remoción de DBO5 y sólidos suspendidos totales por encima del 80%, al momento de implementar el tratamiento secundario biológico.

¹³ DUNCAN MARA, D. Water Science and Technology. Reino Unido: Elsevier Science, 1996. p.361.

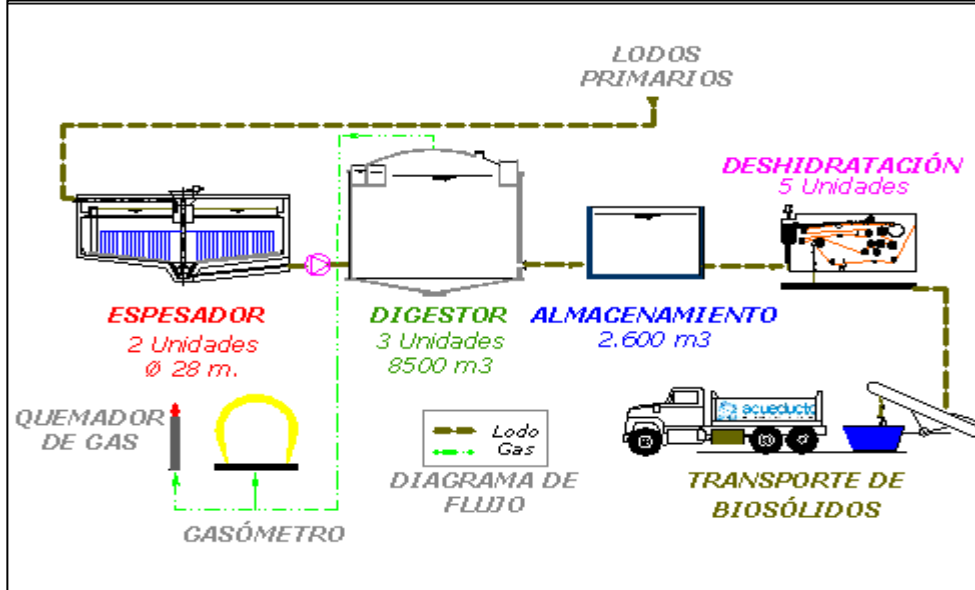
En la siguiente imagen se puede apreciar (véase figura 2).¹⁴ El diseño, consta de una compuerta en el canal la cual permite el acceso del agua residual a la planta y controla el ingreso. El proceso consta de las siguientes etapas (véase figura 2):

- Cribado: El cribado va desde el ingreso por la compuerta y proceso de tratamiento de la planta, donde el efluente pasa por rejas que permiten una separación de los residuos sólidos, dichas rejas tienen una separación de 10 cm entre sus barrotes y el segundo por 2,5 cm entre sus barrotes
- Desarenado y desengrasado: el Efluente pasa por unos raspadores se retira la grasa que flota y se elimina la arena por succión; este proceso es asistido por el personal de la planta de aires presentes en el sistema.
- Coagulación y floculación: en este proceso se hace una adicción de químicos, como el cloruro férrico y el polielectrolito aniónico.
- Sedimentación primaria: por medio de unos raspadores tanto en la superficie como en el fondo para remover arenas se remueve gran parte de los componentes para hacer la descarga en el río Bogotá.
- Extracción de fangos: en un tanque sedimentador donde unos llamados barre lodos sedimentan los lodos en el fondo, después de esto es transportado por unas bombas hasta unos tanques espesadores. (la planta cuenta con 8 sedimentadores y la duración del proceso es de 3 hora y 45 minutos hasta el final)
- Espesamiento de lodos: es la concentración de lodos eliminando el agua que se pueda contener y se reduce su volumen mediante hélices que lo revuelven, además se cuenta con un molinillo que retira los pelos que puedan contener.
- Digestión de lodos: posee tres tanques digestores se hace una agitación de los lodos con gas y el uso de bacterias anaerobias para la descomposición.
- Deshidratación de lodos: esta pasa a un tanque donde se le adiciona catalizador para el control de olor, después pasa a deshidratación donde pasan por 5 filtros para reducir el volumen.¹⁵

¹⁴ BLOGDIARIO. Productos Ptar Salitre [en línea]. Bogotá: Bogotá-eco-lógica [Citado 30 marzo, 2019]. Disponible en internet: <URL: <http://bogota-ecologica.blogspot.es/1474064627/productos-ptar-salitre/>>

¹⁵ EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE BOGOTÁ. Guía conceptual sobre la ptar salitre [en línea]. Bogotá. Acueducto [citado 12 marzo, 2019]. Disponible en internet. <URL: https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/PTAR/guia_concPTARSalitre.pdf>

Figura 2. Esquema de diseño tratamiento de PTAR Salitre



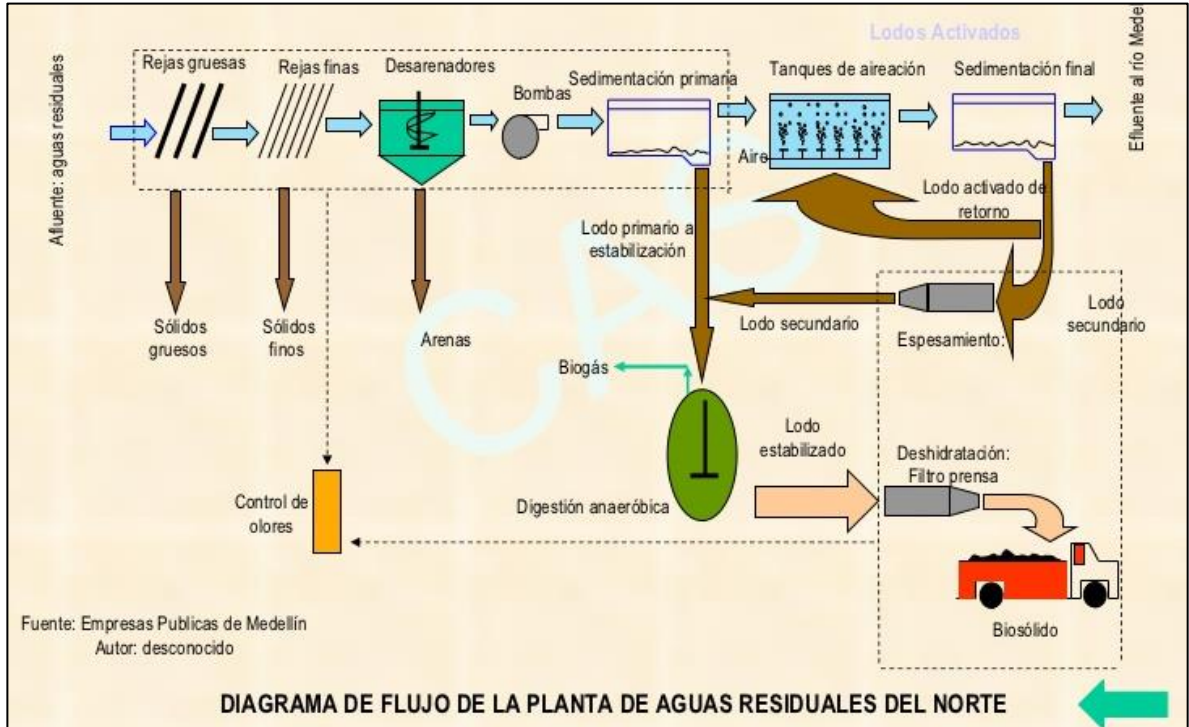
Fuente: Productos PTAR Salitre Blogdiario.com

La planta residual San Fernando en Medellín Antioquía, planta de tratamiento de las empresas públicas de Medellín, EPM, es un proyecto que busca salvar el río Aburrá. La planta se caracteriza por manejar un secado térmico el cual consiste en un proceso de tratamiento preliminar, primario y secundario, (véase figura 3).

- Tratamiento preliminar: en el ingreso del agua residual se retiran los residuos sólidos de gran tamaño por medio de unas rejas mecanizadas.
- Tratamiento primario: en este proceso en un tanque los sólidos pequeños flotan y lo pesados se convierten en el fango.
- Tratamiento secundario: es un proceso biológico donde la materia orgánica que no se sedimenta en el tratamiento primario, se usa los microorganismos, para su creación se requiere oxígeno, es por esta razón que se cuentan con tanque de aireación.
- Tanques de sedimentación final: en este proceso se remueven los lodos por motobombas, el agua residual sale de la planta y se libera en el río Medellín.
- Lodos: estos sólidos que quedan resultante se vuelven biosólidos
- Los huevos: se realiza tratamiento anaerobio lo que estabiliza la materia orgánica, da una reducción de lodos por el proceso de bacterias anaeróbicas¹⁶.

¹⁶ CIENCIAS Y TECNOLOGIA. Ciencias Tratamiento de Agua Residuales en Colombia, planta San Fernando. [en línea]. Medellín: Ciencias y tecnología. [Citado 13 marzo, 2019]. Disponible en internet: <URL.<http://cienciasytecnologia-biologo.blogspot.com/2017/11/p4-tratamiento-de-aguas-residuales-en.html>> Tomado de: aguas residuales en Colombia planta san Fernando>

Figura 3. Esquema de Tratamiento de Aguas PTAR San Fernando



Fuente: PTAR San Fernando

1.6.1.2 Matriz Leopold. Luna Bergere Leopold ingeniero civil, geólogo y físico, reconocido por la labor que desarrollo en los Estados Unidos en los estudios científicos y geológicos.

El profesor luna en 1971 desde las preocupaciones por la planificación e incidencia de las actividades humanas y transformaciones, es decir, impactos ambientales desarrollando un modelo que permitiera evaluar la gravedad de las actividades humanas sobre el medio ambiente. Este modelo hace una relación entre un factor ambiental con las actividades ejercidas por el hombre. Leopold concluye su método con la valoración del impacto producido de la actividad realizada por el hombre sobre el factor ambiental y esta se hace en consideración de una magnitud como la importancia de dichos impactos.¹⁷

Esta matriz nace de la Ley de política ambiental en 1969 en los Estados Unidos, estableciendo un análisis de diversos impactos que garantizan que las acciones sean evaluadas que permite arrojando un resultado no cuantitativo si no un paso para un juicio de valor.

¹⁷ TIERRA.REDIRIS. Profesor Luna B. Leopold In Memoriam: 1916-2006 [en línea]. Murcia: López Bermúdez Francisco [citado 16 mayo, 2019]. Disponible en internet <URL: <http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/noticias/not4.pdf>>

La matriz de Leopold se describe como un cuadro de doble entrada en el cual se identifica la causa y efecto de los impactos ambientales, esta matriz es empleada en estudios cualitativos que permite evaluar un impacto ambiental en positivo o negativo, es aquí donde la magnitud se debe entender como el grado o tamaño y la importancia se refiere a las acciones sobre las características, ahora bien la magnitud puede ser evaluada sobre hechos y la importancia se arroja como un juicio de valor.

La matriz de Leopold se compone horizontalmente de condiciones ambientales y el eje vertical son toda acción que causa algún tipo de impacto ambiental y solo se evaluarán si los ejes tienen algún tipo de relación.¹⁸

1.6.1.3 Matriz aspectos e impacto ambientales. Uno de los factores contaminantes en las aguas residuales, son la de tipo industrial; frente a esta problemática las normas ICONTEC, ofrecen un marco normativo que busca que las organizaciones empresariales contribuyan a través de la definición de políticas en un Sistema de Gestión Ambiental controlen las actividades, servicios o productos que puedan generar impactos negativos ambientales asociados. La norma ISO 14001:2015¹⁹, propone un marco normativo para que las organizaciones implementen un Sistema de Gestión Ambiental que propenda por la protección del medio ambiente de acuerdo a las necesidades particulares de cada organización y de las necesidades cambiantes del medio ambiente; es así, que entre los requisitos que se proponen para establecer un Sistema de Gestión Ambiental eficiente desde un enfoque sistémico se busca que las organizaciones creen política conducentes a la protección, mitigación y prevención de los impactos ambientales, controlando la forma en la que se diseñan los productos y servicios que ofrece la organización de la mano de beneficios financieros y operaciones que pueden resultar de aplicar alternativas ambientales. “La norma es utilizada por la organización para gestionar sus responsabilidades ambientales de forma sistemática que contribuya con la sostenibilidad”.

El objetivo fundamental de esta matriz es lograr que las actividades se vean satisfactorias ambientalmente o la evaluación de las consecuencias ambientales, en otro sentido esta matriz debe permitir la toma de decisiones. La matriz de aspectos e impactos ambientales es la relación o enlace entre la gestión ambiental y la gestión técnica, identificando impactos sobre un proyecto que influyen en el ambiente para la adecuada atención y manejo, también permite verificar la disponibilidad de los recursos naturales, así identificando problemas ambientales de

¹⁸ PONCE. La Matriz de Leopold para la Evaluación [en línea]. Ponce M. Víctor [citado 16 mayo, 2019]. Disponible en internet <URL: http://ponce.sdsu.edu/la_matriz_de_leopold.html>

¹⁹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Sistema de Gestión Ambiental. ISO 14001. Bogotá: ICONTEC, 2015. p.2

la zona que el proyecto pueda afectar, también genera participación de la comunidad positiva y/o negativa.²⁰

1.6.1.4 Plan de mantenimiento. El programa de mantenimiento es un plan en el cual se encuentra conjunto de tareas preventivas o correctivas con el fin de cumplir objetivos de disponibilidad, fiabilidad y coste y lograr aumentar al máximo la vida útil de la instalación. Un plan de mantenimiento desarrolla tres tipos de actividades las cuales son actividades rutinarias, actividades programadas que se deben realizar a lo largo del año y actividades que se realizan en las paradas programadas. Cuando se realiza un plan de mantenimiento asegura la continuidad del proceso productivo para alcanzar las políticas de una organización.²¹

Dichos planes de mantenimiento se basan en inspecciones programadas en los puntos de fallas que puedan ocasionar paros en la producción o deterioro en los equipos, el plan lograra reducir costos de mantenimiento correctivo, reducción de reparaciones, y una óptima operación en la planta.²²

1.6.2 Marco Conceptual. Los conceptos que se desarrollan a lo largo del proyecto es el concepto de Agua residual, su clasificación, de acuerdo al Ministerio de Ambiente²³: Aguas residuales municipales: aguas residuales que se transportan por el alcantarillado de un municipio y se mezclan con aguas lluvias; Aguas residuales industriales: son las aguas residuales que son descargadas de una industria que pueden contener químicos mucho más contaminantes.

Aguas negras: Las aguas negras son provenientes de inodoros que son las que transportan heces y orina de las personas. Aguas grises: son aquellas que provienen de lavadoras, lavamanos, lavaplatos y duchas estas contienen grasas y detergentes hacen parte de las aguas domésticas y Aguas negras industriales: so todas aquellas que tienen mezcla de las aguas residuales de los procesos propios de la empresa y aguas residuales de inodoros situados en la empresa.

Entre los sistemas que se emplean en el tratamiento de aguas residuales, se destaca el tratamiento anaerobio, que es un proceso fermentativo de bajo costo y que permite la protección del ambiente, este se caracteriza por convertir la materia

²⁰ NUEVASNORMASISO. La importancia de una matriz de impacto ambiental [en línea]. Santiago: Normas Iso, [citado 16 mayo, 2019]. Disponible en internet <URL: <https://www.nueva-iso-14001.com/2017/05/importancia-matriz-de-impacto-ambiental/>>

²¹ INGENIERIA DEL MANTENIMIENTO. La elaboración del plan de mantenimiento [en línea]. Ingeniería del mantenimiento [citado 16 mayo, 2019]. Disponible en internet <URL: <http://ingenieriadelmantenimiento.com/index.php/8-la-elaboracion-del-plan-de-mantenimiento>>

²² SIERRA ALVAREZ, Gabriel. Programa de mantenimiento preventivo para la empresa metalmecánica industrias AVM S.A. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico – mecánicas, 2004. p.15

²³ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. (junio 2004). plan nacional de manejo de aguas residuales municipales en Colombia. Bogotá, p. 36.

orgánica a metano y CO₂, sin oxígeno y con diferentes bacterias. En este tratamiento se pueden identificar tres diferentes temperaturas como fría (entre los 0° y 20°c), una mesofílica (entre 20° y 42°c) y termofílica (entre 42° y 75° c).

El tratamiento anaerobio tendrá que tener una población bacteriana compatible con la naturaleza del material orgánico son de vital importancia para para la remoción del material orgánico biodegradable.²⁴

El mecanismo de la digestión anaerobia consiste en que las bacterias en el agua están sometidas a diferentes tipos de degradación en utilización de oxígeno porque para ellas es necesario el oxígeno para el alimento y respiración. La transformación requiere de diversos microorganismos. Las etapas de este tratamiento consisten en:

- Fase licuefacción: Primero los componentes de alto peso molecular como proteínas son degradados en sustancias solubles como azúcares y aminoácidos.
- Fermentación acida: son convertidos en ácidos un poco menos grasos los nutrientes orgánicos la cual se encarga de baja el Ph.
- Fermentación de metano: son convertidos en metano todos los ácidos orgánicos del anterior proceso, una pequeña cantidad de hidrogeno y dióxido de carbono.

Los factores que afectan el proceso son:

- Temperatura que afecta directamente la velocidad de la descomposición, el decaimiento de la bacteria a 15°c es demasiado bajo así que se puede tener por largos periodos de tiempo sin perder la actividad, para que este tratamiento sea muy llamativo para las ARD.
- pH: El metan se produce a un valor de pH entre aproximadamente 6,5 a 7,5 y en muchas ocasiones se desarrollan en valores mayores al rango.
- Alcanidad: es el llamado amortiguador, es una medida de carbonatos, es la capacidad del tampón del digestor.
- Ácidos grasos volátiles: dentro de un digestor es muy útil en el proceso metabólico de este proceso ya que son intermediarios en la formación del metano.
- Nutrientes: este tratamiento es característico por ser desarrollado por bacterias, las cuales van creciendo en el tratamiento, es por esta razón que el agua debe tener un cierto número de compuestos para que la bacteria sintetice sus constituyentes celulares.²⁵

²⁴ RODRÍGUEZ V., Alexandra Jenny. Tratamiento anaerobio de aguas residuales. [en línea]. Cali: Alexandra Rodríguez. [Citado 12 de marzo, 2019]. Disponible en internet: <URL: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tratamiento545.pdf>>

²⁵ RIUNET. Estudio del comportamiento anaerobio de fangos antes de modificaciones del pH. [en línea]. García Caro. [citado 12 de marzo, 2019]. Disponible en internet: <URL: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/50162/PFC%20-%20Garc%C3%ADa-Caro%20Andreu%2C%20L..pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

El objeto del tratamiento a las aguas residuales es corregir la contaminación indeseable que contiene en cumplimiento de la normativa y criterio específico, el tratamiento que se le da al agua tendrá que eliminar los materiales orgánicos, nutrientes, metales pesados y sólidos en suspensión.

Existen diferentes sistemas de tratamientos de aguas residuales lo que ha desarrollado como primera medida la separación de los sólidos por su sedimentabilidad y la estabilización de los sólidos restantes.

Otro tratamiento es el UASB también conocido como (reactor anaerobio de flujo ascendente) es uno de los tratamientos recomendados para diferentes tipos de aguas residuales como se mencionaba anteriormente aguas industriales y domésticas, en este sistema de anaerobios ascendentes, este separador está dentro de un reactor y divide una parte inferior que es donde se encuentra la zona de digestión y la parte superior es la encargada de la sedimentación.

Este proceso inicia cuando el agua residual ingresa al fondo del reactor y empieza a tener un comportamiento ascendente, la materia orgánica es mezclada con el lodo anaerobio que resulta en el crecimiento de lodo, mientras tanto el líquido continúa ascendiendo para luego pasar por unas aberturas, el lodo anaerobio que se mezcla con el material orgánico tiene un resultado de gas y crecimiento de lodo. El lodo anaerobio posee muy buenas características siempre y cuando no esté expuesto a agitaciones, la relación entre lodo y gas se consigue con la agitación ocasionada por el gas.²⁶

El tratamiento por lodos activados es un proceso por el que el agua residual y lodo biológico se mezclan en un tanque denominado reactor, en este los microorganismos son mezclados con la materia orgánica del agua en este caso la agitación de este se genera por un medio mecánico o superficiales el cual tiene la función de una mezcla completa y agregar oxígeno para que este proceso se desarrolle.

En este proceso se debe tener en cuenta que se debe poseer un tanque de aireación que es el que permite la mezcla entre los microorganismos y el agua, el tanque sedimentador en este la mezcla se sedimenta separando los sólidos suspendidos del líquido, el equipo de inyección de oxígeno activa las bacterias heterotróficas (absorben dióxido de carbono), un sistema de retorno de lodos que es el encargado de retener varios microorganismos en el tanque.

La operación de este tratamiento tiene los siguientes procesos:

- Pretratamiento: muchas veces las aguas residuales necesitan ser primero acondicionadas antes de pasar por tratamiento.

²⁶ ANGEL QUINTERO, Alejandro. Evaluación preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de la tebaida (Quindío). Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería Ambiental. Trabajo de Investigación, 2007, p.142.

- Remoción de DBO (demanda biológica de oxígeno) las aguas residuales crudas mezcladas con el lodo activo con el fin de obtener 2mg/l de oxígeno
- Separación de sólido: los lodos deben ser separados este se realiza en el tanque de sedimentación por gravedad.²⁷

DBO: es la demanda biológica de oxígeno se utiliza para la eliminación de la materia orgánica.²⁸

RAS 2000: Por el ministerio de vivienda documentación técnico-normativa del sector del agua potable y saneamiento básico, el cual determina requisitos técnicos que se deben cumplir para el saneamiento básico.²⁹

Saneamiento básico: es el conjunto de técnicas socioeconómicas para la salud pública, consiste en trabajar en la salud de la población previniendo enfermedades.³⁰

Disposición Final: consiste en la descarga, vertimiento o inyección, según sea el caso, de estas aguas en un cuerpo receptor.

Tratamiento: conjunto de operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos a que se someten las aguas residuales para la remoción de contaminantes seleccionados y el cumplimiento de parámetros de vertimiento o reusó, evitando afectar patrones higiénicos, ambientales, estéticos y económicos.

Consumo de agua: puede definirse como la cantidad de este recurso que se extrae del medio ambiente para garantizar la vida y el desarrollo socioeconómico, una parte de la cual se dispone como aguas residuales o residuales líquidos después de su uso en diferentes actividades.

Sustentable: acceso a agua de calidad satisfactoria para todas las personas, un manejo eficiente de este recurso y la minimización de los impactos ambientales generados por los residuales líquidos producidos por el uso del preciado líquido.³¹

²⁷ WORDPRESS. Sistema de tratamiento de aguas residuales por lodos activos [en línea]. Wordpress [citado 12 marzo,2019]. Disponible en internet: <URL: <https://aguasresiduales.wordpress.com/tag/lodos-activados/>>

²⁸ DR. CALDERÓN LABORATORIOS. Demanda bioquímica de oxígeno [en línea]. Calderón [citado 12 de marzo, 2019]. Disponible en internet: <URL: http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Determinacion_de_DBO5.htm>.

²⁹ REPUBLICA DE COLOMBIA. Documentación técnico-normativa del sector del agua y saneamiento básico. Resolución No. 1096. Bogotá: Dirección General de Agua potable y Saneamiento Básico, 2000. p.119.

³⁰ ACADEMIA. Saneamiento básico [en línea]. Colombia: Darwin [citado 12 de marzo, 2019]. Disponible en internet: < http://www.academia.edu/8245466/SANEAMIENTO_BASICO>

³¹ TERRY BERRO, Carmen. Gestión de residuales líquidos desde la perspectiva del consumo sustentable. En Revista electrónica de la agencia de medio ambiente. 2007. Vol. 1, no. 12, p.11.

1.6.3 Marco Legal En el país, existe diferentes normas que regulan el saneamiento del medio ambiente, entre las más importantes se encuentran: La ley 99 de 1993³², establece en los numerales 2 y 11, entre las funciones del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, regular las condiciones para el saneamiento del medio ambiente y dictar regulaciones de carácter general tendiente a controlar y reducir la contaminación hídrica en el territorio nacional.

Artículo 366³³ El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del estado. Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de la salud, saneamiento ambiental y de agua potable.

Arto 79³⁴ de la Constitución Política de Colombia consagra que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

El artículo 28 del Decreto 3930³⁵ de 2010, fue modificado por el artículo 1 del decreto 4728 del mismo año y la resolución 0631³⁶ de 2015, fijan los valores límites y parámetros permisibles que deberán cumplir los vertimientos puntuales de aguas superficiales a las aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público; La Resolución 0631 de 2015 en el artículo 2³⁷, define dos tipos de las aguas residuales: las domésticas, **ARD** y no domésticas, **ARnD**.

Decreto 2811 de 1974³⁸ Código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente. El ambiente es patrimonio común del estado y los

³² CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 99. (22, diciembre 1993). Por el 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. Colombia: Congreso de Colombia, 1993. P.12

³³ CONSTITUCIÓN POLITICA DE COLOMBIA . Artículo 366. (20, Julio 1991). Por el cual se decreta El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado: Constitución Política de Colombia, 1991, Pagina136.

³⁴ Ibid., p 21.

³⁵ Ibid., p. 12.

³⁶ Ibid., p. 1.

³⁷ MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0631. (18 abril, 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 Bogotá: Minambiente, 2015 página 2.

³⁸ Ibid., p. 1.

particulares deben participar en su preservación y manejo, que son de utilidad pública e interés social.

1.7 METODOLOGÍA

Tipo Investigativo. La investigación que se ajusta al estudio es de corte cualitativo desde un enfoque descriptivo exploratorio, el cual va más allá de la recogida y tabulación de datos, ya que se ocupa del análisis e interpretación de estos con el propósito de comprender y dar solución a problemas importantes.

El enfoque resulta adecuado al estudio, ya que permitir reconocer la situación actual, para este caso, de la PTAR de Arbeláez; segundo, relaciona la situación descrita, con algún hecho precedente que ha influido o afectado y que da origen a la situación actual en la que se identifican, además, describe situaciones, costumbres y actitudes predominantes de las actividades, objetos, procesos y personas hacia la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables.

Los datos se exponen, resumen y analizan sobre la base de una hipótesis o teoría, a fin de extraer generalizaciones significativas que contribuyan al conocimiento.

Así mismo, las conclusiones se basan en comparaciones, contrastes, relaciones constituye en el primer paso para la solución de problemas.³⁹

Los datos descriptivos se expresan en términos cualitativos y/o cuantitativos. Los cualitativos examinan la naturaleza general de los fenómenos y proporcionan una gran cantidad de información valiosa, a pesar de poseer un limitado grado de precisión, porque emplean términos cuyo significado varía para las diferentes personas, épocas y contextos; sin embargo, contribuyen a identificar los factores importantes que deben ser medidos. Por su parte, los Cuantitativos se utilizan para la exposición de los datos provienen de un cálculo o medición y así, medir las diferentes unidades, elementos o categorías identificables.

La investigación exploratoria tiene como objetivo examinar o explorar un problema de investigación poco estudiado, apoyándose en la identificación de conceptos o variables potenciales e identificando relaciones posibles entre ellas con el fin de conocer y mejorar el conocimiento

la investigación exploratoria es un paso preliminar, que ayuda a garantizar que estudios posteriores o futuros del mismo objeto se inicien con una comprensión adecuada de la naturaleza del problema de investigación. El foco de la investigación

³⁹ BEST, J.W. Como investigar en Educación. Madrid: Morata, 1974. p.110.

cualitativa no está en los números, sino en las palabras y en observaciones, en las historias, representaciones visuales, caracterizaciones significativas, interpretaciones y demás descripciones expresivas. “Un investigador puede buscar números para indicar las tendencias económicas, pero la investigación exploratoria no involucra fuertes análisis matemáticos rigurosos. La información puede ser investigada de manera informal para aclarar cualidades o características que están asociados con un objeto, situación o problema”⁴⁰.

1.7.1 Fuentes de Información. También hace parte de la metodología de trabajo, realizar una serie de investigaciones y encuestas aplicadas a la comunidad y empresa de servicios públicos que está encargada del manejo de esta planta.

1.7.2.1 Fuentes Primarias. Entre las fuentes primarias encontramos libros que tratan el tema de manejo de agua residual, documentos públicos, patentes y normas técnicas.

Fase 1: Visita en Boston (MA): Observación y reconocimiento del modelo MWRA

Fase 2: Visita al Municipio de Arbeláez

Observación: Visitas en donde se observe las formas como se manejan las aguas residuales en el sector.

Entrevistas: Pobladores del municipio de Arbeláez; alcalde del municipio (en proceso solicitud de entrevista, requiere carta de la Universidad)

Fuentes de estudios financieros del sector: Entrevista con miembros del consejo local.

1.7.2.2 Fuentes secundarias. Entre las fuentes secundarias se encuentran otros trabajos de investigación referentes de temas similares, revistas, documentales y artículos.

⁴⁰ SPENTAMEXICO. Hipótesis, método y diseño de investigación [en línea]. México: Abreu, José Luis. Disponible en internet. <URL: [http://www.spentamexico.org/v7-n2/7\(2\)187-197.pdf](http://www.spentamexico.org/v7-n2/7(2)187-197.pdf)>

1.8 DISEÑO METODOLÓGICO

La investigación exploratoria en su mayor parte es cualitativa destinada a proporcionar información de fondo en tres etapas, relacionadas entre sí:

- El diagnóstico de una situación.
- Selección de Alternativas.
- El descubrimiento de nuevas ideas, es decir la propuesta.

la recopilación de datos que describen los acontecimientos se organizó, tabularon y se representaron a través de gráficos y tablas con el fin de ayudar en la comprensión. Los métodos de recogida de datos para la investigación descriptiva incluyen entrevistas y observaciones a partir de las visitas técnicas que hicieron parte del trabajo de campo.

En este proyecto se desarrolla desde un enfoque de la investigación cualitativa de tipo descriptivo explicativo, con el cual se busca identificar el porqué de los hechos mediante la identificación de las causas y efectos que puede producir un fenómeno y establecer la estructura o comportamiento⁴¹.

La estrategia empleada en el diseño se realizó en dos fases:

- Datos primarios: Los datos primarios están compuestos por tres momentos: el primero, visita técnica internacional; segundo, visita técnica PTAR Arbeláez y tercero, investigaciones previas.

Visita Técnica Internacional: La visita técnica se llevó a cabo en el 27 noviembre de 2018 a la plana de tratamiento Deer Island; en la visita un funcionario dio una charla en la que explicó el funcionamiento de la planta y todos los procesos que se desarrollan en el tratamiento del agua residual; posteriormente se hizo un recorrido por cada de las actividades realizada en la planta. Al finalizar el recorrido se suministraron folletos (véase anexo D).

Visita técnica PTAR de Arbeláez: El 15 de marzo se llevó a cabo la visita a la planta de tratamiento, los datos parte de la observación, con el fin de reconocer el estado actual de la misma; en la visita se recogió información a través de registros fotográficos y entrevistas a un miembro de la Acción Comunal y residente de la Rinconada en Arbeláez (véase anexo B).

- Documental: En los datos documentales se analizaron dos: primero, para el reconocimiento del estado actual de la planta se analizaron los tres últimos planes de desarrollo, a partir del período del 2008 hasta el 2019, especialmente en los proyectos de inversión y mejoramiento de plantas de tratamiento de aguas residuales.

⁴¹ ARIAS G, Fidias. El proyecto de Investigación, Introducción a la metodología. Introducción a la metodología científica. 6° edi. Caracas, Venezuela. Editorial Episteme. 2012. P. 23-25

El segundo, corresponde a un estudio previo de la PTAR de Arbeláez que se llevo a cabo en el año 2004 y que lleva por título: Impacto ambiental de la descarga de aguas residuales del Municipio de Arbeláez, que sirve de antecedente y fundamento para el presente estudio.

Cuadro 1. Metodología

<p>Identificar el estado actual del tratamiento de aguas residuales del municipio de Arbeláez Cundinamarca y la planta de tratamiento de Boston Massachussets.</p>	<p>Levantamiento de información actual de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Arbeláez. Identificar problemas de la comunidad del sector la rinconada respecto al medio ambiente y salud pública. Visitas de reconocimiento, el trabajo de campo se realizará en la alcaldía, servicios públicos del municipio para la recolección de información. Entrevistas.</p>
<p>Analizar el sistema de tratamiento de aguas residuales de Arbeláez</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Matriz aspectos e impactos ambientales • Matriz Leopold
<p>Estructurar una mejora para la PTAR de Arbeláez con base en el sistema de la planta de Deer Island WasteWater Treatment Plant.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Plan de mejora • Plan de mantenimiento

Fuente: El Autor

2 ESTADO ACTUAL DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE ARBELÁEZ CUNDINAMARCA

En este capítulo se hará una descripción detallada del municipio de Arbeláez Cundinamarca del estado actual de la planta de tratamiento; así mismo, de la Planta Deer Island WasteWater Treatment Plant.

Arbeláez es un municipio ubicado en Departamento de Cundinamarca, en la parte suroeste de este departamento, junto con otros nueve municipios conforma la denominada Provincia del Sumapaz. Limita al norte con Fusagasugá, al oriente con Pasca y el Distrito Capital, al sur con San Bernardo y Pandi y al occidente con Pandi e Icononzo en el Departamento del Tolima.

En el aspecto de las condiciones de clima y geomorfología del territorio, según el informe presentado en el Plan de Desarrollo 2016-2019, el municipio en el 21,23% presenta una zona de amenaza morfo dinámica alta, especialmente en el sector centro-oriental del municipio, en la parte alta de las subcuencas La Honda y La Lejía, entre 1.800 y 2.300 MSNM, en vertientes arcillosas de pendiente moderada con alta densidad de cicatrices de movimientos en masa como deslizamientos y procesos como la soliflucción plástica. La amenaza media caracteriza la mayor parte del territorio, con litología arcillosa y con moderada densidad de cicatrices de movimientos en masa (46,25%). El resto (32,52%) presenta amenaza baja.

En la zona urbana, se clasifica como amenaza baja, excepto un sector del barrio Bellavista, entre la carrera 6, la calle 2 y el caño Chitató, clasificado de amenaza alta a causa de la falta del sistema de alcantarillado de aguas lluvias. En relación con la amenaza por avenidas torrenciales⁴², éstas prácticamente afectan los valles aluviales estrechos y la franja inmediata a todas las quebradas y ríos del municipio, tanto en la zona urbana como rural, lo que hace necesario evitar las construcciones en dichas áreas.

De acuerdo al Plan de Desarrollo⁴³, el Municipio cuenta en la actualidad con dos plantas de tratamiento de agua potable (la Planta Bellavista y la Planta la Arabia) y un sistema acueducto convencional por gravedad, que consta de dos (2) captaciones de la misma fuente y de dos redes de conducción con alcances diferentes. Los componentes del sistema de acueducto son: 1) fuente de abastecimiento. 2) captación. 3) línea de aducción. 4) desarenadores. 5) línea de conducción. 6) almacenamiento. 7) sistemas de tratamiento y 8) red de distribución.

⁴² CABALLERO ACOSTA, José. Las avenidas torrenciales: Una amenaza potencial en el valle de aburra. En Revista Gestión y Ambiente. Octubre- diciembre, 2011. Vol.14, no.3, p.4.

⁴³ GODOY LOZANO Jorge Alberto. Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019 “Juntos construimos el cambio”. Acuerdo CMA No.08. Arbeláez: Municipio de Arbeláez, 2016. P.68.

En lo relacionado con usuarios del servicio de alcantarillado, según datos suministrados por la Oficina de Servicios Públicos para el año 2016 el número de suscriptores es 1.240 distribuidos por estratos.

El municipio de Arbeláez (Cundinamarca), cuenta con una población, según el Plan de Desarrollo Municipal, de 12.292, que representa el 0,5% de la población total departamental en una extensión de 151 km^2 (15.216 hectáreas), representadas en un territorio urbano (0,55% del área) y el resto del área se encuentra distribuida en diez veredas, a saber: vereda de San Patricio, vereda el Salitre, vereda Hato Viejo, El municipio de Arbeláez se encuentra ubicado al sur occidente de Bogotá 82 kilómetros, se encuentra dentro de la cuenca del Sumapaz y lo rige la CAR de Fusagasugá, el municipio tiene una superficie de 150 km^2 , este territorio cuenta con un clima variado por diferentes pisos térmicos, tiene una altura de 1418 metros sobre el nivel del mar y su temperatura promedio oscila entre los 20°C.

Su población para el año 2015 era de 12.292 y según el pan de desarrollo del municipio muestra que el 79% de la población se encuentra en zona rural y el 21% en rural.

Arbeláez (Cund), en sus planes de desarrollo plasma una voluntad política respecto a la creación de programas conducentes al manejo de las aguas residuales. Con el fin de reconocer el estado actual de la planta, se hace necesario identificar en los planes de desarrollo la forma como se ha venido configurando el sistema.

2.1 PLANES DE DESARROLLO

2.1.1 Plan de Desarrollo Municipal 2008-2011. El concejo municipal de arbeláez cundinamarca, presentó en el plan de Desarrollo para el período del 2008-2011, con un presupuesto para financiar el Plan municipal de Inversiones, la suma de \$22.032.325.000 millones de pesos.

Entre los programas se encuentra, el programa de tratamiento de aguas residuales, tres objetivos: primero, el estudio, diseño, construcción y optimización de las plantas de tratamiento de aguas residuales; segundo, el desarrollo de plan Maestro de acueducto y alcantarillado y, tercero el saneamiento de centro poblados y del sector rural, con el fin de evitar la contaminación de las fuentes hidricas a través de su optimización. La siguiente tabla, extraída del plan da cuenta de los programas aprobados por el Consejo Municipal en dicho período de gobierno (vease tabla 2).

Tabla 2. Fragmento de la tabla No 58: Matriz de formulación, Programas, subprogramas y proyectos Plan de Desarrollo 2008-2012

AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO	ESTUDIOS, DISEÑO, CONSTRUCCION Y OPTIMIZACION DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	CONSTRUCCION DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ESTABLECIDAS EN EL PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO	ESTABLECER UN SISTEMA EFICAZ DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES QUE NOS PERMITAN EVITAR LA CONTAMINACION DE FUENTES HIDRICAS	CONSTRUIR Y OPTIMIZAR DOS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	SECRETARIA DE PLANEACION Y OFICINA DE SERVICIOS PUBLICOS
	DESARROLLO PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO	OPTIMIZAR EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DEL CASCO URBANO	CAMBIAR LOS TRAMOS MAS CRITICOS Y OBSOLETOS DE LAS REDES DE ALCANTARILLADO DURANTE LOS PROXIMOS 4 AÑOS (1000 ML)	No. DE METROS CAMBIADOS / No. DE METROS PROYECTADOS X 100	OFICINA DE SERVICIOS PUBLICOS
	SANEAMIENTO CENTROS POBLADOS Y SECTOR RURAL	CONSTRUCCION DE ALCANTARILLADOS Y UNIDADES SANITARIAS EN CENTROS POBLADOS Y SECTOR RURAL	CONSTRUIR 70 UNIDADES SANITARIAS EN EL SECTOR RURAL DEL MUNICIPIO	No. DE SOLUCIONES REALIZADAS / No. SOLUCIONES PROYECTADAS X100	SECRETARIA DE PLANEACION Y OFICINA DE SERVICIOS PUBLICOS

Fuente: Plan de desarrollo 2008-2022 municipio Arbeláez

En el eje ambiental y agropecuario, el Plan de Desarrollo Municipal propuso, en coherencia al Plan de Desarrollo Nacional de esa época, como proyecto la ampliación de la cobertura de los pozos sépticos y el manejo de las aguas residuales (véase tabla 3), el cual se estimó en 907 m³/día y cuya fuente receptora es el río la Lejía, la quebrada El Hato y el Zanjón de los pozos.⁴⁴

Tabla 3. Fragmento de la Tabla No. 92: Agropecuario y medio ambiente.

PROGRAMA	SUBPROGRAMA	PROYECTO	PLAN DE DESARROLLO DEPARTAMENTAL	PLAN DE DESARROLLO NACIONAL
			SUBPROGRAMA: Gestión integral de ecosistemas y biodiversidad.	agropecuario
		AMPLIACIÓN DE LA COBERTURA DE LOS POZOS SÉPTICOS Y MANEJO DE AGUAS RESIDUALES	LÍNEA PROGRAMÁTICA: Desarrollo humano con enfoques y derechos	CAPÍTULO 5: Crecimiento alto y sostenido
			CAMPO TEMÁTICO: derechos colectivos	
			PROGRAMA: Desarrollo ambiental sostenible	NEMERAL 4.3: Consolidar el crecimiento y mejorar la competitividad del sector agropecuario
			SUBPROGRAMA: Gestión integral de ecosistemas y biodiversidad.	

Fuente: Plan de desarrollo 2008-2011 Municipio Arbeláez

⁴⁴ LOZANO DIAZ, Jesús Hernando. Plan de desarrollo 2008-2011 "Arbeláez viable, compromiso de todos". Acuerdo CMA N° 08. Arbeláez: Municipio de Arbeláez, 2008. p.77.

2.1.2 Plan de Desarrollo Municipal 2012-2015. El Concejo Municipal de Arbeláez cundinamarca, presentó en el plan de Desarrollo para el período del 2012-2015⁴⁵; en el artículo 22, los recursos que destinará el Gobierno municipal y sus Entidades Descentralizadas para financiar el Plan Municipal de Inversiones, el cual asciende a la suma de \$38.317.965.000 millones de pesos.

En el Plan de Desarrollo Municipal, la política de agua potable y saneamiento básico ambiental, se encamino a mejorar la calidad y la prestación de los servicios públicos domiciliarios como el agua potable y el alcantarillado, con el fin de disminuir la contaminación ambiental por el vertimiento directo a las fuentes hídricas de las aguas servidas y exposición de basuras a cielo abierto.

La estrategia número 1, propone poner en marcha poner en funcionamiento la planta de tratamiento residual, ubicada en la Rinconada y la de la vereda en San Roque durante el período de gobierno (véase la tabla 4).

Tabla 4. Fragmento de la Tabla 58: Programas en Agua Potable y Saneamiento Ambiental.

PROGRAMAS	META DE PRODUCTO	META DE RESULTADO	LINEA BASE 2011	META 2012-2015
OBJETIVO ESTRATEGICO 15.	Mejorar la prestación de los servicios públicos de agua potable y alcantarillado			
PROGRAMA ESTRATEGICO 15.	Diseño, construcción y operación de infraestructura de saneamiento (PTAR). Y Plantas de Tratamiento de Agua Potable			
Subprograma 15.1	Mejoramiento y puesta en operación de PTAR's, Plantas de Agua Potable y reposición de redes			
Estrategia 1: Reactivación de tratamiento de aguas residuales	Disminuir el vertimiento de aguas servidas a las fuentes hídricas mediante la puesta en Funcionamiento la Planta de Tratamiento de aguas residuales ubicada en el Sector la Rinconada y la PTAR de la vereda San Roque, sector el Retén	Número de plantas de aguas residuales puestas en operación durante el periodo de gobierno	0	2

Fuente: Plan de desarrollo 2012-2015 Municipio de Arbeláez

⁴⁵ Ibid., p.72.

2.1.3 Plan de Desarrollo 2016-2019. El Concejo Municipal de Arbeláez cundinamarca, presentó en el plan de Desarrollo para el período del 2016-2019⁴⁶, en el subprograma de Aguas residuales, como meta: poner en funcionamiento la planta de Tratamiento de aguas residuales la Rinconada a la que, según el Plan, se le asignará un 1005 del los recursos para su recuperación; la construcción de la planta de aguas residuales Mirolindo, requiere de la gestión de recursos; así como, para implementar el plan maestro de Alcantarillado. Para alcanzar lo propuesto en el subprograma en cuanto a las plantas se determina un presupuesto de mil cuatrocientos cuarenta y siete millones quinientos cuarenta cinco mil pesos (\$1'447.545.000), (véase tabla 5).

Tabla 5. Fragmento de la tabla 39: Programa de Servicios públicos. Acuerdo CMA No. 08 de 2016

EJE ESTRATEGICO, SECTOR Y/O DIMENSION	PROGRAMA	META DE PRODUCTO	META DE RESULTADO	LINEA BASE 2015	META 2019	PROYECTO	TOTAL INVERSION CUATRIENIO (Cifras en Miles de \$)
SUBPROGRAMA 3.2: AGUAS RESIDUALES	Poner en funcionamiento la Planta de Tratamiento de aguas residuales La Rinconada.	invertir en el 100% de los recursos asignados para la recuperación de la PTAR la Rinconada		1	1	REHABILITACION PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA RINCONADA	\$ 92'671
	Construir la Planta de Tratamiento de aguas residuales Mirolindo	Gestionar la consecución de los recursos para construir la PTAR		1	1	CONSTRUCCIÓN PTAR MIROLINDO	\$ 56'870
	Implementar el Plan Maestro de Alcantarillado	Gestionar la consecución del 100% de los recursos para construir el Plan Maestro de Alcantarillado y pluvial		0	1	PLAN MAESTRO DE ALCANTARILLADO Y PLUVIAL	\$ 1'298'004

Fuente: Plan de desarrollo 2016-2019 Muniicio de Arbelaez

Como se puede observar en los tres últimos Planes de Desarrollo Municipal referenciados, se han definido proyectos de inversión dirigidos al estudio, diseño, construcción y optimización de las plantas de tratamiento de aguas residuales; así como, al desarrollo de plan Maestro de acueducto y alcantarillado, debido a los problema que representa para los arbelaeences la contaminación por el vertimiento directo a las fuentes hídricas de las aguas servidas.

⁴⁶ Ibid., p. 73.

2.2 PLANTA LA RINCONADA EN ARBELÁEZ (CUND)

El Municipio de Arbeláez tiene un PTAR rinconada ubicada en el sector la rinconada la cual la cual no se encuentra en funcionamiento hace unos años por que el agua tratada no estaba llegando a un nivel óptimo de descontaminación para el vertimiento en las quebradas, esta solo llegaba a un 50% de su descontaminación para la descarga arrojando como resultado que la planta necesitaría una mejora para sobrepasar ese porcentaje y hace un descarga de las aguas residuales que sobrepase un 85% de descontaminación para que esto no afecte al suelo de la región, salud de la comunidad y especies que puedan habitar en los ríos y quebradas.

De acuerdo con estudios realizados que se arrojaron en el Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado la producción de aguas residuales para el casco urbano se promedia entre 907 m³/día. Las fuentes donde llegan estas aguas son el río la Lejía, la quebrada El Hato y el Zanjón de Los Pozos. La PTAR la rinconada que está ubicada en la vereda San José no funciona apropiadamente porque no produce un efecto significativo en la calidad vertida a la fuente quebrada la Lejía, la cual desemboca en Rio negro.

Esta planta está ubicada en el oriente del municipio dado que la mayoría de la población está centrada en el Nor-occidente esto porque el sistema de llegada de las aguas residuales es sencillo hasta la planta debido al suelo ascendente; se encuentra que la salida hacia el vertimiento es de aproximadamente 4L/s.

A partir de lo observado en el sector en la primera visita, se identifica que esta planta de tratamiento de aguas residuales no cuenta con los procesos y mantenimiento que le permita optima reducción de contaminantes en el agua para que no se genere un impacto ambiental en los vertimientos, además, en la zona donde está localizada la planta el olor es bastante desagradable y se encuentra la presencia de bastantes mosquitos y aves de carroña.

La planta cuenta con un sistema anaerobio siendo este un tratamiento biológico, sin embargo, este tratamiento el cual es muy usado en países con pocos recursos y climas tropicales siendo una tecnología consolidada, y que logra hacer una reducción de contaminante de un 65% a un 80%, que tarda de 6 a 10 horas⁴⁷.

El agua se trasporta a la planta mediante una tubería de un canal abierto con el agua expuesto a la atmosfera y pasa por el siguiente proceso.

⁴⁷ Ibid., p. 1.

2.2.1 Ingreso por tubería. El agua residual ingresa a la planta para iniciar el tratamiento por medio de dos tuberías de 10 y 8 pulgadas, este sistema es por gravedad, es decir, por el tipo de terreno ascendente el agua llega por corriente, dado la llegada del agua no es necesario tener maquinaria que genere un bombeo para la entrada de agua residual a la planta.

Actualmente esta tubería no se encuentra en buen estado y se presentan fisuras a lo largo del paso del agua generando derrames de líquido al subsuelo, malos olores y aparición de mosquitos lo que altera el tratamiento de la cantidad total del agua llegando a la planta menos de lo que se debería tratar.

2.2.2 Cámara de alivio. En la entrada de la planta se encuentra una cámara de alivio la cual permite la entrada del agua a la planta de tratamiento de agua residual o evitando la entrada de esta cuando el sistema supera el límite preestablecido, este evita el fallo en la tubería por excesos, cuando el fluido supera el límite de la cámara en el escape el tapón cede para que el fluido pueda aliviar el líquido y se libere el exceso o en el caso se suspenda la entrada de agua.

En esta se hace toda la recolección de las aguas residuales crudas, entra el agua negra con muy mal olor que produce el gas metano y ácido sulfhídrico. Esta cámara de alivio que se encuentra en la entrada de la planta no tiene una regulación de la entrada del agua residual, en este proceso entra el líquido sin ningún control, entonces, si el efluente aumenta a la entrada de la planta no habría un control previo que suspenda la entrada a la planta (véase figura 4).

Figura 4. Cámara de alivio. Registro tomado el 14 de marzo de 2019. PTAR Arbeláez.



Fuente: El Autor

2.2.3 Medidor de flujo. Después de este proceso el agua pasa por un medidor de flujo que es una herramienta que mide la cantidad de agua que entra a tratamiento teniendo en cuenta que cada proceso por el que atraviese el agua se ve afectado por la cantidad que ingrese, esta debe estar calibrada para medir el caudal.

Actualmente el medidor de flujo no se encuentra calibrado, con vegetación y sólidos, en el momento de poner la plata en marcha se deberán quitar todas las obstrucciones porque esto no permite medir de manera acertada el caudal que ingresa.

2.2.4 Sistema de rejillas. Se cuenta después con un sistema de rejillas o cribado el cual tiene como objetivo retener los cuerpos gruesos para que los procesos depurativos no se vuelvan más lentos, esta captación de cuerpos se hace por medio de unas rejillas metálicas con un espacio entre barrotes y barrotes de 1 cm, es aquí donde se le quita todo lo que flota del agua cualquier residuo.

El sistema de rejillas esta carente de mantenimiento recubierto totalmente por vegetación y entre el sistema se encuentran gran cantidad de solidos que generarían taponamientos y obstrucción del paso de agua (véase figura 5).

⁴⁸Figura 5. Sistema de Rejillas.



Fuente: Documento del Manual de agua potable Alcantarillado y saneamiento.

2.2.5 Canaleta parshall. Este se encuentra a la entrada del caudal de agua a la planta siendo un elemento primario de 0,152 metros el cual es usado para medir el flujo del caudal que ingresa al tratamiento.

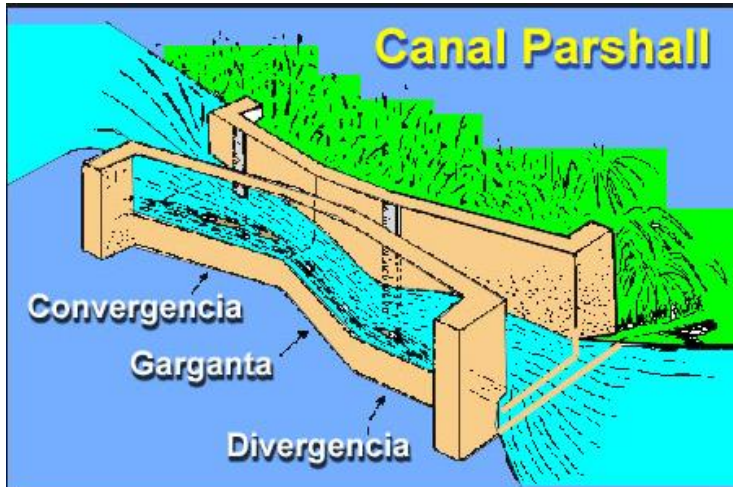
Esta canaleta regula el paso del agua de litros por segundo que pasa, según el RAS 2000⁴⁹ la planta debería tener un paso de en promedio 21,75 L/s, pero esta planta de tratamiento de agua residual la cual determina el caudal es de 21 lo cual resulta que está en el parámetro de paso de la canaleta según lo estipulado en la norma,

⁴⁸ ANEAS. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento [en línea]. México: Conagua [citado 3 abril, 2019]. Disponible en internet <URL: <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro46.pdf>>

⁴⁹ Ibid., p. 9.

esta canaleta de parshall se encuentra totalmente tapada con vegetación actualmente, (véase figura 6).

Figura 6. Canal de Parshall. Estimación de Caudales⁵⁰



Fuente: aula virtual usar

2.2.6 Trampa de grasas. Este debe estar fabricado en acero inoxidable, donde el agua ingresa a un tanque que tiene una rejilla en la parte superior la cual remueve todas las grasas y partículas que estén flotando en el agua, el fin de esta es separar aceites y sólidos que estén en el agua, el agua ingresa al tanque a la primera cámara para que en la segunda cámara todas las grasas floten dado que son más livianas que el agua y se sedimenta el material más pesado que es el llamado fango para que en la tercera cara esta salga sin grasas.

Esta trampa de grasas se encuentra en mal estado, la rejilla que recubre el tanque no se le ha realizado mantenimiento teniendo en cuenta que para el funcionamiento óptimo de este sistema es necesaria la remoción de grasas con bastante frecuencia de la malla para que el método de captación de grasas tenga siempre el mismo efecto y evitar la concentración de microorganismos indeseables en el sistema al no hacer el adecuado mantenimiento, (véase figura 7).

⁵⁰ AULA VIRTUAL USAR. Estimación de caudales [en línea]. Aula virtual usar [citado 5 abril, 2019]. Disponible en internet <URL: http://aulavirtual.usal.es/aulavirtual/demos/simulacion/modulos/curso/uni_03/u3c5s5.htm>

Figura 7. Trampas de Grasas, Clean water Technology⁵¹



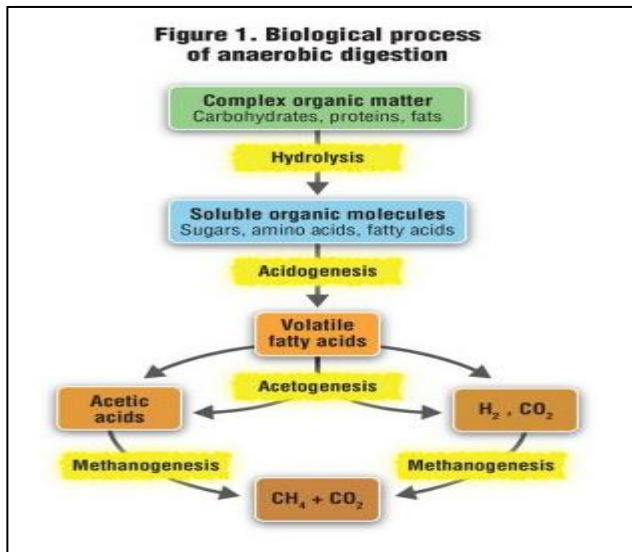
Fuente: Clean water technology

2.2.7 Digestor anaerobio. Este proceso es netamente biológico y automático ya que los microorganismos descomponen el fango, estas bacterias anaeróbicas nacen de la carencia de oxígeno y en climas cálidos, en este proceso se debe remover el lodo periódicamente para que este tenga un adecuado funcionamiento. Los agentes de la digestión anaerobia son distintos microorganismos los cuales cumplen funciones específicas, inicialmente se encuentran las bacterias hidrolíticas que se encaran de degradar la materia orgánica más compleja en moléculas simples que son solubles en agua, las bacterias fermentativas transforman las moléculas disueltas en el agua en alcoholes, ácidos orgánicos de bajo peso molecular, ácidos grasos como (propionato, butirato, ácido cético), hidrogeno y CO_2 , las bacterias acetogénicas transforman los ácidos orgánicos y alcoholes en acetato, hidrogeno molecular y dióxido de carbono, luego de esto las bacterias arqueas metanógenas las cuales producirán metano y dióxido de carbono y otras de la misma clase que consumen el hidrogeno molecular y CO_2 para producir el restante del metano, el último grupo de bacterias que actúa en este proceso son las bacterias sulfato reductoras ellas consumirán las pequeñas cargas de sulfato que se encuentran en la materia orgánica consumiendo el hidrogeno molecular disponible para reducir los sulfatos, finalmente se consigue una mezcla gaseosa de dióxido de carbono (30%), etano (68%) y sulfuro de hidrogeno(2%), esta mezcla es la conocida como Biogás⁵², (véase figura 8).

⁵¹ CLEAN WATER TECHNOLOGY. Trampa de Grasas [en línea]. Clean water Technology. [Citado 5 abril, 2019]. Disponible en internet <URL: http://www.alapre.org/Downloads/Congresos/Quinto_Congreso/CWT_Como_hacer_una_planta_de_tratamiento_de_aguas_PTAR_eficiente.pdf >

⁵² GREENE, Paul. Managing digester feedstocks. En *Byocycle*. Noviembre, 2016. Vol. 57, no.10, p. 34.

Figura 8. Proceso Biológico de la Digestión Anaerobia.



Fuente: Bio cycle, the organics recycling authority.

En esta planta, este gas llamado Biogás es solo liberado en el ambiente como se puede ver en la imagen 10 por un ducto que tiene en la parte superior del tanque de digestión anaeróbica, pero esto produce malos olores en el ambiente y molestia en la comunidad (véase figura 9 y 10).

Figura 9. Salida de Biogás del digestor anaerobio. PTAR Arbeláez.



Fuente: El Autor

Figura 10. Digestor Anaerobio. PTAR Arbeláez.



Fuente: El Autor

En la planta se cuenta con dos taques anaerobios los cuales en su interior no tiene una remoción del lodo lo que es necesario retirar periódicamente para la correcta remoción de lodos si este no se hace la efectividad del proceso se pierde, la tubería y válvulas se encuentran en buen estado (véase figura 11).

Figura 11. Sistema de tuberías y válvulas de digestores. Tomado de: PTAR Arbeláez.



Fuente: El Autor

Figura 12. Ingreso tuberías a digestor



Fuente: El Autor

2.2.8 Filtro percolador. Después el agua pasa a unos filtros percoladores lo cuales son biológicos este filtro está lleno con tubos de PVC y canastas plásticas donde llega el agua residual pretratada, esta esta ventilada al aire libre, pasa por la canal con bastante material plástico donde se adhiere y desarrolla la biopelícula que es un cultivo bacteriano.

El agua entra en contacto con el aire y la biopelícula aquí generada, combinando el oxígeno que se encuentra en el aire en el líquido junto con los nutrientes en el agua residual incorporando la materia orgánica que posee el agua las bacterias las incluyen a su desarrollo así generando nuevos cultivos y manteniendo la actividad generadora de la biopelícula.

En la planta encontramos este filtro como una canal y el agua vertida en este para pasar y filtrarse en el material plástico teniendo falencias en este proceso por su forma de verter el agua, dado que esta debería ser rociada sobre el filtro y tener contacto directo con el plástico. Se encuentra la canal del precolador carente de mantenimiento y tapado totalmente por maleza (véase figura 13).

Figura 13. Filtro Precolador. Tomado de: PTAR Arbeláez



Fuente: El Autor

2.2.9 Escalones. La planta cuenta con un sistema de escalones que envía el efluente a la quebrada directamente este se construye como un sistema de sedimentación del agua que permite la creación de bacterias que contribuyen con la limpieza del agua y canal para la liberación del agua tratado, sin embargo, esta agua después de todos los procesos de la planta el efluente no tiene una calidad óptima para enviarla a la quebrada.

Estos escalones también se encuentran cubiertos por maleza lo cual no es recomendable para el proceso porque puede atascar el agua e impedir la eliminación de agentes contaminantes este proceso no se pudo evidenciar muy bien por el argumento anteriormente mencionado (Véase figura 14).

Figura 14. Escalones. Tomado de PTAR Arbeláez



Fuente: El Autor

2.2.10 Descarga. La descarga se hace directamente a la quebrada la lejía, donde después de pasar por el proceso de escalones esta llega a un canal rectangular y allí se hace la disposición final en este lugar se hace presencia de muy malos olores.

2.3 PLANTA DEER ISLAND WASTEWATER TREATMENT PLANT

Boston es la capital de Massachusetts es considerada una de las ciudades más antiguas fundada el 7 de septiembre de 1630, es la ciudad de los Estados Unidos considerada como el centro cultural y económico. Boston es muy poblada cuenta con 706.979 habitantes. Las descargas de aguas son tratadas por la planta de tratamiento de aguas residuales de Boston.

En 1876 se registra el primer sistema de alcantarillado de la ciudad de Boston, aprobaron la construcción de un sistema de drenaje, empezó su construcción entre 1877 y 1884, este funciono para 18 ciudades y pueblo a Moon island ubicado en el puerto de la ciudad de Boston, estas aguas eran liberadas con la marea saliente.

En 1889 el distrito metropolitano planeó hacer uno de los primeros sistemas de alcantarillado de los estados unidos, este sistema pronto fue conocido como uno de los mejores en el país, en este tiempo no brindo un tratamiento solo recolectaba las aguas residuales y las enviaba al puerto. En 1919 empieza la crisis de la calidad del agua por la contaminación, Para 1933, gracias al empeoramiento de la contaminación de las aguas los mariscos que se extraían del puerto requerían una purificación.

En 1940 los planificadores recomiendan construir plantas de tratamiento de aguas residuales para mitigar la contaminación en cada una de las islas, isla Nut, isla Moon y la isla Deer. En 1952 se construye la primera planta de tratamiento de aguas residuales de Nut island, ya las aguas del sur recibieron por primera vez tratamiento, esta fue demolida en 1998, luego en 1968 se terminó con la segunda planta regional, la planta primaria de tratamiento de aguas residuales Deer Island, en este momento las aguas residuales del norte recibieron tratamiento por primera vez.

En 1972 aparecen nuevas regulaciones ambientales dado que las leyes federales y estatales exigían el tratamiento primario y secundario para todo el alcantarillado así eliminando todos los niveles de tratamiento inferiores, en 1985 la MWRA inicia a controlar los sistemas de agua y de alcantarillado debido a que el nivel de tratamiento estaba por debajo de los estándares de calidad exigidos por las leyes federales, fue en ese momento donde se ordenó la construcción de una nueva planta de tratamiento de aguas residuales, ya en 1989 se inician las nuevas mejoras en las plantas de tratamiento regionales como la de Nut island y Deer island detuvieron el vertimiento de un poco más de 10.000 galones por día que contaminaban con grasa, plástico y aceite.

En 1992 se inició a convertir los lodos en fertilizantes así terminando la descarga de lodos en el puerto de Boston, en 1995 se terminó la nueva planta de tratamiento en Deer island lo que fue positivo porque incrementó la efectividad y capacidad del sistema, en el año 1997 se completa el tratamiento secundario lo que permitió la eliminación más profunda de los sólidos lo que dio como resultado cumplir con las exigencias del ley federal de un agua limpia. MWRA en 1998 abrió un túnel que conectaba los flujos del sistema al sur a la isla terminando el vertimiento de la planta de la isla Nut.

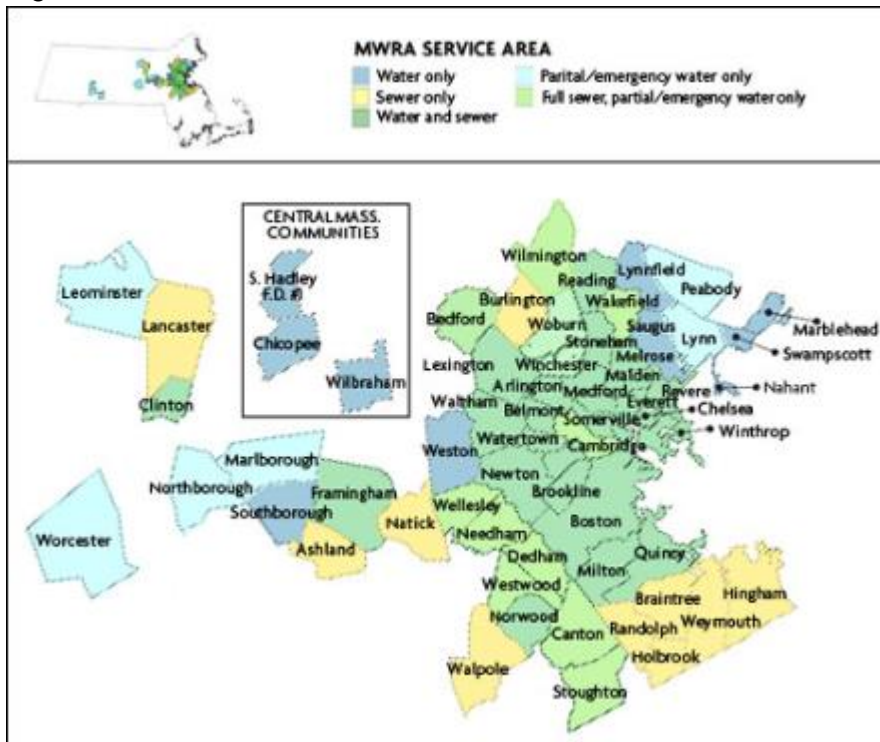
Finalmente, en el 2000 el túnel de desagüe queda finalizado lo que permitió a MWRA hacer el vertimiento en las aguas profundas de la bahía de Massachusetts y no en las aguas cercanas del puerto.⁵³

La planta de Deer island WasteWater treatment plant está dentro del programa de \$3.8 billones de dólares, que tiene como objetivo proteger al puerto de Boston, trata aguas domésticas y tiene una capacidad de flujo de 1270 millones de galones por día, los residentes de Boston Massachusetts se bañan, sacian su sed, descargan los inodoros, riegan el césped y lavan los platos y la disposición final de estas La planta de Deer island WasteWater de MWRA (Massachusetts water resources Authority) el régimen público que establece la ley de 1984 para servir a 3.1 millones de habitantes de Massachusetts.

⁵³ MASSACHUSETTS WATER RESOURCE AUTHORITY. history of the sewer system [en línea]. Boston: MWRA. [Citado 10 abril, 2019] Disponible en internet <URL: <http://www.mwra.state.ma.us/03sewer/html/sewditp.htm>>

Se aprobó una ley de agua limpia que establece los estándares de calidad del efluente que será vertido en fuentes hídrica, esto inicio con la necesidad de la limpieza del puerto de Boston. MWRA inicia para el sistema de alcantarillado de el puerto de Boston cumplan con la orden judicial esta es la ley de agua limpia (360 CMR del 2009), (véase figura 15).

Figura 15. Cobertura MWRA. Tomado de: MWRA State Ma Us.



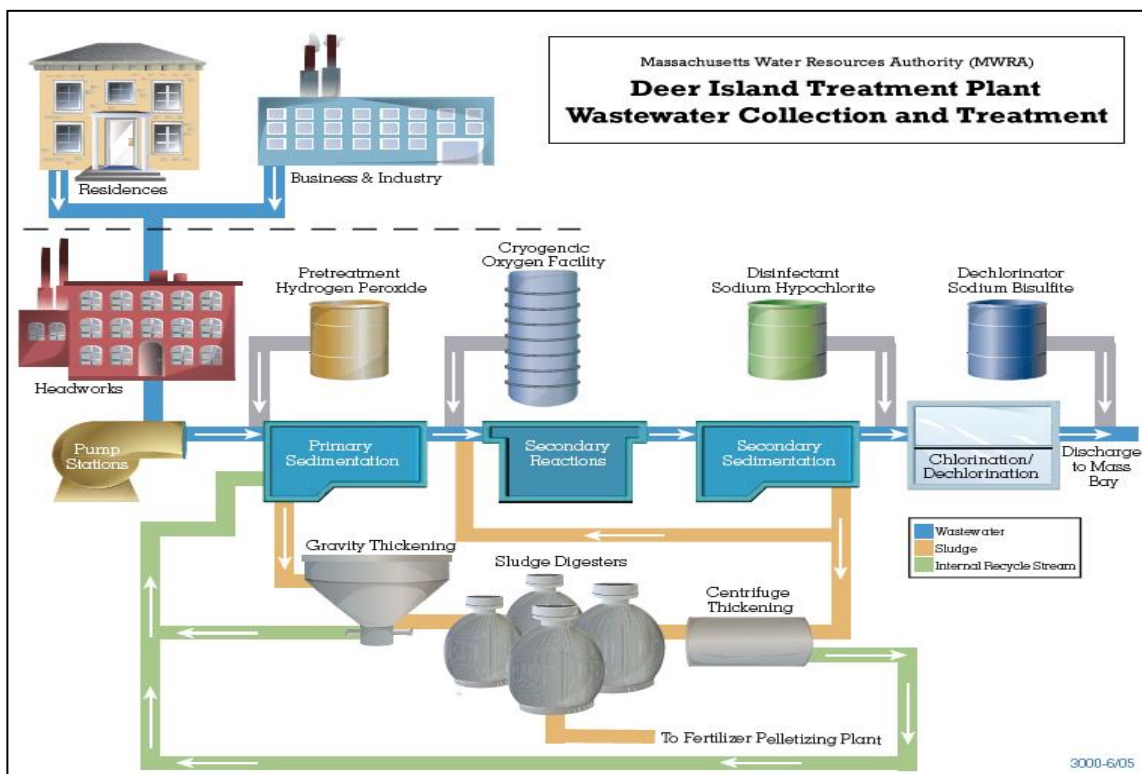
Fuente: Massachusetts water Resources Authority

El objetivo de la planta es controlar la contaminación del agua garantizando el cumplimiento de la ley federal que los rige del agua limpia, así controlan la calidad del agua del puerto de Boston, bahía de cape, bahía Massachussets haciendo medición de sustancias orgánicas, solidos, aceites y grasas.

El sistema de alcantarillado de Boston es de aguas domesticas más de 2 millones de personas envían sus aguas residuales a la planta de Deer y las aguas lluvia que ingresan a el sistema de alcantarillado. Estas aguas residuales viajan a través de tres diferentes tuberías, así el agua domestica llega a las tuberías del alcantarillado local después de esto son trasportadas a el alcantarillado interceptor de MWRA para finalmente llegar a la planta de tratamiento e iniciar el proceso de aguas residuales, aunque la mayoría de las aguas llegan a las tuberías por gravedad, muchas otras aguas que no tienen la misma condición necesitan de bombeo de las aguas.

La planta de Deer tiene tratamiento primario y secundario, los procesos de la planta son la recolección y el bombeo donde se canalizan las aguas filtradas por ladrillos, troncos, las bombas traen las aguas residuales por túneles de roca ubicados debajo de la planta; el tratamiento preliminar es donde el barro y la arena llegan a un tanque llamado cámara de arena o tanque de arena para que luego la arenilla pueda ser trasladado a un vertedero de eliminación, después del tratamiento preliminar pasa a el conocido tratamiento primario donde las aguas residuales fluyen por los tanques de sedimentación primaria donde los desechos se sedimentan, sin embargo en este tratamiento no se eliminan elementos químicos tóxicos, seguido de este tratamiento llega al tratamiento secundario donde se le agrega oxígeno disuelto para acelerar el crecimiento de microorganismos para que aquí las bacterias consuman los desechos orgánicos y se sedimenten en el fondo de los tanque para que en este tratamiento secundario sean eliminados el 90% de los desechos humanos y otros sólidos y sustancias químicas, (véase figura 16).

Figura 16. Tratamiento aguas residuales de Deer Island. Tomado de: MWRA state Ma Us.



Fuente: MWRA

La planta de Boston Deer Island WasteWater Treatment plant hace sus procesos de la siguiente forma:

2.3.1 Bombeo. El recurso hídrico llega por medio de túneles. Las bombas elevan el agua residual a unos 45,72 metros hacia la planta, esta contiene diferentes estaciones las cuales son la estación del norte y las de la terminal de winthrop que tiene 10 bombas cada una de 3.500hp y seis bombas de 600hp , la capacidad que tiene el sistema norte es de 910 mgd(millones galón/día), para el sistema sur contiene ocho bombas de 1.250 hp y 360 mgd adicionales, esto nos da un panorama de que en la planta de Deer island tiene una capacidad bastante grande de bombeo de las aguas residuales a la planta.

En este sistema de bombeo se puede evidenciar que la capacidad de máquinas de bombeo es bastante suficiente para la demanda de agua residual que ingresa a la planta, durante la visita a la planta se evidencio que el agua llega con la fuerza necesaria a los procesos siguientes del tratamiento.

2.3.2 Tratamiento primario. Después del proceso de bombeo, el agua pasa por unas cámaras de arenillas que eliminan la arenilla, para eliminación en un relleno sanitario que no está dentro de la isla Deer, luego los flujos de aguas se dirigen a clasificadores del tratamiento primario donde se eliminan aproximadamente la mitad de los contaminantes que se llevan a la planta de aguas residuales. En este proceso, la gravedad separa los lodos y la espuma de las aguas residuales. La planta de tratamiento cuenta con 48 clasificadores que tiene una superficie de sedimentación duplicada esto para aumentar la capacidad de la sedimentación.

Este proceso es muy tecnificado, el control y monitoreo que se le hace a este proceso no requiere de un operario en el sitio por que la información o fallas en el sistema del tratamiento primario se muestra en el sistema de control de la planta.

2.3.3 Tratamiento secundario. Los mezcladores de tratamiento secundario, clasificadores y reactores eliminan la mayoría de los sólidos no sedimentables mediante un tratamiento biológico llamado lodos activados por oxígeno puro el cual utiliza microorganismos que consumen la materia orgánica que sigue en las aguas residuales; este en más de 85% elimina el nivel de contaminación.

En la planta se produce más de 100 toneladas de oxígeno puro por día, para poder realizar el tratamiento biológico en las aguas residuales.

2.3.4 Digestor de lodos. El lodo y la espuma que se da en el tratamiento primario se espesan en los llamados “espesantes por gravedad”, estos lodos y residuos que quedan del tratamiento secundario se espesan en centrifugas, después de esto la digestión se realiza en 12 digestores anaeróbicos que son en forma de huevo, cada huevo tiene 130 pies y 90 pies de diámetro.

En estos digestores los microorganismos presentes de una forma natural descomponen el fango y la espuma de gas metano y dióxido de carbono que se produce, la digestión permite eliminar en la gran mayoría el lodo, en este proceso el 70% de gas metano se canaliza a las calderas que generan suficiente calor para el procedimiento dependientes de él.

El vapor que produce se envía a través de un generador de turbina que produce aproximadamente 3 megavatios de electricidad, aquí el lodo digerido se envía por medio de un túnel hasta MWRA la instalación de paletización para que pueda ser procesado con estos lodos un fertilizante.

En este tratamiento por lodos se ve el constante movimiento artificial de las aguas por un motor que poseen y las temperaturas empleadas son altas, estas son generadas por el proceso de calderas porque el clima que se presentaba en el momento de la visita era de -3°C , el proceso funcionaba correctamente y el mantenimiento de los digestores estaba estipulado cada que los digestores llegaran aproximadamente a una sedimentación de lodos de 1,8 metros (véase figura 17).

Figura 17. Digestores de lodo.



Fuente: Especialista en tratamiento de aguas Las mayores plantas de tratamiento del mundo

2.3.5 Control de olores. Se poseen unos depuradores de aire y absorbedores de carbono que eliminan todo el olor y compuestos orgánicos que puedan quedar en el aire del proceso de gases de escape, este se utiliza en los procesos primario y secundario, procesamiento de lodos, bombeo a la planta y cámara de arenilla, este tiene una supervisión constante y está regido por un permiso especial de calidad del aire.

Durante la visita que se realizó en el mes de diciembre en el paso por todos los procesos de la planta y alrededor en ningún momento se sintió un mal olor ni presencia de mosquitos dado al proceso de control de olores que maneja la planta.

2.3.6 Desinfección. El agua que han pasado por todo el proceso se desinfecta con hipoclorito de sodio para eliminar todas las bacterias. Cuentan con dos depósitos de 4 millones de galones de capacidad, finalmente se agrega bisulfito de sodio para decolorar el agua para que los niveles de cloro no amenacen la vida de los animales marinos donde se hace la descarga de las aguas.

El agua que sale de este proceso es totalmente incolora y sin presencia de ninguna partícula en la muestra. Esta agua que sale del proceso final no es potable y no es apta para el consumo humano, pero no es riesgosa para la fuente de disposición final.

2.3.7 Descarga. Tienen un túnel de descarga de 15,8 kilómetros y 24 pies de diámetro que transporta el agua tratada a las aguas profundas de la bahía, se tienen más de 50 tubos individuales cada uno con 8 puertos pequeños para que se logre una mezcla rápida. Se tiene un extenso monitoreo ambiental asegura que el ambiente siempre se encuentra protegido cumpliendo con los estándares de calidad.

2.3.8 Laboratorio. Deer island WasteWater treatment plant realiza más de 100.000 análisis del agua por año que respalda en control del proceso para garantizar que se cumplan con las restricciones del permiso de la planta.⁵⁴

2.3.9 Entrevista realizada. En la visita del día 21 de marzo del presente año al municipio de Arbeláez se realizaron dos entrevistas las cuales fueron a una funcionaria y un lugareño del sector la rinconada.

La entrevista que se realiza a la funcionaria Lina Paola ingeniería ambiental de la oficina de servicios públicos a quien se le formulan unas preguntas de las aguas residuales se obtiene la siguiente información.

Se le pregunta a la funcionaria el manejo que se le da actualmente a las aguas residuales del municipio y ella hace saber que en el municipio no se le hace ningún tipo de tratamiento a las aguas residuales del municipio, en el municipio se cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales llamada la rinconada localizada en el barrio la rinconada y se encuentra en procesos de estudios para plantear nuevamente el funcionamiento y vuelva a funcionar, también se planea la construcción de otra planta de tratamiento en otro sector, la planta no se encuentra en funcionamiento.

Esta planta de tratamiento recoge el agua residual del 50% de la población y la otra planta que se planea hacer recogerá el otro 50% de la población para tener una cobertura total del municipio, un consejo que ella manifiesta para la reutilización del agua residual después de procesos químicos, físicos y biológicos reduce la carga

contaminante y se podría reutilizar para fertilización de suelos, lavados de materiales, maquinaria o junto con el sólido que genera podría servir como fertilizante y abonos del suelo.

El lugareño del sector manifiesta que vive hace 50 años en la rinconada el cual tiene conocimiento de la existencia de la planta y manifiesta, que la pana de tratamiento solo trabajo un año y no volvió a tener control, el agua sigue pasando por la planta, pero se siente muy mal olor y ya no se hace ningún tratamiento en la PTAR.

Los problemas que tienen en la zona son los olores atenuados cercanos a la planta, la cantidad de insectos y aves de carroña que rondan el lugar.

El lugareño responde a la pregunta de que mejora podría realizarse en la planta y manifiesta que el mantenimiento de la planta es necesario, aunque no se encuentre en funcionamiento la planta está tapada la mayor parte tapada por vegetación y se puedan mejorar los procesos para que no tengan esos problemas con la comunidad.

3 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE ARBELÁEZ

Para la elaboración de las matrices de evaluación de los impactos ambientales generados en la planta de aguas residuales del municipio de Arbeláez se toma como referencia la visitas que se hicieron al sitio de la rinconada, en la identificación de cada proceso y problemas en la calidad de aire, aparición de mosquitos posiblemente portadores de vectores y la inconformidad de la comunidad manifestada en las visitas con la PTAR de Arbeláez, también se cuenta con el apoyo de la ingeniera ambiental encargada de la oficina de servicios públicos la cual brinda información pertinente de los procesos de la planta y como se encontraba el estado de cada una de las actividades, que permitió ampliar el diagnóstico visual.

3.1 PTAR ARBELÁEZ

El principal problema detectado, en el análisis de los Planes de desarrollo propuesto desde el 2008, se encuentra el tema presupuestal, en dónde, cómo se puede observar en los planes no existe una destinación clara del presupuesto, para la recuperación de la planta y mucho menos para su construcción; sólo en el último plan de desarrollo se determina la inversión; sin embargo, se queda en el limbo respecto a que no existe un recurso propio sino se deja a la tarea de gestionar los recursos para alcanzar las metas.

3.2 MATRIZ LEOPOLD

Para este capítulo se realiza una matriz de Leopold, la cual es una herramienta de información cualitativa para la evaluación de impactos ambientales en un entorno natural. Este sistema consiste en una matriz donde la información de las columnas representa las actividades y las filas aspectos ambientales como el aire, agua, suelo y factor socioeconómico, la relación entre las actividades y factores ambientales se muestran con dos valores en el cual se identifica en la parte superior la magnitud y en la parte inferior la importancia de esta manera. (véase tabla 6).⁵⁵

⁵⁵ UNIVERSIDAD NACIONAL. Evaluación del impacto ambiental . Rio negro: Unrn, 2013. p.3.

Tabla 6. Calificación de Factores.

Impactos negativos					
Magnitud			Importancia		
Intensidad	afectación	Calificación	Duración	Influencia	Calificación
Baja	Baja	-1	Temporal	Puntual	1
Baja	Media	-2	Media	Puntual	2
Baja	Alta	-3	Permanente	Puntual	3
Media	Baja	-4	Temporal	Local	4
Media	Media	-5	Media	Local	5
Media	Alta	-6	Permanente	Local	6
Alta	Baja	-7	Temporal	Regional	7
Alta	Media	-8	Media	Regional	8
Alta	Alta	-9	Permanente	Regional	9
Muy Alta	Alta	-10	Permanente	Nacional	10

Fuente: El Autor

Tabla 7. Calificación de Factores.

Impactos positivos					
Magnitud			Importancia		
Intensidad	Afectación	Calificación	Duración	Influencia	Calificación
Baja	Baja	1	Temporal	Puntual	1
Baja	Media	2	Media	Puntual	2
Baja	Alta	3	Permanente	Puntual	3
Media	Baja	4	Temporal	Local	4
Media	Media	5	Media	Local	5
Media	Alta	6	Permanente	Local	6
Alta	Baja	7	Temporal	Regional	7
Alta	Media	8	Media	Regional	8
Alta	Alta	9	Permanente	Regional	9
Muy Alta	Alta	10	Permanente	Nacional	10

Fuente: El Autor

La cual permite conocer distintos tipos de impactos ambientales y la magnitud que estos representan en el sitio de estudio, en esta se describen los procesos de la PTAR de Arbeláez identificando y evaluando los impactos ambientales que presentan en la zona de la rinconada.

Para analizar el valor de cada casilla se debe multiplicar el valor de la magnitud por la importancia para luego sumar los valores por las filas y columnas y llegar a la síntesis por componentes y subcomponentes, (véase tabla 8).

De esta matriz se puede identificar los impactos ambientales en la zona del proyecto de la planta de tratamiento de Arbeláez, en el ingreso del agua a la planta según las visitas se evidencian tubería en mal estado, tuberías fisuradas que tienen constante derrame del líquido sobre el suelo para esta actividad del proceso de tubería por gravedad se encuentra un impacto de (-52) con un porcentaje representativo de 5.83% total de los impactos siendo un valor mínimo sobre el 100%, esto se da porque es un impacto ambiental que puede eliminarse, dado que es un impacto ambiental positivo para la calidad del aire y emisiones de gases al ser un sistema cerrado, y si se evidencia que al tener un escape de líquido genera problemas negativos de erosión hídrica porque este será un flujo de agua que pasa por el suelo afectando el terreno de la zona con capacidad de afectar el terreno de la región, pérdida de propiedades del suelo al caer el agua con altos contaminantes puede generar la pérdida de algunas propiedades del suelo como la pérdida de fertilidad y por último para esta categoría y con mayor calificación la forestación se ve seriamente afectada por este fenómeno (véase figura 18) .

En el tratamiento preliminar en el cual se identifica la cámara de alivio por ser una actividad que es al aire libre que presenta olores, afecta la calidad del aire negativamente, así como para el aspecto socioeconómico se presentan problemas de salud pública y presencia de olores en la zona de la rinconada, este se califica como un impacto con una relevancia del 5.43% del total, también se encuentra el medidor de flujo, pero este solo tiene como objetivo medir el caudal que atraviesa al tratamiento de la planta el cual no genera impactos ambientales; en las rejillas que es un sistema de igual forma abierto se presenta un impacto negativo a la calidad del aire generando presencia de malos olores e igualmente problemas de salud pública, este sistema de rejillas al recoger grandes residuos presentes en el agua genera producción de residuos no aprovechables, así mismo impacta positivamente a mejorar la calidad del agua en un pequeño porcentaje reduciendo los residuos sólidos presentes, esta actividad de rejillas tiene una calificación negativa de (-153) con un porcentaje sobre el total 12.39% que no es un valor altamente significativo pero si se deben realizar mejoras para no generan problemas ambientales.

La canaleta de parshall es un elemento presente en el tratamiento preliminar pero no es una ayuda al mejoramiento de la calidad del agua pero si genera impactos negativos por ser también una actividad al aire libre en la generación de malos olores y afectación a la salud pública de la zona esta actividad se le otorga una calificación negativa de (--67) con un porcentaje representativo de 5,66% este valor es igual a la cámara de alivio dado que son actividades que ayudan al regular el paso del caudal pero no actúan con una mejora del agua, pero si están generando impactos negativos al medio ambiente por ser al aire libre y sin ningún control de olores, por último para este tratamiento se cuenta con la trampa de grasas la cual también es una actividad al aire libre en una especie de tanque el cual tiene como objetivo eliminar las grasas y esto mejora la calidad del agua generando impactos positivos para la disposición final, así también genera impactos negativos en la

generación de olores, producción de algunos residuos no aprovechables y problemas a la salud pública esta actividad tiene un porcentaje representativo del 9.30% con una valoración de (-110); para este proceso en total se tiene un impacto negativo de (-397) con un porcentaje representativo de 33,56% del total aunque este no es el más impacto más alto si es se entiende que por el paso de agua cruda se presenten problemas de olores dado que en este proceso solo se está haciendo una limpieza de residuos del agua, pero esto no justifica la falta de control y mantenimiento que hace falta en el proceso preliminar.

Seguido a este tratamiento se encuentra el tratamiento primario el cual cuenta con un digestor anaerobio que genera Biogás, que produce problemas de olores, cambios en la temperatura local del aire, emisión del gas afectando negativamente a la capa de ozono, movilidad de la comunidad, problemas de salubridad y si bien se encuentran impactos positivos como el mejoramiento de la calidad del agua este no deja de impactar negativamente con una valoración de (-144) y un porcentaje representativo de 12,17%, seguido esta actividad pasa a el filtro precolador el cual también es al aire libre por naturaleza de la actividad se identifica que tiene impactos positivos en la calidad del agua, pero también hace presencia de malos olores afectando la calidad del aire, y problemas socioeconómicos generando la movilidad de la comunidad, para este proceso se identifica un impacto negativo de (-150) con un porcentaje sobre el total de 12.68% en el cual si se debería identificar un impacto positivo total al ambiente por ser un tratamiento en pro a la calidad del agua y no afectar negativamente otro factor ambiental, (véase figura 19).

Finalizando el análisis de las filas relacionadas con los procesos de la planta el caudal de agua pasa por unos escalones el cual no mejora a la calidad del agua y si generan impactos negativos como la producción de malos olores en la zona, problemas en la salud pública por mosquitos portadores de enfermedades y en el aire causando la movilidad de la población de la rinconada.

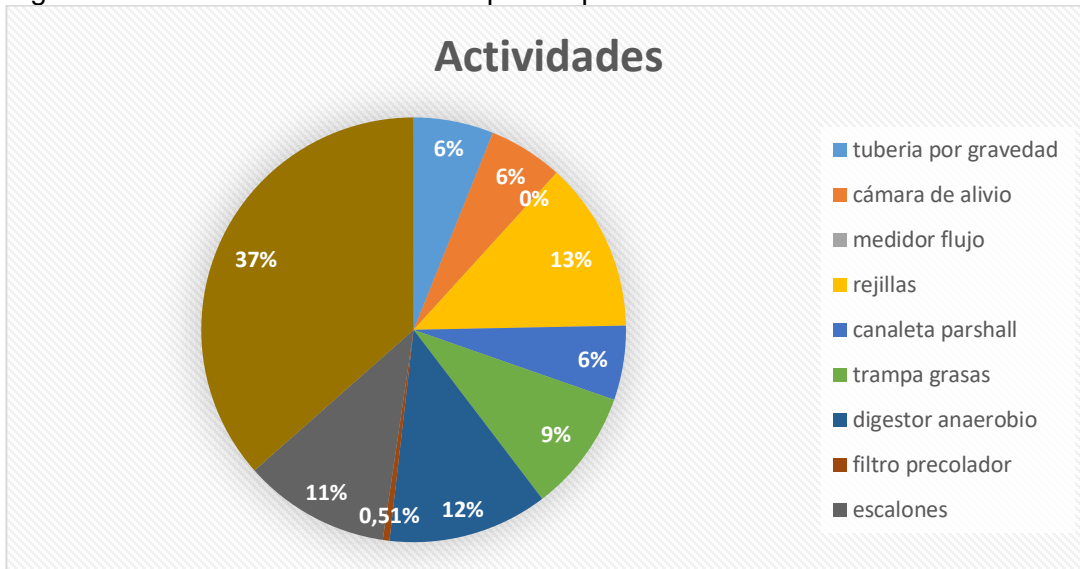
Por ultimo tenemos la salida del agua a la quebrada que por falta de mantenimientos en las otras actividades, mal manejo y falta de control, es en este momento donde el agua al entrar en contacto con el agua superficial, genera un impacto de salud pública, presentando muy malos olores a lo largo de la descarga y el flujo de la quebrada impactando negativamente a zonas aledañas a la quebrada, esto genera movilizaciones de la población y problemas al suelo que se encuentra a los alrededores de la quebrada teniendo una pérdida de las propiedades del suelo, generando problemas en la forestación por la carga contaminante que aun lleva el agua, este proceso tiene una calificación total de (-564) con un porcentaje del 47,68% evidentemente muy alto siendo este el proceso más crítico de la planta por la irregularidades que se presenta en la descarga y el contacto directo con la quebrada donde se evidencian varios problemas en el aire, agua, suelo y problemas socioeconómicos, (véase figura 20).

Tabla 8. Diseño de Matriz para análisis de Impacto Ambiental de la PTAR Arbeláez

PTAR Arbeláez		Ambiente	AIRE				Agua				suelo			socioeconómico				síntesis					
			Calidad	Temperatura	capa ozono	Gases	contaminación fuentes	olor	color	temperatura	calidad	forestación	perdida propiedades	erosión hidrica	salud publica	movilidad	producción residuos	olores	# interacciones		impacto por subcomponente	porcentaje	impacto por componente
Acciones																		-	+				
Ingreso	tubería por gravedad	7/6			5/6						9/6	7/6	8/6					3	2	-72	6,09%	-72	6,09%
tratamiento preliminar	cámara de alivio	3/5												5/2			7/6	3	0	-67	5,66%		
	medidor flujo																			0			
	rejillas	7/4				6/3			4/3					7/5		8/9	8/6	4	2	-153	12,93%	-397	33,56%
	canaleta parshall	3/5												5/2			7/6	3	0	-67	5,66%		
	trampa grasas	8/6				6/4		2/3	5/3					7/5		3/8	8/6	4	3	-110	9,30%		
Tratamiento primario	digestor anaerobio	10/6	2/3	3/6	10/6	7/9	3/6	4/3	2/3	6/9				2/6	8/9	2/6	9/9	7	6	-144	12,17%	-150	12,68%
	filtro precolador	6/6				4/6		2/3	6/6					2/6	4/6	4/6	3	4	-6	0,51%			
descarga	escalones	6/4												5/2	7/8	7/6	4	0	-132	11,16%	-564	47,68%	
	salida fluente	7/6				6/6				7/9	8/9	7/6	9/9	8/6	8/6	8/6	7	0	-432	36,52%			
síntesis	Interacciones	-	8	1	1	1	0	0	0	0	2	2	2	6	4	3	8	38					
		+	1	0	0	1	4	1	3	1	4	0	0	0	2	0	0		17	-1183			
	impacto por subcomponente		-226	-6	-18	-30	93	18	24	6	117	-117	-114	-90	-157	-200	-108	-375			-1183		
	Porcentaje		19%	1%	2%	3%	-8%	-2%	-2%	-1%	-10%	10%	10%	8%	13%	17%	9%	32%					

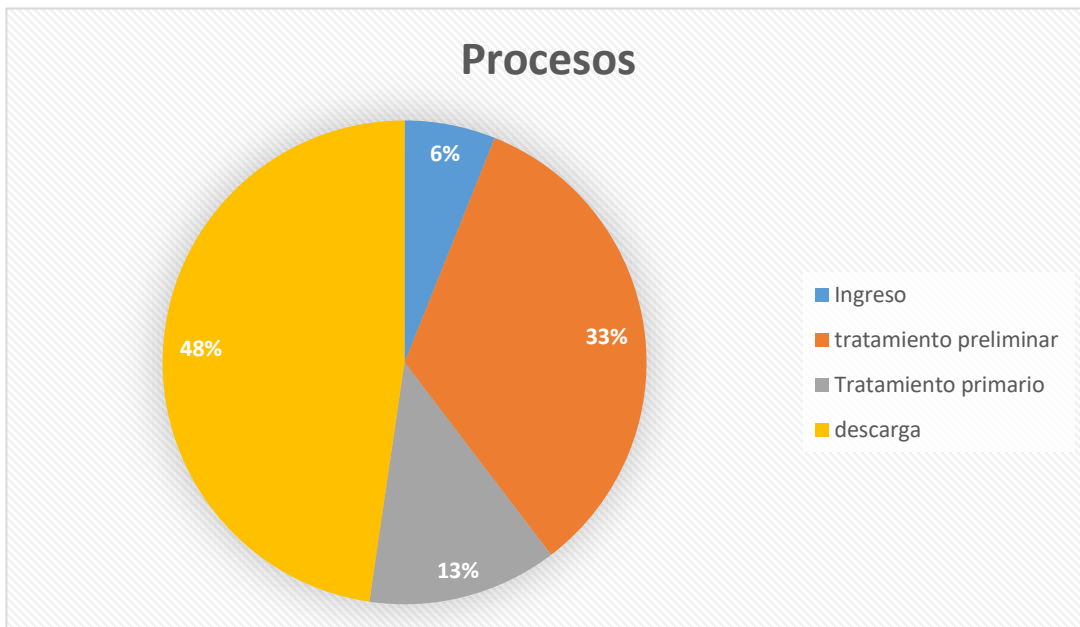
Fuente: El Autor

Figura 18. Nivel de Relevancia de Impactos por Actividad



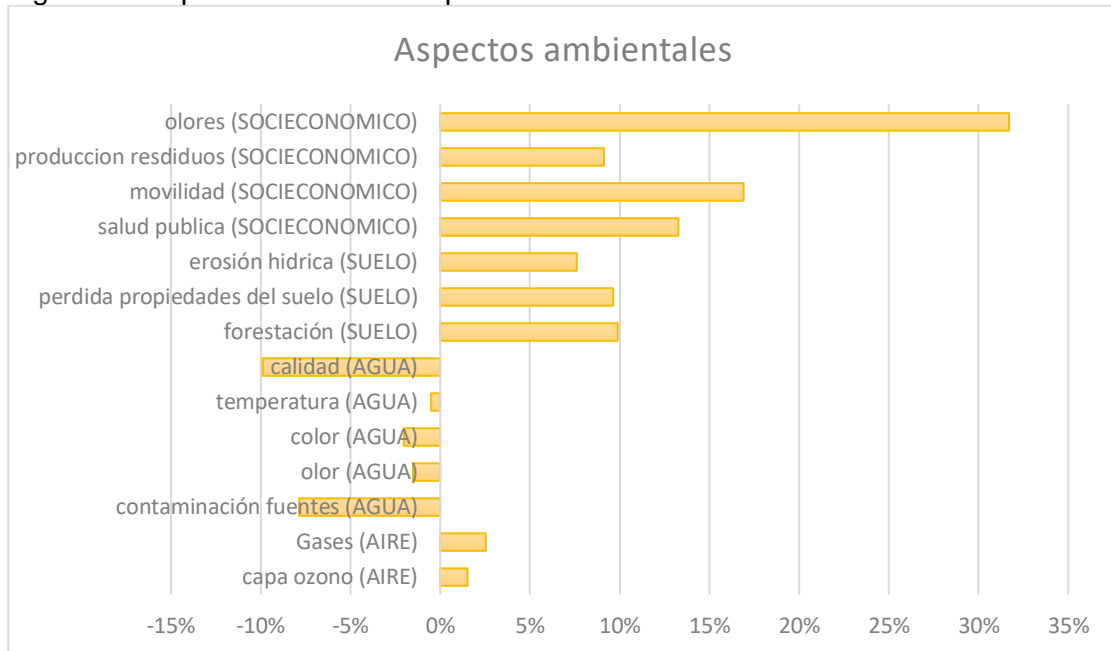
Fuente: El Autor

Figura 19. Relevancia de los impactos por procesos



Fuente: El Autor

Figura 20. Impactos Ambientales por Factores.



Fuente: El Autor

En el análisis por factores ambientales se encuentra que el factor socioeconómico con la presencia de olores tiene un 32% de impactos negativos presentándose en la mayoría de actividades de los procesos, seguido de un 19% de la calidad del aire por la razón de la producción de malos olores y gases liberados al ambiente, seguido de la movilización de la población por los impactos generados por la planta de tratamiento, la salud pública con 13% que también genera impactos negativos importantes a resaltar presentes en la mayoría de actividades que tienen exposición al aire libre y acumulaciones de agua residual por un tiempo prolongado, seguido de un 10% de impactos negativos con la forestación por el contacto con el suelo la carga contaminante afecta el suelo evitando la forestación donde se presenta este fenómeno con el mismo porcentaje perdiendo las propiedades del suelo (véase tabla 8).

Con porcentajes entre 1% y 3% encontramos la variación en la temperatura del aire, emisiones de gases y afectación a la capa de ozono; también se encuentran factores positivos como la mejora en la calidad del agua en un 10%, mejora en el olor y color del agua en un 2% y la temperatura en un 1% estos siendo impactos positivos no sobrepasan el 10%.

Por lo anterior se puede inferir que en el análisis horizontal el proceso más crítico que se encuentra es la descarga del agua residual con un porcentaje bastante alto sobre los demás procesos, en la descarga se encuentran que la actividad que representa en mayor impacto en el proceso y en todos los procesos de la planta es la salida de efluente y el análisis vertical es la generación de malos olores en el

recorrido del agua por la planta siendo este un sistema abierto y sin ningún tipo de control.

3.3 MATRIZ ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES

Ahora bien, se realiza el análisis de la matriz de aspectos e impactos ambientales donde se identifican los aspectos ambientales asociados a cada actividad y servicios que se realicen en una zona para lograr identificar aquellos aspectos e impactos que tienen efectos significativos sobre el entorno.

En la matriz se encontrará el proceso que es el conjunto de actividades que se relacionan entre ellas con una entrada y una salida, las actividades que permiten llevar a cabo una tarea dentro de la planta, se describe el aspecto ambiental que se entiende como la actividad que interactúa con el medio ambiente si esta es significativa podría tener un impacto ambiental igualmente significativo que genera cualquier cambio en el medio ambiente que puede ser negativo o positivo como se veía en la matriz anteriormente analizada, (véase cuadro 2).

Tendremos también unas columnas con información cuantitativa la cual está clasificada por los siguientes factores.

- Probabilidad: Baja (1) no existe posibilidad de que suceda, media (5) existe una posibilidad media de que suceda, alta (10) se considera muy posible de que suceda.
- Duración: Breve (1) la alteración del medio no dura por un tiempo prolongado solo se da en un lapso muy pequeño, temporal (5) la alteración en el medio no dura por un tiempo prolongado solo ocurre en un lapso medianamente moderado, permanente (10) cuando dura por un tiempo prolongado indefinido.
- Alcance: Puntual (1) el impacto solo afecta o se da en la zona de influencia, Local (5) traspasa la zona de influencia con un alcance medianamente mayor, regional (10) el impacto afecta a nivel regional.
- Recuperabilidad: Reversible (1) el efecto puede eliminarse del todo con ayuda de actividades realizadas por el hombre, recuperable (5) se puede recuperar con acciones de control disminuyendo el efecto, irrecuperable (10) no se puede recuperar con medida de control no podrá estar en el estado original.
- Cantidad: Baja (1) la alteración es mínima, media (5) es una alteración moderada de la característica ambiental, Alta (10) una destrucción total importantes.
- Requisito legal: (1) no tiene ningún requisito legal asociado al impacto, (10) existe un requisito legal asociado.

El total es la multiplicación de todos los factores anteriormente mencionados el cual indicara el valor de la interpretación los cuales se identifican de la siguiente forma, (véase tabla 9).

cuadro 2. Factores de Probabilidad.

0 - 25.000	Bajo	se realiza un seguimiento
25.001-125.000	Medio	Realizar un control
Mayor 125.001	Alto	Establecer mejora y seguimiento

Fuente: El Autor

Tabla 9. Matriz de Identificación de Aspectos y Evaluación de Impacto PTAR Arbeláez.

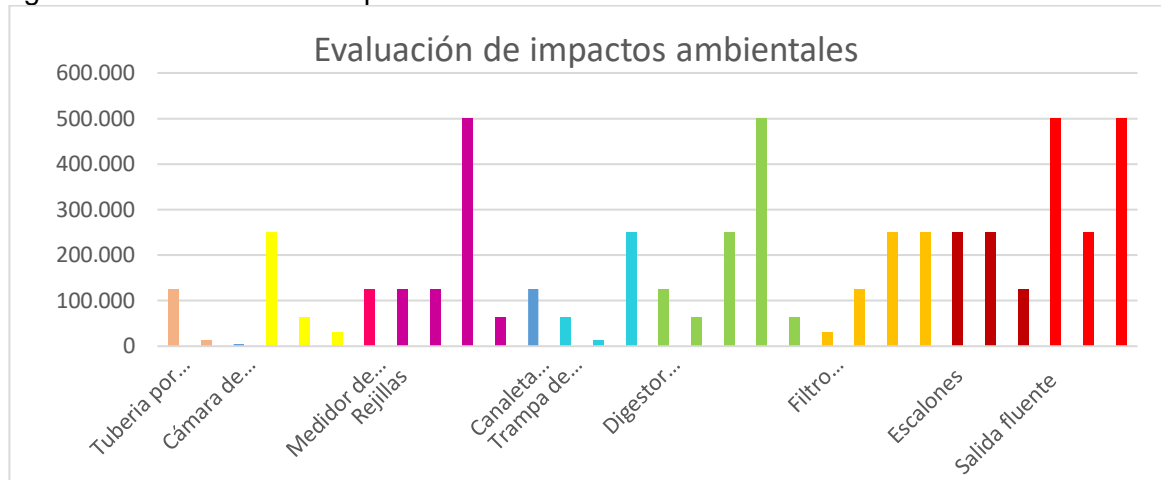
MATRIZ IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS													
Proceso	Zona	Actividades	Aspecto	Impacto	Probabilidad	Duración	Alcance	Recuperabilidad	Cantidad	Requisito legal	Total	Interpretación	
Ingreso	Ptar Arbeláez	Tubería por gravedad	vertimiento al subsuelo por infiltración	Contaminación del suelo	10	5	5	5	10	10	125.000	Medio	
				Daños locales en la vegetación	10	5	5	1	5	10	12.500	bajo	
Tratamiento preliminar	Ptar Arbeláez	Cámara de alivio	Presencia de olores	Deterioro calidad del aire	10	10	1	1	5	10	5.000	bajo	
				Riesgo problemas salubridad	10	10	5	5	10	10	250.000	Alto	
			Vertimiento al suelo por desbordamiento	Contaminación del suelo	5	5	5	5	10	10	62.500	medio	
				Daños locales en la vegetación	5	5	5	5	5	10	31.250	Medio	
	Ptar Arbeláez	Medidor de flujo	Solicitud personal para mano de obra	Generación de empleo	10	10	5	5	5	10	125.000	Medio	
	Ptar Arbeláez	Rejillas		Presencia de olores	Deterioro calidad del aire	10	10	5	5	5	10	125.000	Medio
				Solicitud personal para mano de obra	Generación de empleo	10	10	5	5	5	10	125.000	Medio
				Residuos convencionales no aprovechable	Aumento de los residuos	10	10	10	5	10	10	500.000	Alto
				Uso de agua para generación y procesos	presión por consumo sobre el recurso agua	10	5	5	5	5	10	62.500	Medio
	Ptar Arbeláez	Canaleta Parshall		Presencia de olores	Deterioro calidad del aire	10	10	5	5	5	10	125.000	Medio
	Ptar Arbeláez	Trampa de grasas		Residuos convencionales	Aumento de los residuos	10	5	5	5	5	10	62.500	bajo
					residuos no aprovechables	10	5	5	5	1	10	12.500	bajo
Presencia de olores				Deterioro calidad del aire	10	10	5	5	10	10	250.000	Alto	

Tabla 9. Matriz de Identificación de Aspectos y Evaluación de Impacto PTAR Arbeláez. (continuación)

Proceso	Zona	Actividades	Aspecto	Impacto	Probabilidad	Duración	Alcance	Recuperabilidad	Cantidad	Requisito legal asociado	Total	Interpretación
Tratamiento primario	Ptar Arbeláez	Digestor anaerobio	vertimiento a cuerpo de agua superficial	Mejoramiento en la calidad del agua	5	10	10	5	5	10	125.000	Medio
			Residuos convencionales	Aumento de los residuos aprovechables	10	5	5	5	5	10	62.500	Medio
			Emisiones gases a la atmosfera	Deterioro calidad del aire	10	10	5	5	10	10	250.000	Alto
			Presencia de olores	Riesgo problemas salubridad	10	10	10	10	5	10	500.000	Alto
			Desplazamientos	Conflictos con la comunidad	10	5	5	5	5	10	62.500	Medio
	Ptar Arbeláez	Filtro precolador	vertimiento a cuerpo de agua superficial	Mejoramiento en la calidad del agua	5	5	5	5	5	10	31.250	Medio
				Deficiencias saneamiento básico	10	10	5	5	5	10	125.000	Medio
			Presencia de olores	Aparición mosquitos y aves carroña	10	10	5	5	10	10	250.000	Alto
				Riesgo problemas salubridad	10	10	5	5	10	10	250.000	Alto
Descarga	Ptar Arbeláez	Escalones	vertimiento a cuerpo de agua superficial	Deficiencias saneamiento básico	10	10	5	5	10	10	250.000	Alto
			Presencia de olores	Riesgo problemas salubridad	10	10	5	5	10	10	250.000	Alto
				Conflictos con la comunidad	10	5	5	5	10	10	125.000	Medio
	Ptar Arbeláez	Salida fuente	Presencia de olores	Conflictos con la comunidad	10	10	10	5	10	10	500.000	Alto
			vertimiento a cuerpo de agua superficial	Riesgo problemas salubridad	10	5	10	5	10	10	250.000	Alto
				Reducción en la disponibilidad de aguas superficiales	10	10	10	5	10	10	500.000	Alto

Fuente: El Autor

figura 21. Evaluación de Impactos Ambientales.



Fuente: El Autor

Se puede evidenciar los procesos de la planta con sus actividades correspondientes; se analizará los resultados de la matriz en medida de importancia que se encontraron (véase tabla 9).

En el ingreso a la planta en el cual se encuentra la actividad de el paso del agua residual por gravedad en la tubería se identifica el aspecto del vertimiento al subsuelo por infiltración del agua residual y uno de los impactos que genera este son los daños locales en la vegetación el cual tiene un valor de 25.000 en calificación lo que se encuentra muy consecuente a la matriz anterior analizada donde el valor significativo los impactos representaban tan solo el 6% del total, seguido se encuentra en el tratamiento preliminar del agua la cámara de alivio la primera actividad de dicho proceso en el aspecto de la presencia de olores por esta actividad se encuentra el deterioro en la calidad del aire esto se da porque es un sistema abierto el cual carece de controles, el olor en esta actividad se da por la entrada del agua cruda sin ningún tipo de tratamiento al momento pero este solo se percibe en el área de la actividad, no logra expandirse a los alrededores de la planta a este se le identifica un valor de 5.000 que en la tabla de calificación es un valor bajo, que también es consecuente con el valor de la tabla anterior; en el mismo proceso de tratamiento preliminar se encuentra una actividad llamada trampa de grasas se identifica un aspecto que es la generación de residuos convencionales, por el mecanismo en la rejilla que atrapa las grasas y elemento livianos del agua quedan en la malla de la parte superior de las cámaras en las que entra el agua, es ahí donde se generan en baja cantidad residuos convencionales de grasas que deben ser retiradas cada cierto tiempo para que la actividad no pierda el efecto de retirar las grasas presentes en el agua y se identifican impactos de aumento de residuos con un valor de 12.500 y residuos no aprovechables con un valor igual de 12.500 este se presenta con un valor bajo dado a la baja producción de este residuo (véase figura 21).

Se continua a realizar el análisis de los impactos con relevancia media como el ingreso del agua residual por medio de la tubería por gravedad se menciona nuevamente el vertimiento al subsuelo por infiltración de agua esto debió a fisuras en el la tubería que generan una contaminación al suelo haciéndolo perder ciertas propiedades a este impacto se le da una valoración de 125.000 que corresponde a un impacto medio en general este proceso de ingreso del agua a la planta termina con este aspecto e impacto siendo de mediana relevancia, esto gracias a que la probabilidad de que suceda es alta esto se puede mitigar y eliminar con ciertos controles y actividades realizadas por el hombre que permitan recuperar las propiedades del suelo y el subsuelo afectado, seguido encontramos nuevamente en el tratamiento preliminar la actividad de cámara de alivio donde se menciona el aspecto del vertimiento a suelo por desbordamiento, que tiene dos impactos negativos los cuales son contaminación al suelo y daños locales en la vegetación este con un grado medio, este aspecto se puede presentar por la falta de una compuerta que regule la entrada del agua a la cámara de alivio, entonces, al regular la entrada del agua esta puede desbordarse y generar ciertos daños al suelo por erosión hídrica al paso del agua sobre el subsuelo, estos son impactos que se pueden mitigar con controles y acciones de mejora.

Se encuentra un aspecto positivo para el medidor de flujo una actividad perteneciente al tratamiento preliminar el cual es la solicitud de personal para mano de obra con un impacto de generación de empleo, este se considera como impacto positivo medio, dado que, si es necesario personal para esta actividad no se requeriría más de dos personas por eso este impacto se da con un valor medio, en la actividad de rejillas en el mismo proceso preliminar se encuentran dos impactos negativos como es la presencia de olores que generan un deterioro en la calidad del aire de la rinconada y el uso del agua potable para la actividad con un impacto de presión por el consumo del recurso estos dos tiene una calificación media con valores de 125.000 casi alta y 62.500 respectivamente por que es una actividad que se puede recuperar teniendo en cuenta que la presencia de olor por este proceso tiene un alcance en la zona de la rinconada y podría mitigarse tratando de cambiar el sistema o haciendo un control sobre el olor y con respecto al consumo del recurso hídrico para limpieza de las rejillas esto no es constante por eso se califica en este rango, en la actividad también se identifica un impacto positivo medio relacionado con la generación de empleo para el control y mantenimiento de la actividad, como el hecho no es constante no requiere de la mano de obra permanente.

Para el mismo proceso se encuentra la canaleta de parshall que, aunque esta no hace ningún efecto sobre el tratamiento del agua, esta actividad sirve para la medición del caudal, sin embargo, si se identifica un aspecto negativo, como la presencia de olores que generan el deterioro de la calidad del aire por ser un sistema de medición abierto.

Pasando al tratamiento primario se evidencia el digestor anaerobio con dos impactos ambientales positivos como son el vertimiento a cuerpo de agua superficial con un impacto del mejoramiento de la calidad de agua este tiene un valor de 62.500

porque si es un impacto positivo, aquí la calidad del agua no es la esperada por la actividad, también se encuentra la producción de residuos convencionales como es el fango que se produce en esta actividad por la sedimentación, esto genera el aumento de los residuos aprovechables por que con este residuo se puede generar un subproducto, y se encuentra un aspecto negativo medio que son los desplazamientos con un impacto de conflicto con la comunidad por los problemas que se generan por algunos aspectos de mayor magnitud que se mencionaran más adelante, con una valoración de 62.500 encontrándose en este rango porque es un aspecto que se puede mejorar y mitigar por medio de acciones que se implementen en la planta.

Una segunda actividad del tratamiento primario es el filtro percolador en donde se encuentra el aspecto ambiental de vertimiento a cuerpo superficial del agua, donde particularmente se encuentra un impacto positivo medio que es el mejoramiento de la calidad del agua presentando el mismo comportamiento del digestor anaerobio, no cumple con la calidad de agua esperada y un impacto negativo medio que es la deficiencia del saneamiento básico del agua residual muy ligado al impacto anterior porque aunque si ayuda en un porcentaje muy bajo a la calidad del agua no cumple con la calidad esperada del saneamiento básico y por último en la calificación de impactos medio se identifica en la salida del efluente se presenta la actividad de los escalones en el cual se evidencia el aspecto de la presencia de olores y como impacto negativo conflicto con la comunidad por esta generación de olores.

Por último se analizara los impactos negativos o positivos más altos que se presentan en la matriz siendo las de mayor importancia sin hacer un control sobre los otros ya mencionados, encontramos en el proceso de tratamiento preliminar en la cámara de alivio, es este el aspecto que le da peso a la actividad en la matriz anteriormente analizada dado que los otros dos impactos son bajos este aspecto alto es en la presencia de olores los riesgos en la salubridad de la comunidad dado que por este hecho se producen bastante producción de mosquitos que puedan transmitir enfermedades y aves de carroña presentes en todas las actividades que presentan este mismo factor de salud pública, se sigue con el proceso de tratamiento preliminar encontrando que la actividad de la rejillas siendo estas las retienen aquellos residuos más grandes que se encuentran en el agua donde se presenta un aspecto negativo de producción de residuos convencionales no aprovechables, esto genera el aumento de los residuos y tiene una afectación regional, estos residuos sólidos que aquí se captan son bastantes por eso logran darle una calificación a este impacto de 500.000. En la actividad de trampa de grasas se vuelve a presentar el aspecto de presencia de olores con un impacto en el deterioro del aire, pero esta vez es mucho más representativo el impacto.

En el tratamiento primario encontramos nuevamente el digestor anaerobio con emisiones de gases a la atmosfera esto produce deterioro a la calidad del aire por que se produce el biogás al cuál no se le da ningún tratamiento, ni aprovechamiento y por este motivo se presenta el último aspecto de la actividad de presencia de olores que genera riesgos a la salud pública porque este biogás que es liberado sin

ningún control al aire generando problemas en la comunidad, la última actividad en este proceso de tratamiento primario es del filtro precolador en el cual se presentan malos olores produciendo mosquitos y aves de carroña generando problemas en la salud pública.

Por último encontramos el proceso de descarga en el cual la actividad de escalones se compone de dos aspectos negativos altos los cuales son el vertimiento a cuerpo superficial de agua teniendo deficiencias en el saneamiento básico y nuevamente se presentan malos olores a lo largo de esta actividad generando problemas de salubridad con un valor alto de calificación de 250.000, seguida de esta actividad se encuentra la salida del Efluente haciendo un vertimiento a las aguas superficiales con impactos como riesgos en problemas de salubridad y reducción en la disponibilidad de aguas superficiales con una valoración de 500.000 este proceso de descarga también es consecuente con la matriz anterior teniendo la mayores actividades en impactos ambientales.

De esta matriz de aspectos e impactos ambientales se puede inferir que unos de los impactos que son más concurrentes es la salud pública por la generación de olores, aves de carroña y mosquitos que se presentan en la zona, otro impacto que es de destacar es la deficiencia en el saneamiento de agua y todos los problemas que esto conlleva como que la comunidad empiece a desplazarse a otros sitios por los constante problemas que se presentan en la rinconada.

En la planta de tratamiento de Deer Island se pueden evidenciar varios procesos semejantes, aunque no se pueden comparar directamente por varios factores como lo son, la capacidad de cobertura, tecnología implementada y leyes.

La planta de tratamiento de Deer Island cuenta con un tratamiento primario y tratamiento secundario, después de esto se realiza el tratamiento en los digestores de lodos los cuales manejan distintas temperaturas y se reutiliza el Biogás que produce el mismo tratamiento.

Luego de este riguroso tratamiento se encuentra la desinfección del agua en el cual se utiliza hipoclorito de sodio y se toman periódicamente muestras para lograr determinar que el proceso de tratamiento de aguas cumple con los requisitos de calidad impuestos por las leyes federales.

En el control de olores de la planta cuenta con el control permanente de este factor, gracias a depuradores de aire, aunque, cerca de la planta no se encuentran viviendas sino hasta unos 2 kilómetros, gracias a esto no se generan afectaciones de ruido ni olores que afecten a la comunidad.

4 ESTRUCTURAR UNA MEJORA PARA LA PTAR DE ARBELÁEZ CON BASE EN EL SISTEMA DE LA PLANTA DE DEER ISLAND WASTEWATER TREATMENT PLANT.

El siguiente acápite desarrolla la propuesta de mejora para la PTAR de Arbeláez con base en el sistema de la planta de Deer Island WasteWater Treatment Plant. Para la propuesta de mejora a la PTAR de Arbeláez se requiere de 3 actividades fundamentales que permitan mejorar la calidad del agua y mitigar aquellos impactos negativos que se identificaron y cuantificaron en el segundo acápite del proyecto.

En la visita técnica internacional a la ciudad de Boston (MA), se realiza un trabajo de observación a los procesos que tiene la planta Deer Island WasteWater Treatment Plant, el paso que tiene el agua residual desde la llegada a la planta hasta el momento final del tratamiento y el subproducto (fertilizante) que se obtiene del proceso de descontaminación del agua, a partir de la información y del proceso exitoso que se pudo evidencia en la planta de Deer con una descontaminación del agua de un 90% se toma como referencia el sistema de tratamiento empleado para la mejora que se propone para la PTAR del municipio de Arbeláez.

4.1 PLAN DE MEJORA

4.1.1 Ingreso. En PTAR de Arbeláez el agua residual ingresa por una tubería de 8" y 10" de Gress simple; esta tubería es obsoleta dadas las características físicas del material el cual es más susceptible de rupturas; así como, por su longitud reducida requiere de más uniones provocando infiltraciones al subsuelo es por esto por lo que no se recomienda para el transporte de agua residual.

La tubería adecuada para el ingreso del agua residual es la tubería de PVC, por ser un material resistente a la corrosión externa e interna, tiene la tasa más baja de ruptura, tiene una alta resistencia química; el agua en este tipo de tubería fluye libremente previniendo la acumulación en el sistema de transporte del agua residual.

Internamente sus paredes lisas permiten un alto flujo mejorando el rendimiento a largo plazo. Por esta misma razón, no requiere de bombeo y las uniones evitan posibles fugas sin importar las condiciones climáticas externas.

Por el material su vida útil se calcula entre 50 y 100 años e incluso si la tubería sufre una flexión, o es sometida a una gran carga de peso y a las raíces arbórea por el hecho de que no requiere, por su longitud, de tantas uniones; mientras que el tubo de Gress es menos resistente a las raíces arbóreas ya que esta tubería permite intrusiones de sus raíces en las uniones.

En la planta Deer island la tubería utilizada dentro de la planta es combinada entre la cual se encuentra tubería PVC y tubería inoxidable metálica, dado lo anterior por flexibilidad, economía y poco flujo de agua se toma como referencia la tubería de PVC.

4.1.2 Tratamiento Preliminar. En el tratamiento preliminar se desarrollan diferentes actividades que van desde el primer momento en que ingresa por los tubos el agua residual a la cámara de alivio, que requiere de un medidor de alivio, de un sistema de rejillas y de una trampa de grasas y sólidos flotantes.

Cámara de alivio. La cámara de alivio es un tanque donde se depositan las aguas transportadas por las tuberías; la cámara es un tanque cuya función es aliviar los procesos de la planta reteniendo el agua con el fin de que no saturar los tratamientos que se llevan a cabo en la planta propiamente a través de una compuerta que bloquea la entrada del agua a la planta.

En la PTAR Arbeláez, se observa que la cámara de alivio es pequeña de aproximadamente un metro por un metro y dos metros de profundidad, no cuenta con la compuerta para el bloqueo del agua residual, afectando el control en la operación. Para evitar desbordamientos o saturación en los procesos de la planta afectando el tratamiento o factores ambientales se propone ampliar el tanque en el caso que crezca la demanda de agua.

- **Medidor de flujo.** En el tratamiento preliminar se encuentra el medidor de flujo mecánico de bajo costo, cuya función es la medir los mililitros de agua por segundo que salen de la cámara de alivio generando una pérdida de la presión de agua. Esta actividad es muy importante para que en cada actividad se trabaje con una cantidad de agua determinada y así garantizar un óptimo proceso.

La propuesta para el medidor de flujo es la contratación de personal capacitado para que el control y la operación del medidor; así como, del mantenimiento preventivo cada catorce días para evitar posibles obstrucciones que puedan afectar los siguientes procesos.

- **Sistema de rejillas.** El sistema de rejillas tiene la función de permitir el paso del agua por medio de unas rejillas que retienen los sólidos gruesos que estén presentes en el caudal del agua residual. En esta actividad no se da una pérdida significativa de agua y favorece su flujo hacia los demás procesos.

Se propone en el sistema de rejillas para la PTAR de Arbeláez, que actualmente se encuentra al aire libre generando presencia de malos olores instalar una compuerta sobre la rejilla de manera que aislé los olores que se producen.

- **Trampa de grasas.** La trampa de grasas tiene la función, en el proceso preliminar, de retener las grasas y sólidos que flotan en el agua de forma tal, que al separar las grasas y sólidos del agua, con el fin de que el agua cada vez llegue más descontaminada al siguiente proceso.

En este aspecto se propone, que la trampa de grasas tenga un mantenimiento diario, retirando las grasas y sólidos de la trampa para que cumpla de manera adecuada la función de retención.

4.1.3 Tratamiento Primario. El tratamiento primario, se compone de diferentes actividades que, en el proceso, cada vez alcanzar mayores niveles de descontaminación, a saber: el digestor anaerobio, filtro precolador

Es a partir del tratamiento primario, se irán vinculando elementos que se desarrollan en la planta de tratamiento de Deer Island, tales como la producción de biogás, que se obtiene de la descomposición de la materia orgánica,

- **Digestor Anaerobio.** El digestor anaerobio es un proceso biológico, que, por la carencia de oxígeno en un tanque, genera bacterias anaerobias, que son las encargadas de descomponer la materia orgánica y producir biogás. En este tanque se sedimentan el fango y el agua es drenada a los siguientes procesos.

En este aspecto, se propone la PTAR de Arbeláez, la cual cuenta dos tanques anaerobios realizar un mantenimiento periódico y pruebas regulares para comprobar el óptimo funcionamiento de los digestores ya que ella depende que mejore la calidad del agua. Por otra parte, se propone, reutilizar el biogás, producto de la descomposición orgánica, para la producción de energía eléctrica; gracias a sus compuestos de dióxido de carbono y metano producen un biocombustible, como se realiza en la planta de Deer Island (Boston).

- **Filtro precolador.** El filtro precolador es un tratamiento de tipo aerobio cuya función es la generación de bacteria aerobias generadas por el consumo de oxígeno y descomponen la materia orgánica; este filtro está compuesto por material plástico que es el que permite la degradación de la materia orgánica produciendo dióxido de carbono generando lodos o biomásas. En la planta de Deer Island, estos lodos se reutilizan para la producción de fertilizantes por el alto contenido de nutrientes para abono de suelos.

La propuesta para la PTAR de Arbeláez es la reutilización de estos lodos como una forma de mitigar la producción de residuos que se llevan a los rellenos sanitarios. El proceso para la creación de fertilizantes a partir de los lodos es la adición al lodo de óxido de calcio, cal, para estabilizar el lodo, reducir olores y patógenos que en ella se encuentra presentes

4.1.4 Tratamiento Secundario. Este tratamiento no existe en la PTAR de Arbeláez, por lo que se propone su implementación ya que esta mejora la calidad del agua en la descarga de la quebrada la Lejía, la cual desemboca en Rio negro que en la actualidad solo alcanza a limpiar el agua residual en un 50%, este tratamiento secundario está presente en la planta de tratamiento de Deer island es uno de los procesos que más ayudan a la mejora de la calidad del agua y a lograr el resultado que se espera para la mitigación de impactos ambientales.

El tratamiento secundario consta de las siguientes actividades: laguna de aireado y el tanque de desinfección.

- **Laguna de Aireado.** La laguna de aireado es un tratamiento biológico de tipo artificial que favorece la oxidación biológica de las aguas residuales domésticas, con el fin de estabilizar la materia orgánica por medio de algas y bacterias; este tratamiento es recomendado en comunidades pequeñas por su bajo costo en la

inversión, operación y mantenimiento. La laguna de aireado refuerza la limpieza del proceso que se desarrolló en el proceso primario aerobio y anaerobio, con el fin de mejorar aún más la calidad del agua.

La laguna de aireado debe tener de 3 a 7 metros de altura; en esta actividad se debe suministrar el oxígeno puro para pulir la eliminación de la materia orgánica; así como, aireación por medio de difusores dentro de la laguna que inyecta aire al fondo de esta. Además, requiere de un tanque de desinfección con hipoclorito de sodio y bisulfito de sodio; el primero, es un medio sencillo para desinfectar el agua de microbios, bacterias y virus que causan problemas de salubridad pública y el segundo, con el fin de que los niveles de cloro no amenacen la vida de seres acuáticos. Este proceso toma unos 30 minutos para eliminar o quemar todas las bacterias que puedan contener el agua.

4.1.5 Descarga. Escalones. El sistema escalonado, se supone que es un tratamiento aerobio que genera aireación por gravedad; sin embargo, en la PTAR de Arbeláez, la actividad no presenta las características del tratamiento escalonado lo que no permitiría una mejora en la calidad del agua; este proceso tiene la función de servir de paso del agua previamente tratada para llegar al punto descarga.

- Salida de Efluente. Respecto a la salida de efluente se propone tomar muestras periódicamente para ser analizadas en laboratorio y así, tener un mejor y mayor control del tratamiento; también, como una forma de garantizar que el agua residual no afecta el medio ambiente ni contaminar la quebrada donde llega la descarga. Ahora bien, teniendo en cuenta que la zona donde se propone la mejora es agropecuaria, la calidad del agua, como resultado del proceso primario y secundario, será óptima para el riego de los cultivos, se reducirá la descarga a la quebrada la lejía luego se dará una recuperación sedará una significativa descontaminación en este efluente.

4.1.6 Olores. Unos de los mayores problemas detectados que tienen un impacto altamente negativo es la presencia de olor en la PTAR de Arbeláez, la salida del Efluente en la zona de la rinconada provoca problemas socioeconómicos y en la calidad del aire; la propuesta para mitigar este daño reparable, con fundamento en el sistema de Deer Island es el control de olores por medio de depuradores de aire o purificador de aire el cual elimina los elementos contaminantes presentes en el aire por medio de filtros que atrapan las partículas presentes en el ambiente, estos depuradores de aire requieren energía eléctrica. También, se propone la implementación de un absorbedor de carbono activo el cual logra eliminar olores y compuestos orgánicos presentes en el medio para ser utilizados a lo largo de todos los procesos.

En la siguiente matriz se recoge la propuesta anteriormente descrita, en las columnas se registran los procesos desde el proceso de ingreso pasando por el proceso preliminar, el proceso primario, el secundario y la descarga con sus respectivas actividades; se cruzan con las filas en las se definen las actividades de

cada proceso con su respectiva propuesta para PTAR del municipio de Arbeláez (véase tabla 11), el cual está basado en el sistema de Deer Island dado que por leyes estatales de Massachussets el control de olores en la zona está regido y se debe cumplir con estándares mínimos en la calidad del aire, por lo cual se propone mecanismos de control que son efectivos en la isla de Deer

Tabla 10. Propuesta de Mejoramiento para PTAR Arbeláez.

Proceso	Actividad	Propuesta
Ingreso	Ingreso por tubería	Hacer un cambio de la tubería que se encuentra fisurada en arcilla, por una tubería en PVC siendo está más apropiada y resistente para el flujo del agua, tiene una escasa pérdida del agua residual por la lisura que con la que cuenta en el interior, no se presentan depósitos de agua dentro de ella, este material no se oxida ni sufre corrosión y es un material que contribuye a la sostenibilidad ya que es un material reciclable.
Tratamiento preliminar	Cámara de alivio	La cámara de alivio o tanque de alivio se deberá ampliar para aliviar los demás procesos o retener el agua para posibles mantenimientos de los tanques, rejillas y demás actividades de la planta. También este tanque debe contar con una compuerta que permita la operación y evite desbordamientos. Otra propuesta a considerar es construir un tanque de alivio adicional que ayude al almacenamiento de agua o funcione para alternar los mantenimientos.
	Medidor de flujo	Esta actividad es muy importante para la planta de tratamiento debido a que cada actividad siguiente en la planta requiere una cantidad determinada de agua para el óptimo funcionamiento este medido es el que permite la cantidad de agua de ingreso al tratamiento, por lo cual se requiere personal capacitado que pueda operar este medidor y mantenga este siempre calibrado para la operación.
	Sistema de rejillas	Este sistema de rejillas actualmente es un sistema al aire libre el cual no requiere aireación constante por lo tanto y por la generación de olores puede ser un sistema el cual tenga una compuerta l cual permita mitigar el impacto de olor en la zona, así mismo también necesita ser más amplia para que no se represe por la acumulación de sólidos. También esta actividad requiere de un constante mantenimiento para su correcto funcionamiento.
	Trampa de grasas	Esta trampa de grasas cuenta con una rejilla en acero inoxidable la cual requiere de un constante mantenimiento para que la retención de grasas siempre tenga el mismo efecto y para la mitigación de malos olores. En este proceso se debe tener suma atención para generar siempre el mismo efecto de que las grasas floten, es decir, no puede ser afectado por movimientos repentino de otras, actividades, cambios de flujo dado que esto generara anomalías en el movimiento del agua

Fuente: El Autor

Tabla 11. Propuesta de Mejoramiento para PTAR Arbeláez. (continuación)

Proceso	Actividad	Propuesta
Tratamiento primario	Digestor Aerobio	Se debe hacer un mantenimiento periódico de limpieza y pruebas de funcionamiento de óptimo funcionamiento de los digestores y adicionalmente se debe quemar el Biogás que se produce en el digestor para evitar la producción de olores en la zona de la rinconada.
	Filtro precolador	Este filtro requiere una adecuación de buena ventilación para el proceso, se debe garantizar la recirculación de los materiales plásticos que se encuentran en la actividad, haciendo un mantenimiento de limpieza a los materiales que allí se contienen
Tratamiento secundario	Laguna de aireado	Esta laguna de aireado es una actividad que se requiere en este proceso, por eso se hace necesario incluir esta actividad, este proceso tiene una demanda de oxígeno por lo que se es necesario inyectar una cantidad de oxígeno puro el cual mejoran la calidad del agua consumiendo los restos de la materia orgánica presente en las aguas residuales
	Desinfección	se requiere un tanque donde pasen las aguas tratadas y se pueda incluir hipoclorito de sodio para la correcta desinfección de las aguas residuales.
Descarga	Escalones	Esta actividad no presenta datos de mejora en la calidad del agua, sin embargo, para no suprimir el proceso este puede servir de conducto para la disposición final
	Salida de Efluente	En esta salida de las aguas blancas ya tratadas se deben tomar muestras periódicas de agua mensuales que permitan determinar que la calidad del agua no esté impactando negativamente el medio ambiente y problemas con la comunidad.
Olores	Control de olores	La planta por las condiciones que presenta de viviendas a menos de 30 metros de cercanía requiere la implementación de depuradores de aire y filtros de carbonos activos el cual filtra sustancias nocivas y eliminan todo tipo de olor. Estos deben estar situados en lugares estratégicos de la planta donde se cubran todos los procesos de la planta y se logre mitigar el mal olor presentando en la zona

Fuente: El Autor

4.7 PLAN DE MANTENIMIENTO

Se propone hacer un plan de mantenimiento mensual de las actividades, para evitar la producción de malos olores, aparición de vectores indeseados y aves de carroña y mosquitos, también el mantenimiento de las actividades para evitar la sobreproducción o estancamientos por sólidos que impidan la correcta operación y óptimo funcionamiento de cada una de las actividades.

Se genera la necesidad de un plan de mantenimiento debido a que uno de los problemas identificados en la planta es la falta de mantenimiento en equipos y actividades que permiten la descontaminación del agua, es por esto que el agua no alcanza un nivel considerable de descontaminación y las actividades empiezan a verse represadas y con fallas.

El plan de mejora busca dar atención a cada una de las actividades de la planta de tratamiento para el correcto funcionamiento, así como se veía presente en el sistema de Deer Island donde se tenía un cronograma de las actividades para mantenimientos preventivos y correctivos si eran el caso, esto permite mitigar los riesgos para el impacto en la planta no sea severo.

Tabla 12. Propuesta Presupuestal para el Mantenimiento PTAR Arbeláez.

		Sueldo básico	salario/día	salario/hora	comisiones	sueldo total					
		828.116	27.603,87	3.450,48	162.172,72	990.288,72					
Mantenimiento preventivo y correctivo											
Actividad	Especificación	Mantenimiento	Frecuencia de mantenimiento (días)	Duración intervención o diagnóstico (h)	recursos	Presupuesto (\$/mensual)	Gasto mano obra (\$)	Gasto repuesto (\$)	gasto insumos (\$)	Gasto total	Indicador presupuesto
Ingreso por tubería	Revisar tubería de PVC que no presente fisuras en todo el recorrido, si presenta fisura cambiar la tubería	Mto 4	30	2	Mano obra	2.100.000	6.900,97	1.978.792	30.000	2.015.692,97	4,18%
Cámara de alivio	Hacer limpieza de tanque y válvulas de las cámaras de alivio, si se presenta problemas con la compuerta o válvula se deben cambiar	Mto 4	30	3	Mano obra	2.000.000	10.351,45	1.573.990	30.000	1.614.341,45	23,89%
Medidor de flujo	Hacer una limpieza al medidor para evitar taponamientos, y calibración del medidor para una óptima operación	Mto 3	14	2	Mano obra	30.000	6.900,97	0	20.000	26.900,97	11,52%
Sistema de rejillas	Hacer limpieza a las rejillas y quitar los sólidos que se retienen permitiendo el paso del agua y problemas de la actividad.	Mto 1	1	2	Mano obra	30.000	6.900,97	0	20.000	26.900,97	11,52%

Tabla 13. Propuesta Presupuestal para el Mantenimiento PTAR Arbeláez. (continuación)

Mantenimiento preventivo y correctivo											
Actividad	Especificación	Mantenimiento	Frecuencia de mantenimiento (días)	Duración intervención o diagnóstico (h)	recursos	Presupuesto (\$/mensual)	Gasto mano obra (\$)	Gasto repuesto (\$)	gasto insumos (\$)	Gasto total	Indicador presupuesto
Trampa de grasas	Hacer limpieza de la malla para evitar la acumulación de grasas y así manteniendo la retención de estas	Mto 1	1	1	Mano obra	40.000	3.450,48	0	30.000	33.450,48	19,58%
Digestor Aerobio	Hacer una limpieza y remoción de los lodos del digestor 1 y así en el próximo mantenimiento el digestor 2. Revisión de las válvulas, tuberías y conductos y si es necesario hacer el cambio.	Mto 3	14	8	Mano obra	650.000	27.603,87	521.735	80.000	629.338,87	3,28%
Filtro precolador	Hacer limpieza del filtro y paredes así mismo como el material plástico del filtro	Mto 3	14	7	Mano obra	150.000	24.153,38	0	100.000	124.153,38	20,82%
Laguna de aireado	Hacer limpieza de la laguna par que el proceso sea optimo	Mto 4	30	5	Mano obra	150.000	17.252,42	0	80.000	97.252,42	54,24%
Desinfección	Hacer limpieza al tanque para remover material orgánico que pueda posarse en el tanque de desinfección	Mto 4	30	3	Mano obra	100.000	10.351,45	0	60.000	70.351,45	42,14%
Escalones	Hacer limpieza de los escalones y desinfección para remover material que afecte el agua ya tratada, siendo un canal para la descarga del agua	Mto 2	7	5	Mano obra	150.000	17.252,42	0	100.000	117.252,42	27,93%

Tabla 13. Propuesta Presupuestal para el Mantenimiento PTAR Arbeláez. (continuación)

Mantenimiento preventivo y correctivo											
Actividad	Especificación	Mantenimiento	Frecuencia de mantenimiento (días)	Duración intervención o diagnóstico (h)	recursos	Presupuesto (\$/mensual)	Gasto mano obra (\$)	Gasto repuesto (\$)	gasto insumos (\$)	Gasto total	Indicador presupuesto
Salida de Efluente	Hacer limpieza al canal de salida por acumulación de materiales, residuos o vegetación.	Mto 4	7	4	Mano obra	150.000	13.801,93	0	100.000	113.801,93	31,81%
Control de olores	Hacer revisión de los filtros y hacer cambio por vida útil	Mto 2	7	5	Mano obra, electricidad	2.200.000	17.252,42	1.500.000	550.000	2.067.252,42	6,42%
Total, presupuesto mantenimiento							\$ 7.750.000				
Total, Presupuesto rutina de mantenimiento, control y operación							\$9.568.405				

Fuente: El Autor

Esta matriz propone un plan de mantenimiento mensual preventivo y correctivo para cada una de las actividades de la planta, se presupuestan dos operarios calificados y capacitados para el mantenimiento y control de las actividades, los cuales devengarán un SMLV de básico (\$828.116 COP) y por cada hora de mantenimiento que se realice se tomara como una comisión extra sumada al sueldo básico de cada empleado, (véase tabla 13).

El mantenimiento se realiza por cada una de las actividades, iniciando por el ingreso del agua residual por tubería de PVC, donde se debe revisar que no presente fisuras, por medio de la medición de caudal y visualmente se revise la tubería para corroborarlo, este mantenimiento preventivo se debe realizar mensual, para esta actividad se tiene un presupuesto de \$2'100.000 que incluye la mano de obra del operario el cual dispondrá de dos horas para esta intervención, el valor de la tubería y conectores de PVC requerido para el mantenimiento correctivo, gasto de los insumos, en este caso se debe contar con el presupuesto mensual del valor del repuesto de la tubería porque aunque mensualmente no se va a presentar el mantenimiento correctivo si se debe considerar este valor para que en el momento que se presente se tenga disponibilidad del presupuesto.

Para la cámara de alivio se debe hacer un mantenimiento preventivo de limpieza al tanque para evitar la presencia de malos olores, también si se presenta el mantenimiento correctivo se debe hacer cambio de la compuerta y válvula, este mantenimiento debe realizarse mensual con una intervención de tres horas, se debe tener en cuenta un presupuesto mensual de \$2'000.000 esto para la intervención del mantenimiento y repuesto si se requiere el cambio.

A la actividad del medidor de flujo se le debe realizar un mantenimiento preventivo cada 14 días esto para evitar la acumulación de sólidos que puedan obstruir el medidor para el cual se devengan dos horas del técnico para realizar la tarea por lo cual se deben disponer de \$30.000 pesos de presupuesto incluida la mano de obra e insumos que se requieren. El sistema de rejillas requiere un mantenimiento diario primordial para el correcto funcionamiento de esta y las siguientes actividades por la sobreproducción de sólidos que contiene el agua residual por lo tanto esta requiere una intervención de dos horas del técnico correspondiente para la limpieza de las rejillas por lo cual se debe tener un presupuesto mensual de \$30.000 pesos para la mano de obra que se requiere y los insumos.

La trampa de grasas requiere un mantenimiento diario de limpieza a la malla que hace la captura de las grasas que se recoge en esta actividad es muy importante este mantenimiento preventivo para la óptima operación de la trampa dado que esta debe encontrarse limpia para siempre tener el mismo efecto, para este mantenimiento se debe tener un presupuesto de \$40.000 diario para la intervención de la actividad.

Para el tratamiento primario se encuentra el digestor anaerobio el cual debe tener un mantenimiento cada 14 días con una intervención de 8 horas en el cual se hará una limpieza a el fango que se produce, funcionamiento de válvulas y tuberías para

este mantenimiento se debe contar con un presupuesto de \$650.000 pesos. en el mismo proceso se encuentra el filtro precolador al el cual se le debe hacer una limpieza de filtros y paredes, se debe realizar cada 14 días y disponer de un presupuesto de \$150.000 para el mantenimiento.

El proceso propuesto para la PTAR de Arbeláez es el secundario en el cual se encuentra la laguna de aireado, que requiere un mantenimiento preventivo mensual de limpieza de la laguna eliminando vectores que puedan formarse y puedan alterar el tratamiento para este se requiere una intervención de 5 horas y se debe contar con un presupuesto de \$150.000 pesos. Para el tanque de desinfección es muy importante realizar una limpieza de este mensualmente para remover bacterias virus, que puedan estar presentes en el tanque con una duración de intervención de 3 horas para el cual se debe disponer de un presupuesto de \$100.000 pesos.

Como último proceso se encuentra la descarga del efluente por donde el agua ya tratada pasa por los escalones los cuales requieren de una limpieza cada 7 días eliminando material indeseable y que pueda contaminar nuevamente el agua, esta intervención tiene una duración de 5 horas y se debe contar con un presupuesto de \$150.000; para la salida del efluente se debe hacer una limpieza al canal de descarga para remover los sólidos o residuos que estén presente cada 7 días con una intervención total de 4 horas para que el agua ya tratada no sufra ningún tipo de alteración considerando un presupuesto de \$150.000.

Por último, para el control de olores se debe hacer una revisión a los filtros y en dado caso un cambio por vida útil cada 7 días considerando el valor de repuestos se debe contar con un presupuesto de \$2'200.000 para la intervención (véase tabla 16).

Tabla 13. Programación de Mantenimiento.

Mantenimiento	Mto 1	Mto 2	Mto 3	Mto 4		
Frecuencia/día	diario (1 día)	semanal (7 días)	quincenal (15 días)	mensual (30 días)		
1	2	3	4	5	6	7
Sistema rejillas, trampa de grasas	Sistema rejillas, trampa de grasas	Sistema rejillas, trampa de grasas	Sistema rejillas, trampa de grasas	Sistema rejillas, trampa de grasas	Sistema rejillas, trampa de grasas	Sistema rejillas y trampa de grasas
Ingreso por tubería, cámara de alivio, laguna de aireado y desinfección						Escalones, control de olores y salida de Efluente
						Medidor de flujo, digestor anaerobio y filtro precolador
8	9	10	11	12	13	14
Sistema rejillas, trampa de grasas	Sistema rejillas, trampa de grasas	Sistema rejillas, trampa de grasas	Sistema rejillas, trampa de grasas	Sistema rejillas, trampa de grasas	Sistema rejillas, trampa de grasas	Sistema rejillas, trampa de grasas
						Escalones, control de olores y salida de Efluente
15	16	17	18	19	20	21
Sistema rejillas, trampa de grasas	Sistema rejillas, trampa de grasas	Sistema rejillas, trampa de grasas	Sistema rejillas, trampa de grasas	Sistema rejillas, trampa de grasas	Sistema rejillas, trampa de grasas	Sistema rejillas, trampa de grasas
						Escalones, control de olores y salida de Efluente
						Medidor de flujo, digestor anaerobio y filtro precolador
22	23	24	25	26	27	28
Sistema rejillas, trampa de grasas	Sistema rejillas, trampa de grasas	Sistema rejillas, trampa de grasas	Sistema rejillas, trampa de grasas	Sistema rejillas, trampa de grasas	Sistema rejillas, trampa de grasas	Sistema rejillas, trampa de grasas
						Escalones, control de olores y salida de Efluente
29	30					
Sistema rejillas, trampa de grasas	Sistema rejillas, trampa de grasas					

Fuente: El Autor

La programación de mantenimiento contiene 4 tipos, los cuales se definen en Mto 1 es un mantenimiento que se realiza diario por el transcurso del mes, Mto 2 es un mantenimiento que se realiza cada 7 días en el mes, Mto 3 es un mantenimiento ya sea preventivo o correctivo si se identifican fallas que se realiza cada 14 días del mes y por último un Mto 4 que se realiza cada 30 días del mes, es decir, mensual. Ya clara la clasificación de mantenimientos, se presenta el cronograma de mantenimientos preventivos y correctivos, para determinar los días en que se va a prestar mantenimientos en la planta para que no se afecte la operación y control de la PTAR, así se encuentra, que días se cruzan los diferentes mantenimientos para establecer las horas que se dedicaran a estos por día.

Diariamente se encuentra mantenimientos como la limpieza del sistema de rejillas y trampas de grasas que deben realizarse al terminar la jornada para que estas actividades no se saturan de sólidos que perturben el funcionamiento de estos, así se evidencia como cada 7 días se cruzan las actividades diarias anteriormente mencionadas como el sistema de rejillas y trampa de grasas con limpieza de escalones, salida de efluente y limpieza de filtros de control de olores o cambio por cumplimiento de vida útil. Ahora bien, se cruzan las actividades cada 14 días con las actividades diarias y semanales anteriormente mencionadas, es decir que los días 7 y 21 son los días que más actividades de mantenimiento se realizan.

Por último, al inicio de cada mes, día primero se deben realizar las actividades de mantenimiento a ingreso por tubería, cámara de alivio, laguna de aireación y tanque de desinfección los cuales también tienen una coincidencia con el mantenimiento diario que se debe realizar en la planta de sistema de rejillas y limpieza de trampa de grasas; en caso de que el mes tenga 31 días el mantenimiento se realizara este día final del mes y no el primer día del siguiente mes.

5 CONCLUSIONES

Los beneficios que aportan las plantas de tratamiento de agua residual, PTAR., en la mejora del medio ambiente son muy significativas, siempre que estas se ajusten a las normas que rigen estos procesos; es decir, su simple existencia no es garantía de cumplimiento para el fin, para las que fueron creadas. Si bien, son múltiples los beneficios que prestan a nivel local y regional las PTAR, su simple existencia no siempre garantiza el adecuado manejo de las aguas residuales tanto por la infraestructura como en el tratamiento químico a los que se someten; como es el caso de la PTAR del municipio de Arbeláez (Cundinamarca), la cual, no responde a los índices de calidad produciendo en la descarga del agua residual, contaminación en el afluente de la Quebrada la Lejía y por ende, problemas a los Arbelaeños.

Una experiencia que se puede resaltar, gracias a la visita técnica, es la PTAR de Deer Island en Boston (Massachusetts) y si bien, está se encuentra funcionando desde 1968 le tomó 27 años alcanzar una mayor y mejor efectividad en la capacidad del sistema; así como, implementar el tratamiento secundario para la eliminación más profunda de los sólidos y abrir un túnel que conectara los flujos del sistema al sur para hacer el vertimiento en las aguas profundas de la bahía de Massachusetts y no en las aguas cercanas del puerto.

Frente a la propuesta de mejora para la PTAR de Arbeláez, esta se puede recoger en cuatro sentidos: una respecto a la infraestructura de la planta; dos, respecto al tratamiento químico; tres, respecto al aprovechamiento de los lodos o biomásas resultantes del proceso primario y secundario, tal y como se hace en la planta de Deer Island. Cuatro, respecto a la operatividad y mantenimiento de esta.

En cuanto a la Infraestructura, la PTAR de Arbeláez requiere implementar el tratamiento secundario para alcanzar un mayor índice en la mejora de la calidad del agua, ya que a falta de éste es que no se alcanza sino el 50% del tratamiento del agua residual en PTAR de Arbeláez y la contaminación de la quebrada la Lejía. El tratamiento secundario, va a favorecer la oxidación biológica de las aguas residuales por medio de algas y bacterias; es en este proceso que se refuerza la limpieza del proceso primario aerobio y anaerobio. Para implementar el proceso de aireado, la PTAR de Arbeláez requiere de la construcción de una laguna de aireado artificial para lo que es necesario instalar difusores dentro de la laguna que inyecta aire al fondo de esta.

En cuanto al tratamiento químico, se requiere que, al tanque de aireado, además un tanque de desinfección donde se agregue para la desinfección hipoclorito de sodio y bisulfito de sodio; el primero, para desinfectar el agua de microbios y bacterias y el segundo, con el fin de que los niveles de cloro no amenacen la vida de seres acuáticos.

Respecto al aprovechamiento de los lodos, estos pueden ser aprovechados para la producción de biogás, que se obtiene de la descomposición de la materia orgánica

para la producción de energía eléctrica; otro material aprovechable es el que resulta del filtro precolador donde se producen lodos o biomasas. Estos lodos, pueden ser transformados en fertilizantes por su alto contenido de nutrientes como abono de suelos, teniendo en cuenta que la zona donde se propone la mejora es agropecuaria; además, las aguas por su óptimo índice de calidad servirá para el riego de los cultivos.

Respecto a la Operatividad y mantenimiento, para el medidor de flujo se requiere de la contratación de personal capacitado que controle la operación del medidor y realice mantenimiento preventivo, por lo menos cada catorce días para evitar posibles obstrucciones que puedan afectar los siguientes procesos. Así mismo, en lo que respecta a las trampas de grasas y al tanque de sedimentación los cuales requieren de un mantenimiento diario, con el fin de retirar las grasas y sólidos.

Además, se deben hacer pruebas regulares para comprobar el óptimo funcionamiento de los digestores ya que de ella depende que mejore la calidad del agua y la cual deberá ser medida en la salida de Efluente a través de análisis periódicos para un mayor control del tratamiento.

Otro elemento que puede implementarse en la operatividad de la PTAR de Arbeláez es frente al problema del mal olor; en la planta de Deer Island esta se mitiga por medio de depuradores de aire o purificador de aire los cuales eliminan los elementos contaminantes presentes en el aire por medio de filtros que atrapan las partículas presentes en el ambiente; así como, la implementación de un absorbedor de carbono activo que también cumple esta función.

6 RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Con el fin de que las investigaciones que se realicen en temas relacionados a las plantas de tratamiento de aguas residuales en el país, ya sea por los estudiantes de la facultad de ingeniería o de otras facultades de la Universidad Católica de Colombia, y tengan un verdadero impacto en las comunidades y contextos donde esta se lleven a cabo, se recomienda: primero, levantar un estado del arte de las investigaciones realizadas en éste tema con el objetivo de hacer un seguimiento y evaluar su impacto en las zona; segundo, proponer como requisito en las investigaciones adelantadas un análisis cuidadoso de los planes de desarrollo respecto a la destinación y ejecución del presupuesto que los gobiernos de turno proponen, ya sean para su diseño y ejecución, ésta sería una forma de hacer un control a los planes de desarrollo locales y regionales y promovería una cultura de veeduría frente a los recursos público y obligaría a los gobernantes a una rendición de cuentas a las comunidades en general.

Tercero, atendiendo al principio ético de la investigación, generar espacios interinstitucionales en donde se convoque diferentes sectores de la población, como juntas administradoras locales, actores de la acción comunal, representantes de los consejos municipales, locales y regionales y órganos de control, de manera que se ponga en su conocimiento los resultados de las investigaciones y puedan generar estrategias e iniciativas, no sólo del control de legalidad, sino presupuestos constitucional en un Estado Social de Derecho Social como el nuestro; además, donde se genere una verdadera participación ciudadana.

Cuarto, desplazar la investigación individual por la creación de grupos interdisciplinarios, pues una de las limitantes en un tipo de investigación como la que aquí se desarrolla, requiere de diferentes especialidades que permitan una mejor y mayor comprensión de fenómeno objeto del estudio; además, por que las diferentes perspectivas en un estudio que compromete diferentes áreas pueden producir un mayor alcance en los resultados de esta.

BIBLIOGRAFÍA

ALCALDIA DE ARBELAEZ. Plan municipal de desarrollo. Arbeláez: Municipio de Arbeláez, 2012. Pagina. 72.

ANEAS. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento [en línea]. México: Conagua [citado 3 abril, 2019]. Disponible en internet <URL: <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro46.pdf>>

ANGEL QUINTERO, Alejandro. Evaluación preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de la tebaida (Quindío). Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería Ambiental. Trabajo de Investigación, 2007, p.142.

ARIAS G. Fidias. Introducción a la metodología científica. Vol. 6° edición. Venezuela, Caracas: Episteme, 2012.

AULA VIRTUAL USAR. Estimación de caudales [en línea]. Aula virtual usar [citado 5 abril, 2019]. Disponible en internet <URL: http://aulavirtual.usal.es/aulavirtual/demos/simulacion/modulos/curso/uni_03/u3c5s5.htm>

BEDOYA PÉREZ, Juan Carlos. ARDILA ARIAS, Alba Nelly. REYES CALLE, Juliana. Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. En: Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Agosto- junio, 2014. Vol. 30, no. 3, p. 14

BEST, J.W. Como investigar en Educación. Madrid: Morata, 1974. p.110.

BLOGDIARIO. Productos Ptar Salitre [en línea]. Bogotá: Bogotá-eco-lógica [Citado 30 marzo, 2019]. Disponible en internet: <URL: <http://bogota-ecologica.blogspot.es/1474064627/productos-ptar-salitre/>>.

CABALLERO ACOSTA, José. Las avenidas torrenciales: Una amenaza potencial en el valle de aburra. En Revista Gestión y Ambiente. Octubre- diciembre, 2011. Vol.14, no.3, p.4.

CIENCIAS Y TECNOLOGIA. Ciencias Tratamiento de Agua Residuales en Colombia, planta San Fernando. [en línea]. Medellín: Ciencias y tecnología. [Citado 13 marzo, 2019]. Disponible en internet: <URL:<http://cienciasytecnologia->

biologo.blogspot.com/2017/11/p4-tratamiento-de-aguas-residuales-en.html>
Tomado de: aguas residuales en Colombia planta san Fernando>

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY. *The World Factbook: Geographic overview*. Estados Unidos : CIA , 2007.

CONCEJO MUNICIPAL DE ARBELÁEZ CUNDINAMARCA. Plan de desarrollo municipal 2008-2011 Arbelaez viable, compromiso de todos. {en línea}, 2008. {Fecha de consulta: 20 Marzo de 2019}. Disponible en <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pd%20-%20plan%20de%20desarrollo%20-%20arbelaez%20-%20cundinamarca%20-%202008%20-%202011.pdf>

CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 99. (22, diciembre 1993). Por el 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. Colombia: Congreso de Colombia, 1993. P.12

CONSEJO MUNICIPAL DE ARBELÁEZ. Plan de Desarrollo 2012-2015.» {en línea} 2012. {Fecha de consulta: 16 marzo de 2019}. Disponible en <http://www.concejo.arbelaez-cundinamarca.gov.co/apc-aa-files/31313436616661663331656561373633/PLAN_DE_DESARROLLO_2012.pdf>.

CONSTITUCIÓN POLITICA DE COLOMBIA. Artículo 79. (20 julio, 1991). Por el cual se decreta todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo Bogotá: La constitución, 1991, página 21.

CONSTITUCIÓN POLITICA DE COLOMBIA . Articulo 366. (20, Julio 1991). Por el cual se decreta El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado: Constitución Política de Colombia, 1991. página 136.

CLEAN WATER TECHNOLOGY. Trampa de Grasas [en línea]. Clean water Technology. [Citado 5 abril, 2019]. Disponible en internet <URL: http://www.alapre.org/Downloads/Congresos/Quinto_Congreso/CWT_Como_hacer_una_planta_de_tratamiento_de_aguas_PTAR_eficiente.pdf >

DR. CALDERÓN LABORATORIOS. Demanda bioquímica de oxígeno [en línea]. Calderón [citado 12 de marzo, 2019]. Disponible en internet: <URL:

http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Determinacion_de_DBO5.htm>.

DUNCAN MARA, D. Water Science and Technology. UK: Elsevier Science, 1996. p.361.

EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE BOGOTÁ. Guía conceptual sobre la ptar salitre [en línea]. Bogotá. Acueducto [citado 12 marzo, 2019]. Disponible en internet. <URL: https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/PTAR/guia_concPTARSalitre.pdf>

ESTRUCPLAN. Composición de las aguas residuales [en línea]. Estructplan [citado 12 marzo, 2019]. Disponible en internet: <URL: <https://estrucplan.com.ar/articulos/composicion-de-las-aguas-residuales/>>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. WasteWater. [en línea]. Canadá: FAO [Citado 12 marzo, 2019]. Disponible en internet: <URL: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/glossary/search.html?submitBtn=-1&d-49690-s=0&lang=en&d-49690-p=1&d-49690-o=2&termId=7412>>

GALEANO NIETO Lady. ROJAS IBARRA Bibian Daniela. Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de agua residual por Zanjón de oxidación para el casco urbano del municipio de Vélez Santander. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería Civil, Trabajo de Investigación, 2016, p.112.

GREENE, Paul. Managing digester feedstocks. En Byocycle. Noviembre, 2016. Vol. 57, no.10, p. 34. DARWIN, Culma. Saneamiento Basico. Bogotá, 2016.

GONZÁLEZ SILVA, Jean Pierre. GÓMEZ ORTEGA, Katherine. Optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas residuales del Municipio de Bojacá Cundinamarca. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería Civil. Trabajo de investigación, 2016, p. 119

GODOY LOZANO Jorge Alberto. Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019 “Juntos construimos el cambio”. Acuerdo CMA No.08. Arbeláez: Municipio de Arbeláez, 2016. P.68.

INGENIERIA DEL MANTENIMIENTO. La elaboración del plan de mantenimiento [en línea]. Ingeniería del mantenimiento [citado 16 mayo, 2019]. Disponible en internet <URL: <http://ingenieriadelmantenimiento.com/index.php/8-la-elaboracion-del-plan-de-mantenimiento>>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Sistema de Gestión Ambiental. ISO 14001. Bogotá: ICONTEC, 2015. p.2

LÓPEZ DEL PINO, Sergio Jesús. CALDERON MARTÍN, Sonia. Depuración de aguas residuales. 5.1 ed. España: Elearning S.L, 2015. p.511.

LOZANO DIAZ, Jesús Hernando. Plan de desarrollo 2008-2011 “Arbeláex viable, compromiso de todos”. Acuerdo CMA N° 08. Arbeláez: Municipio de Arbeláez, 2008. p.77.

MASSACHUSETTS WATER RESOURCES AUTHORITY. *Deer Island Wastewater Treatment Plant*. Boston: MWRA, 2009.

MASSACHUSETTS WATER RESOURCE AUTHORITY. history of the sewer system [en línea]. Boston: MWRA. [Citado 10 abril, 2019] Disponible en internet <URL: <http://www.mwra.state.ma.us/03sewer/html/sewditp.htm>>

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. (junio 2004). plan nacional de manejo de aguas residuales municipales en Colombia. Bogotá, p. 36.

MINISTERIO DE VIVIENDA. *Acciones Prioritarias y Lineamientos para la Formulación del Plan Nacional de Manejo de Agias Residuales*. Bogotá : Consejo Nacional de Política Economica y Social , 2002.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0631. (18 abril, 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 Bogotá: Minambiente, 2015 página 2.

MONTELONGO CASANOVA, Rosalba. OTAZO SÁNCHEZ, Elena María. VILLAGÓMEZ IBARRA, José. Modelación de la Calidad del Agua del rio tula, Estado De Hidalgo, México. En Dyna. Junio- marzo, 2008. Vol.75, no.154. p.14.

MURILLO MOJICA Oscar. «Crisis en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales del Río Bogotá.» *El Tiempo* , 2018: 1.

NACIONAL, UNIVERSIDAD.Evaluación del Impacto Ambiental. Rio Negro, s.f.
ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA . *Las Aguas Residuales, Una Oportunidad Desaprovechada* . Roma: FAO, 2017.

NUEVASNORMASISO. La importancia de una matriz de impacto ambiental [en línea]. Santiago: Normas Iso, [citado 16 mayo, 2019]. Disponible en internet <URL: <https://www.nueva-iso-14001.com/2017/05/importancia-matriz-de-impacto-ambiental/>>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN LA CIENCIA Y LA CULTURA. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos: Agua para Todos, Agua para la vida. [en línea]. Paris, Unesco [Citado 5 marzo, 2019]. Disponible en internet: <URL: http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2018-nature-based-solutions/?utm_source=IWA-NETWORK&utm_campaign=225734ad48-EMAIL_CAMPAIGN_2018_03_15&utm_medium=email&utm_term=0_c457ab9803-225734ad48-158989237>

PRESIDENTE DE LA REPUBLICA. Decreto 2811. (18 diciembre 1974). Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente Bogotá: El Presidente, 1974. Página 1

PRESIDENTE DE LA REPUBLICA. Decreto 4728. (23 diciembre, 2010). Por el cual se modifica parcialmente el decreto 3930 de 2010 Bogotá: El presidente, 2010. Página 1.

PRESIDENTE DE LA REPUBLICA. Decreto 3930. (25 octubre, 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 líquidos y se dictan otras disposiciones Bogotá: El Presidente, 2010, Pagina 12.

PONCE. La Matriz de Leopold para la Evaluación [en línea]. Ponce M. Víctor [citado 16 mayo, 2019]. Disponible en internet <URL: http://ponce.sdsu.edu/la_matriz_de_leopold.html>

QUINTERO ANGEL, Alejandro. Evaluación Preliminar de la planta de Tratamiento de Aguas Municipio la Tebaida. Manizales, 2007. Trabajo de grado, Facultad de ingeniería y arquitectura, Especialización en ingeniería ambiental ,
REPUBLICA DE COLOMBIA. Documentación técnico-normativa del sector del agua y saneamiento básico. Resolución No. 1096. Bogotá: Dirección General de Agua potable y Saneamiento Básico, 2000. p.119.

REPUBLICA DE COLOMBIA. Documentación Técnico Normativa del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Resolución 1096. Bogotá: Ministerio de Desarrollo Económico, 2000, p 9.

ROBLES PÉREZ, Emiro Julián. Impacto ambiental de la descarga de aguas residuales del Municipio de Arbeláez. Bogotá: Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Trabajo de Investigación, 2004, p.205.

RODRÍGUEZ V., Alexandra Jenny. Tratamiento anaerobio de aguas residuales. [en línea]. Cali: Alexandra Rodríguez. [Citado 12 de marzo, 2019]. Disponible en internet:

<URL: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tratamiento545.pdf>>

RIUNET. Estudio del comportamiento anaerobio de fangos antes de modificaciones del pH. [en línea]. García Caro. [citado 12 de marzo, 2019]. Disponible en internet:

<URL: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/50162/PFC%20-%20Garc%C3%ADa-Caro%20Andreu%2C%20L..pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

SIERRA ALVAREZ, Gabriel. Programa de mantenimiento preventivo para la empresa metalmecánica industrias AVM S.A. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico – mecánicas, 2004. p.15

SPENTAMEXICO. Hipótesis, método y diseño de investigación [en línea]. México: Abreu, José Luis. Disponible en internet. <URL: [http://www.spentamexico.org/v7-n2/7\(2\)187-197.pdf](http://www.spentamexico.org/v7-n2/7(2)187-197.pdf)>

TIERRA.REDIRIS. Profesor Luna B. Leopold In Memoriam: 1916-2006 [en línea]. Murcia: López Bermúdez Francisco [citado 16 mayo, 2019]. Disponible en internet <URL: <http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/noticias/not4.pdf>>

TORRES, Patricia. Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países de Desarrollo. En EIA. Diciembre,2012. No. 18, p. 129.

TERRY BERRO, Carmen. Gestión de residuales líquidos desde la perspectiva del consumo sustentable. En Revista electrónica de la agencia de medio ambiente. 2007. Vol. 1, no. 12, p.11.

UNIVERSIDAD NACIONAL. Evaluación del impacto ambiental . Rio negro: Unrn, 2013. p.3.

WORDPRESS. Sistema de tratamiento de aguas residuales por lodos activos [en línea]. Wordpress [citado 12 marzo,2019]. Disponible en internet: <URL: <https://aguasresiduales.wordpress.com/tag/lodos-activados/>>

ANEXOS

A continuación, se evidencia el formato de entrevista utilizada para el primer objetivo de la investigación.

Anexo A Formato entrevista a funcionaria de la oficina de servicios públicos municipales.

1. ¿Qué manejo se les da a las aguas residuales del municipio de Arbeláez actualmente?
2. ¿El municipio de Arbeláez Cundinamarca cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales?
3. ¿Qué capacidad tiene esta planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio?
4. ¿Por qué motivo la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Arbeláez Cundinamarca no se encuentra en funcionamiento?
5. ¿Esta planta volverá a funcionar? Y ¿En cuánto tiempo se planea el funcionamiento?
6. (Si la pregunta anterior es positiva) ¿Qué mejora piensa usted que se podría realizar en la planta de tratamiento de aguas residuales?

Anexo B. Formato entrevista lugareño sector la rinconada municipio de Arbeláez

1. ¿Hace cuánto tiempo usted vive en el sector la rinconada del municipio de Arbeláez Cundinamarca?
2. ¿Sabe usted de la existencia de una planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Arbeláez Cundinamarca sector la rinconada?
3. (De ser afirmativa a respuesta anterior) ¿Qué podría decir usted acerca de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Arbeláez?
4. ¿Se ve o ha visto afectado usted por la planta de tratamiento de aguas residuales? ¿Por qué?
5. ¿Qué problemas identifica usted en la zona de la rinconada a causa de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Arbeláez Cundinamarca?
6. ¿Qué mejora piensa usted que se podría realizar en la planta de tratamiento de aguas residuales?

Anexo C. Formato ingreso planta

Arbeláez (Cundinamarca) 14 de marzo de 2019

Señores

OFICINA SERVICIOS PÚBLICOS

Arbeláez (Cund.)

Ref.: Solicitud de visita a la Planta de Tratamiento y Entrevista a un Profesional.

Respetados Señores, soy estudiante de último semestre de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Católica de Colombia en la ciudad de Bogotá; me encuentro desarrollando mi proyecto de grado el cual tiene como objetivo proponer una mejora a la planta de tratamiento de Arbeláez, basado en el sistema de aguas residuales de la ciudad de Boston, Estados Unidos.

Hacia la consecución del objetivo propuesto, solicito a la oficina encargada se me conceda permiso para ingresar a la planta de tratamiento y poder entrevistar un profesional que me suministre la información necesaria respecto a la misma. Además, si es posible, hacer registros fotográficos de la planta y registro de audio de la entrevista al profesional que se sirva otorgarla.

Agradezco la atención prestada y quedo atenta a su respuesta, con el fin de programar la fecha en la que puedo llevar a cabo la visita y la entrevista.

Atentamente,

MARÍA CAMILA MÉNDEZ

C.C. 1013.656367 de Bogotá

Teléfono Móvil: 3164012789

Correo electrónico: camilamendezgomez@gmail.com

Dirección en Bogotá: calle 30 a No. 68 c 41 sur.

Anexo D. Folletos Deer Island WasteWater Treatment Plant

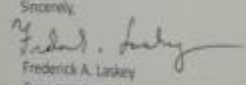
Dear Customers,

Every time you receive a detailed report on your drinking water, we thought we should also tell you something about your sewer system and the health of Boston Harbor and its tributary rivers.

Since its creation in 1984, MWRA has completed several large-scale projects including the state-of-the-art sewage treatment plant on Deer Island that treats an average of 350 million gallons of wastewater each day from 43 communities in greater Boston. The sludge that used to pour daily into Boston Harbor is now recycled into commercial fertilizer, and nearly all of the overflows of raw sewage that used to spill into rivers or onto local beaches during heavy rains are now sent to the sewer system or receive treatment.


Now healthy, Boston Harbor has attracted people and economic development back to the waterfront. Boston now boasts the cleanest urban beaches in the country, and swimming in the Charles River is close to becoming a reality. And our Board of Directors and staff are committed to keeping it this way: we have a nationally recognized maintenance program in place to protect these investments to ensure that we never again ignore this critical infrastructure.

We hope you find this information interesting. For more information on this or any of MWRA's programs, please visit our website at www.mwra.com or contact us.

Sincerely,

 Frederick A. Larney
 Executive Director

MWRA is governed by an 11-member Board of Directors who are appointed by the Governor or newly or indirectly by elected officials in MWRA customer communities. The current members are:

Matthew A. Beaton, Chair	Secretary, Executive Office of Energy & Environmental Affairs
Eric J. Carroll, Vice Chair	General Manager, Norwood (Retired)
Andrew M. Tapprestreton, Sec.	Commissioner, Brookline Department of Public Works
Robert L. Blakeman	Chief of Environment, Energy and Gasfiles Local 12 (Retired)
Andrew L. Carter	Business Manager, Plumbers and Gasfitters Local 12 (Retired)
Paul J. Flanagan	Fire Chief and Director of Emergency Management, Wrentham
Joseph L. Felt	Deputy Administrator and Chief of Operations, Massachusetts
Brian DeLuca	Commissioner, Lawrence Water and Sewer Commission
Harold White	
John Williams	





and stormwater into Charles, Mystic and Neponset rivers and onto beaches to prevent flooding into streets and basements.

Completed in 2015, the program included 35 separate projects in Boston, Brookline, Cambridge, Chelsea and Somerville. Over 100 miles of new sewers and storm drains were installed. Major projects included a storage tunnel in South Boston that captures discharges that used to cause beach closures, and an innovative stormwater wetland in Cambridge that includes plant and wildlife habitats and natural flood control. It not only improves water quality in the Alewife Brook, but also provides a new and unique recreational and educational open space.

CSO discharges have decreased by over 2.7 billion gallons a year and 93% of the remaining discharges are treated before being released. In 2020, MWRA must submit to the federal court the results of a three-year performance assessment to demonstrate the program's success.

For Over One Hundred Years, the disposal of the daily waste of Boston and its surrounding communities received only limited treatment before being dumped right into Boston Harbor. It was only 30 years ago that the Harbor was known as the "dirtiest harbor in America." Today, it's the sparkling centerpiece of the city. The Boston Harbor Clean-up is widely recognized as one of the nation's greatest environmental achievements.

The federal court order that drove the clean-up of Boston Harbor called not only for the construction of new wastewater treatment facilities at Deer Island, but the control of combined sewer overflows (CSOs) - old pipe networks that dumped both sewage



HOW CLEAN IS Boston Harbor?



MWRA has been monitoring water quality in Boston Harbor and its tributary rivers since 1985. Collecting data before the new treatment facilities were constructed has helped to capture the effects of the new facilities and identify changes in water quality over time.

MWRA monitors water quality at more than 50 locations in Boston Harbor. Measurements are also made in the Charles, Mystic, and Neponset rivers. The data is invaluable - that's because the water of Boston Harbor has remarkable and the economic impact to the city's waterfront has been remarkable.

More than 100 beachfront reports in the state show that 1,000+ people enjoy the beauty of Boston Harbor and Massachusetts Bay. (Source: Massachusetts Department of Environmental Management and the State's Beaches and Shores Program)



Watershed efforts to eliminate and reduce discharges of sewage and stormwater have resulted in the cleanest urban beaches in the country.

Percent of samples meeting the sediment screening standard for deterioration of beach beaches 2012-2016:



South Boston beaches have had sediment discharge 89% of the time in the last 5 years. Turbidity (high sediment) levels are mainly from discharges from stormwater runoff and other sources of turbidity.



BOSTON HARBOR FACTS: THE CLEANER THE BAY, THE BETTER

Water quality improvements in Boston Harbor are a result of the city's investment in new treatment facilities. The city has invested more than \$1 billion in new treatment facilities since 2002. The city's investment in new treatment facilities has helped to improve water quality in Boston Harbor and its tributary rivers.

Water Quality Improvements in Boston Harbor

Water quality improvements in Boston Harbor are a result of the city's investment in new treatment facilities. The city has invested more than \$1 billion in new treatment facilities since 2002. The city's investment in new treatment facilities has helped to improve water quality in Boston Harbor and its tributary rivers.

Water Quality Improvements in Boston Harbor

Water quality improvements in Boston Harbor are a result of the city's investment in new treatment facilities. The city has invested more than \$1 billion in new treatment facilities since 2002. The city's investment in new treatment facilities has helped to improve water quality in Boston Harbor and its tributary rivers.



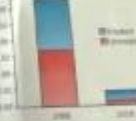
Swimmable Beaches After 2016RA Improvements

Overall bacterial water quality in Boston Harbor and Boston Harbor's tributaries, as in 2012, is better than in Boston Harbor's tributaries. In 2012, 100% of samples meeting the Boston Harbor Project, and the Combined Sewer Overflow (CSO) Long Term Control Plan.



Reduction in Annual CSO Volume

Combined sewer overflow into Boston Harbor and its tributary rivers have been reduced by nearly 3 billion gallons, with 55% of the remaining flow meeting treatment.



Preparing Massachusetts Bay

Even though the water in the Bay is cleaner, the Bay is still not safe for swimming. The Bay is still not safe for swimming because of the presence of harmful bacteria and other pollutants. The Bay is still not safe for swimming because of the presence of harmful bacteria and other pollutants.

