

Diseñar una PTARD mediante lechos filtrantes para la Vereda la Niata del Municipio de Yopal-Casanare

Diego Antonio Rincón Alvarado

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela De Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente

Programa de Ingeniería Ambiental

Sogamoso, Boyacá

2022

**Diseñar una PTARD mediante lechos filtrantes para la Vereda la Niata del
Municipio de Yopal-Casanare**

Diego Antonio Rincón Alvarado

Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental

Director:

César Augusto Guarín Campo

Ingeniero Ambiental y de Saneamiento

Esp. Sistemas Integrados de Gestión (QHSE)

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas pecuarias y del Medio Ambiente

Programa de Ingeniería Ambiental

Sogamoso, Boyacá

2022

Página de Aceptación

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Dedicatoria

El presente proyecto aplicado de grado lo dedicado primero a Dios por darme la sabiduría en cada momento de mi proceso académico por permitirme estudiar esta hermosa carrera y poder terminarla con un extenso conocimiento, así aplicarlo en mi vida profesional y contribuir con el cuidado del medio ambiente.

A mis padres, por la motivación que me impulso día a día y por creer en mí, que lograría llegar a obtener mi título como profesional, por su paciencia y consejos que me permitieron desempeñar mi rol como estudiante de la mejor manera haciendo que se sientan orgullosos de su hijo.

A mi hermana que con su apoyo, experiencia y recomendaciones me guiaron a lo largo de estos años académicos, así alcanzar un logro más en mi vida profesional.

Los docentes de la Universidad con su constante proceso de retroalimentación y mejora continua en cada proceso académico hasta llegar a consolidar este proyecto aplicado como un conjunto de conocimientos adquiridos durante estos años,

En general a todos aquellos que con su granito de arena contribuyeron para alcanzar este título Universitario, es el momento de darles gracias por sus aportes.

Resumen

Con los años, el uso del recurso hídrico ha provocado un deterioro en su calidad y en diversas situaciones un detrimento ambiental al ser vertida sin ningún tratamiento al medio ambiente después de su aprovechamiento, de ahí lo importante de realizar un correcto tratamiento de las Aguas Residuales Domesticas (ARD), de acuerdo con sus características fisicoquímicas y biológicas antes de realizar su vertimiento.

La Vereda la Niata ubicada en el municipio de Yopal (Casanare), tienen una gran necesidad de tratar sus ARD antes de ser dispuestas en los entornos ya que, no se cuenta con una Planta de Tratamiento de Agua Residual Domestica (PTARD), provocando vertimientos en zonas aledañas o directamente al suelo, vías de tránsito vehicular, potreros o a cuerpos de agua como quebradas que pasan por esta zona, provocando un deterioro al medio ambiente y un daño a los ecosistemas que componen la zona, además de su biodiversidad de fauna y flora.

En diseño que se planteará por medio de lechos filtrantes para tratar el agua residual doméstica, son sistemas con un medio granular conformada por (tierra negra, arena gruesa (gravilla), cascarilla de arroz, “Sobre estas capas se siembran plantas como: *Phragmites Communis* cuyas raíces han sido previamente tratadas con cultivos de bacterias aeróbicas y anaeróbicas, las aeróbicas sobreviven gracias a la propiedad de esta planta de liberar grandes volúmenes de oxígeno hacia sus raíces, ambos tipos de bacterias digieren una gran cantidad de residuos del agua” (Baquero C, 2015, pág. 18) , en algunos casos, “el agua se pierde completamente por evapotranspiración y percolación además se garantiza el cumplimiento de la legislación actual en Colombia respecto a vertimientos a un bajo costo, fácil de operar y asequibles para pequeñas comunidades” (Baquero C, 2015, pág. 18).

Se proyecta que la Vereda la Niata sea pionero en tratamiento de ARD más amigables con el medio ambiente, donde lleguemos a resultados óptimos de acuerdo con la normatividad vigente del País a través de información e investigación de documentos, artículos científicos, etc.... sobre los lechos filtrantes, sistemas que no necesitan de químicos, no produce malos olores, visualmente es agradable, económico en construcción y operación, además realiza una remoción de contaminantes eficiente.

Palabras clave: Lechos, Tratamiento, Fitorremediación, Vertimientos, Evapotranspiración.

Abstract

Over the years, the use of water resources has caused a deterioration in its quality and in various situations an environmental detriment by being discharged without any treatment into the environment after its use, hence the importance of carrying out a correct treatment of Wastewater Domestic (ARD), according to their physicochemical and biological characteristics before dumping.

The Sidewalk la Niata located in the municipality of Yopal (Casanare), has a great need to treat its ARD before being disposed of in the surroundings, since there is no Domestic Wastewater Treatment Plant (PTARD), causing discharges in surrounding areas or directly to the ground, vehicular traffic routes, pastures or bodies of water such as streams that pass through this area, causing deterioration to the environment and damage to the ecosystems that make up the area, in addition to its biodiversity of fauna and flora.

In design that will be proposed by means of filter beds to treat domestic wastewater, they are systems with a granular medium made up of (black earth, coarse sand (gravel), rice husk, "On these layers plants are planted such as: *Phragmites Communis* whose roots have been previously treated with cultures of aerobic and anaerobic bacteria, the aerobic ones survive thanks to the property of this plant to release large volumes of oxygen towards its roots, both types of bacteria digest a large amount of waste from the water" (Baquero C , 2015, page 18), in some cases, "the water is completely lost due to evapotranspiration and percolation, in addition, compliance with current legislation in Colombia is guaranteed regarding dumping at a low cost, easy to operate and affordable for small communities" (Baquero C, 2015, p. 18).

Sidewalk la Niata is projected to be a pioneer in the treatment of ARD that is friendlier to the environment, where we reach optimal results in accordance with the current regulations of the Country through information and research of documents, scientific articles, etc. ... on the filter beds, systems that do not need chemicals, do not produce bad odors, are visually pleasing, economical in construction and operation, and also perform efficient removal of contaminants.

Keywords: Beds, Treatment, Phytoremediation, Discharges, Evapotranspiration.

Contenido

Lista de anexos	18
Introducción	20
Planteamiento del Problema.....	22
Justificación	23
Objetivos	25
Objetivo general	25
Objetivos específicos	25
Marco Conceptual	26
Antecedentes	28
Marco Teórico	29
Marco Legal	30
Metodología	31
Etapa 1-Diagnostico Socioambiental del lugar	33
Diagnóstico del lugar	33
Ubicación	33
Ubicación geográfica de la comunidad a intervenir	34
La Niata.....	34
Hidrología.....	35

Evaporación.....	36
Humedad Relativa.....	37
Precipitación	37
Geomorfología.....	37
Suelo	37
Usos del Suelo	38
Zonificación geotécnica	38
Temperatura.....	39
Bienes y servicios	40
Acueducto.....	40
Vías	40
Actividades económicas.....	40
Impactos sociales y ambientales.....	40
Etapa 2-Identificar las características fisicoquímicas de los vertimientos de agua residual doméstica en la Vereda la Niata.	
Niveles de complejidad del sistema.....	43
Resultados y análisis físico in-situ de caracterización de aguas	47
Análisis Laboratorio	51
Etapa 3- Elaborar los Cálculos Establecidos en la Resolución 0330 del 2017 (RAS 2000) y los Necesarios para el Diseño de la PTARD	
	53

Determinar el caudal de diseño	53
Número de habitantes por sectores	53
Estudio de Proyecciones Poblacionales	54
Dotación neta máxima	55
Coeficiente de retorno.....	56
Cálculo del caudal domestico Q_d	56
Calcule el caudal por infiltración Q_f	57
Calcule el caudal de conexiones erradas Q_{ce} ,.....	57
Calcule el Caudal medio Q_M	58
Halle el caudal Máximo Q_{MH}	58
Caudal de diseño.....	59
Pretratamiento	60
Cribado	60
Espaciamiento.....	60
Velocidad mínima de aproximación	61
Velocidad mínima entre barras.....	61
Cálculo de pérdida de carga:	62
Trampa de grasa.....	62
Localización	63

Parámetros de diseño	63
Entradas y salidas	64
Caudal de diseño.....	65
Volumen Trampa De Grasa.....	65
Área superficial.....	66
Dimensionamiento trampa de grasa (largo, ancho y alto).....	66
Localización Bafle	67
Elevación del Bafle	67
Área entre Bafle y Fondo	67
Sitio de la tubería	68
Altura de entrada del tubo	68
Desnivel de la tubería de salida (entrada e ingreso)	68
Sedimentador	69
Geometría	69
Para hallar despejamos b así:.....	71
Para Hallar la altura del sedimentador	71
Se calcula la altura:	71
Volumen canal de sedimentador.....	72
Volumen del sedimentador.....	72

Volumen adicional necesario	72
Altura para la adición	73
Volumen total	73
Lechos Filtrantes	74
Descripción técnica de la tecnología utilizada	74
Sustancias Biológicas Utilizadas en Láminas Filtrantes.....	76
Degradación de Residuos con Metales Pesados.....	77
Materia Orgánica	77
Nitrógeno	80
Fósforo	82
Patógenos	82
Remoción de producto final.....	83
Lecho filtrante horizontal.....	83
Estructuras de entrada y salida	84
Impermeabilización	84
Medio granular	85
Diseño	87
Dimensionamiento biológico	87
Dimensión hidráulica	89

Las dimensiones del humedal se determinan:	90
Calculada el área de la sección transversal	91
Longitud del sistema	91
Tiempo de retención hidráulica	92
Etapa 4- Realizar de Manera Técnica un Manual de Operación con los Planos de la	
PTARD, Garantizando la Operación óptima y el Tratamiento Adecuado de la ARD.....	93
Operación	93
Personal	93
Aspectos relevantes, observaciones, situaciones, recomendaciones y soluciones para	
los sistemas Láminas Filtrantes.....	93
Puntos básicos a tener en cuenta para la correcta operación de los sistemas.....	95
Caudales	95
El caudal se determina:	95
Sedimentador.....	96
Procedimiento para desocupar el sedimentador:	96
Filtro de entrada.....	96
Tubería	96
Zona de raíces.....	97
Control del Material Vegetal.....	97
Cuidados del material vegetal	98

Operación y mantenimiento trampa de grasa	98
Planos de los Sistemas de Tratamiento de ARD	99
Análisis Social.....	102
Análisis Ambiental	103
Conclusiones	105
Recomendaciones	107
Bibliografía	109
Anexos	117

Lista de tablas

Tabla 1. Legislación ambiental vigente	30
Tabla 2. Asignación del nivel de complejidad.....	44
Tabla 3. Tabla de Resultados de las muestras (in situ).....	50
Tabla 4. Resultados la boratorio (julio 25 del2021).....	52
Tabla 5. Últimos censos poblacionales encontrado.....	54
Tabla 6. Dotación Neta por Clima y Nivel de Complejidad del Sistema.....	55
Tabla 7. Coeficiente de pérdida para rejillas.....	61
Tabla 8. Capacidades de retención de grasa.....	64
Tabla 9. Tiempos de retención hidráulicos.....	64
Tabla 10. Tabla volumen trampa de grasa.....	65
Tabla 11. Resumen de medidas de diseño trampas de grasas.....	68
Tabla 12. Resumen de datos dimensiones sedimentador.....	73
Tabla 13. Mecanismos de remoción.....	76
Tabla 14. Valores admisibles.....	88
Tabla 15. Material granulado y sus propiedades.....	90

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación geográfica municipio Yopal Casanare.....	33
Figura 2. Ubicación geográfica de la Vereda la Niata municipio Yopal Casanare.....	34
Figura 3. Ubicación geográfica donde se proyecta la PTARD.....	39
Figura 4. Puntos de visita.....	43
Figura 5. Vertimiento de ARD en la vía.....	45
Figura 6. Pozo séptico de la comunidad.....	46
Figura 7. Toma de muestras pozo séptico.....	47
Figura 8. Toma de parámetros in situ.....	49
Figura 9. Parámetros de vertimiento vs resolución 0631 del 2015, pH.....	50
Figura 10. Parámetros de vertimiento vs resolución 0631 del 2015, Temperatura.....	51
Figura 11. Parámetros de vertimiento vs resolución 632 del 2015.....	52
Figura 12. Censo Yopal Casanare.....	53
Figura 13. Diferentes formas de rejillas.....	61
Figura 14. Procesos implicados en la degradación de la materia orgánica.....	78
Figura 15. Plano de trampa de grasa.....	99
Figura 16. Plano sedimentador.....	100
Figura 17. Plano lecho filtrante.....	101

Lista de anexos

Anexo A. Encuesta socioambiental.....	117
Anexo B. Socialización encuesta socioambiental.....	118
Anexo C. Censo poblacional DANE Vereda la Niata municipio de Yopal (Casanare)..	119
Anexo D. Número de viviendas Vereda la Niata municipio de Yopal (Casanare).....	120
Anexo E. Calibración equipo multiparámetro.....	121
Anexo F. Resultados de laboratorio Sima Ingenieros.....	122

Índice de acrónimos

ARD:	Agua Residual Doméstica
°C:	grados Centígrados
DANE:	Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas
DBO ₅ :	Demanda Bioquímica de Oxígeno, medida a los 5 días
DQO:	Demanda Química de Oxígeno
Ha:	Hectárea
hab:	habitante
H ₂ SO ₄ :	Ácido sulfúrico
L:	Litro
m ² :	metro cuadrado
m ³ :	metro cubico
min:	minuto
mm:	milímetro
msnm:	metros sobre el nivel del mar
N ₂ :	Nitrito
NO ₃ :	Nitrato
O ₂ :	Oxígeno
pH:	potencial de Hidrogeno
PTARD:	Planta de Tratamiento de Agua Residual Domestica
RAS:	Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico
SST:	Solidos Suspendidos Totales
μS:	microSiemens

Introducción

La problemática ambiental a nivel mundial requiere de un manejo eficiente y sustentable de nuestro patrimonio natural, es preciso de compromiso en todos los ámbitos sociales para el aprovechamiento adecuado de estos recursos y que las sociedades se concienticen de los impactos negativos que la contaminación provoca sobre los ecosistemas, el agua es uno de los recursos más abundantes del medio ambiente y está en el planeta alrededor de tres cuartas partes de la superficie del planeta, a su vez y a pesar de lo que pudiera pensarse, hay diversos componentes que reducen la disponibilidad de este recurso para uso del ser humano, los vertimientos de las aguas sin tratar producen impactos ambientales negativos a los ecosistemas, a través de los contaminantes que dichas aguas contengan y sus niveles de concentración.

Desde tiempos antiguos las ARD se han vertido a los cuerpos hídricos superficiales y diferentes cuerpos receptores sin tratamiento alguno, trayendo consigo el deterioro del medio ambiente, en consecuencia, impactos negativos sobre los ecosistemas y las comunidades, la falta de tratamiento de las ARD en los municipios se ha convertido en una problemática ambiental que ha ido en incremento, el vertimiento de las ARD más las descargas agropecuarias e industriales están contaminando los cuerpos hídricos tanto como las aguas subterráneas y las aguas superficiales causando un peligroso daño al medio ambiente, ecosistemas y al ser humano, es de suma importancia para el saneamiento ambiental, la salud pública y el bienestar de la población además el progreso del territorio sea indispensable la reducción de los contaminantes hacia el medio ambiente, al tratar las ARD, debido a que son usadas y vertidas de formas inadecuadas.

Para contribuir con el bienestar de la población y la elección de un Sistema de Tratamiento de las ARD adecuada para la Vereda la Niata, se tienen en cuenta las técnicas y las

tecnologías actuales más económicas, eficientes, y de fácil de operación, así seleccionar el sistema más apropiado en el desarrollado del presente proyecto aplicado; se investigó las alternativas más viables de sistemas de tratamiento para ARD entre ellas lagunas de estabilización, lodos activados, lechos filtrantes; este último sistema de tratamiento es seleccionado por la eficiencia de sus procesos, permitiendo la protección de los ecosistemas aledaños de la Vereda y por supuesto dando cumplimiento de la legislación ambiental vigente en Colombia, en la Vereda la Niata, ubicada en municipio de Yopal (Casanare), se espera obtener resultados acordes a los objetivos planteados en el proyecto aplicado para la etapa de diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas (PTARD).

Planteamiento del Problema

La Vereda la Niata ubicada en el municipio de Yopal (Casanare), no cuenta con un tratamiento de las ARD; la comunidad en crecimiento, la ubicación y el uso inadecuado e irracional del recurso, conllevan a realizar el vertimiento de estas aguas domesticas a suelos y cuerpos de agua sin ningún control, provocando contaminación al medio ambiente y a raíz de esto el deterioro de ecosistemas, la fauna y flora, además la falta de un tratamiento contribuye en la comunidad con la proliferación de “vectores causantes de enfermedades transmisibles como el dengue, fiebre amarilla y enfermedades gastrointestinales” (OPS, 2014).

Así mismo, la presencia de malos olores implican una reducción del “nivel de oxígeno disuelto que afecta la vida acuática; otro problema son los sólidos suspendidos que genera aglomeración, modificando el recorrido natural de las aguas; además los nutrientes suministran alimento y con ello el crecimiento de plantas acuáticas y si no se controlado provoca la eutrofización por ende la muerte de la fauna y flora” (Ocampo T, 2016 , pág. 16), si se produce un aumento de componentes tóxicos provenientes de las ARD seria letal para los ecosistemas y el medio ambiente que afectan a la población de la Vereda la Niata, lo que conlleva a la siguiente pregunta, ¿El diseño de un PTARD mediante lechos filtrantes ayudará a mejorar los vertimientos y problemas causados al medio ambiente en la Vereda la Niata, municipio de Yopal (Casanare)?

Justificación

Las ARD son un tema de suma importancia, ya que este recurso es escaso en muchas regiones del planeta y en la actualidad debido al cambio climático ha provocado climas extremos como las sequías, a raíz de esto se produce un racionamiento de agua que ha afectado a todas las comunidades esto se viene presentando ya hace varios años, por ello se requiere velar por el cuidado del agua y disponer de un eficiente método de tratamiento de las ARD para contribuir con el cuidado del medio ambiente y sus recursos.

Casanare en la actualidad ha presentado un tiempo de sequía extrema y por largos periodos provocando escases de agua, los vertimientos inadecuados de las ARD en la Niata es una problemática que se está viviendo, además de la inexistencia de una PTARD provocan un vertimiento que genera impactos negativos sanitarios en la comunidad y contaminación al medio ambiente.

Desde este punto de vista se presenta los lechos filtrantes para dar solución a esta problemática al no requerir químicos en su tratamiento, ni infraestructura en concreto costosa, ni mantenimientos periódicos con mano de obra numerosa y calificada, se vuelve un atractivo sistema de depuración de ARD para la Vereda la Niata donde son escasos los recursos.

Al introducir el sistema de lechos filtrantes, se espera una disminución en los niveles de contaminación de los cuerpos receptores, así mismo en suelos y cuerpos hídricos, esto se traduce en un aumento de los niveles de oxigenación en el agua, protección de flora y fauna que reducirá la vulnerabilidad de la población ante enfermedades infecciosas, ayudará a mejorar la calidad de vida de la comunidad al igual que la imagen estética de la misma y por ende a mejorar el desarrollo de la Vereda.

En este orden de ideas se decide realizar una propuesta de diseño para una PTARD en esta Vereda que favorecerá a la comunidad y generaciones venideras.

Se proyecta que la Vereda la Niata sea pionera en sistema de tratamiento de las ARD más amigables con el medio ambiente donde lleguemos a resultados óptimos de acuerdo con la normatividad vigente del país a través de información e investigación de documentos, artículos científicos, etc.... sobre los lechos filtrantes, sistemas que no necesitan de químicos, no produce malos olores, visualmente es agradable, económico en construcción y operación, además realiza una remoción de contaminantes eficiente.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar una PTARD mediante lechos filtrantes para la Vereda la Niata del Municipio de Yopal-Casanare.

Objetivos específicos

Describir la problemática socioambiental de la Vereda la Niata, municipio de Yopal.

Identificar las características fisicoquímicas de los vertimientos de ARD de la Vereda la Niata.

Elaborar los cálculos establecidos en la resolución 0330 del 2017 (RAS 2000) y los necesarios para el diseño de la PTARD de la Vereda la Niata.

Realizar de manera técnica, un manual de operación con los planos de la PTARD, garantizando la operación óptima y el tratamiento adecuado de las ARD en la Vereda la Niata.

Marco Conceptual

Evapotranspiración: “La evapotranspiración potencial (ETP) es la cantidad máxima de agua que puede evaporarse en un clima dado por una cubierta vegetal continuo bien dotada de agua, es un proceso combinado que comprende la evaporación de todos los tipos de superficie (agua-vegetación-suelo) y la transpiración de las plantas en un intervalo de tiempo dado y en una región determinada” (IDEAM, 2022).

Flujo horizontal: “Son humedades artificiales, conformados en la superficie por plantas de pantano donde las aguas residuales son pre- tratadas y fluyen a través de los lechos filtrantes en los cuales el agua comienza su tratamiento por la acción de microorganismos que se adhieren a la superficie con ayuda de la filtración y sedimentación” (Romero L, 2016, pág. 12)

Filtro natural: “El agua es filtrada de forma natural mediante materiales como la arena y la grava, y emanan de forma limpia a través de los manantiales por esto, este tipo de filtros usan la acción mecánica de estos materiales para eliminar las impurezas que posee el agua y junto con el carbón y microorganismos benignos, es posible también eliminar patógenos perjudiciales para nuestra salud. Al pasar por estos materiales, si es que se hace correctamente, el agua se va deshaciendo de sus impurezas, saliendo al final limpia y apta para el consumo” (Fe y alegría colombia, 2019, pág. 11)

Fitorremediación: “La fitorremediación es una tecnología sustentable que se basa en el uso de plantas para reducir in-situ la concentración de contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en suelos, sedimentos, agua y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a un sistema de raíces que conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de diversos tipos de contaminantes” (Artega A, 2018, pág. 101)

Lechos Filtrantes: “Es un sistema que está conformado por material granular como grava, arena o antracita en donde el agua residual entra a través del lecho poroso en el cual las partículas y microorganismos van quedando atrapados” (Romero L, 2016, pág. 11).

Tratamiento biológico: “Es un tratamiento en el cual se eliminan sólidos no sedimentados, se estabiliza la materia orgánica por medio de la actividad de los microorganismos, que se alimentan de los diferentes compuestos que contaminan las aguas” (Romero L, 2016, pág. 12).

Medio granular: “En los humedales el sustrato está formado por suelo: arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación que se acumulan en el humedal debido al crecimiento biológico. La principal característica del medio es que debe tener la permeabilidad suficiente para permitir el paso de agua a través de él. Esto obliga a utilizar suelos de tipo granular, principalmente grava seleccionada con un diámetro de 5mm aproximadamente y con pocos finos” (Morales M, 2018, pág. 18).

Phragmites Communis: “Los humedales artificiales son sistemas de Fito depuración de aguas residuales, que consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas (Phragmites Communis) sobre un lecho de grava impermeabilizado, la acción de las macrófitas hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluyente es depurada progresiva y lentamente” (Torres J, 2015).

Antecedentes

La tecnología de lechos filtrantes fue traída a Colombia por la firma “Scandroots International Group, tiene como principal objetivo la de utilizar la capacidad que tiene la naturaleza para su auto limpieza y para remover todos los contaminantes existentes en las aguas residuales, esta tecnología fue descubierta en los años cincuenta y desarrollada especialmente en Alemania, durante los últimos 20 años ha dado resultados, tanto a nivel de agua doméstica (sanitarios, lavaderos, duchas, etc.) como a nivel de aguas residuales industriales, se han construido plantas en Dinamarca, Suecia, Polonia, Alemania, Francia, Suramérica, Australia, India, Omán” (Cam15pág. 7).

Puede integrarse al “paisaje natural pues es un filtro natural en donde el ARD pasa por un sistema de flujo horizontal y/o verticalmente, en un lecho filtrante se presentan procesos físicos, químicos y biológicos que interactúan entre sí y pueden variar dependiendo del tiempo y del espacio, aportando consigo cambios en los flujos de materia y energía entre sus componentes, por lo tanto para su estudio deben tener en cuenta factores hidrológicos, hidráulicos y de aporte de nutrientes” (Cam15pág. 16).

Además al ser un sistema cerrado no genera malos olores y se adecua muy bien por su vegetación, formando un entorno armónico con el medio ambiente, asimismo es un sistema sencillo que no demanda de operadores técnicos para su funcionamiento, no requiere de químicos en su tratamiento y el mantenimiento es simple lo que implica costos muy bajos en operación y mantenimientos, por si fuera poco su eficiencia es alta en la eliminación de contaminantes en comparación con otros métodos de tratamiento de ARD existentes.

Marco Teórico

La tecnología de lechos filtrantes “puede remover la carga orgánica del ARD expresada como DBO, DQO, SST y GRASAS Y ACEITES; adicional el sistema permite reducir Nitrógeno y Fósforo” (Cam15pág. 7), con ello garantizar el cumplimiento de la legislación de vertimiento (Decreto-3930, 2010) y (Resolución-631, 2015).

El sistema tiene “eficiencias de remoción mayores al 90% y en algunos casos se han encontrado remociones del 98% y 99% en DBO, DQO Y SST” (Baquero C, 2015, pág. 17).

Además, utilizando todos los “microorganismos necesarios producidos en la raíz de la *Phragmites Communis* para su descontaminación y reducción de los contaminantes, es por esta razón que el agua una vez que pasa por los diferentes filtros del medio granular puede ser reutilizada en actividades de agricultura, pues si se desea se puede regular los valores necesarios de nitrógeno y fósforo, también puede ser reutilizada en labores de limpieza de calles, Jardinería, etc. En el sistema sucede una evapotranspiración que normalmente llega del 20% al 30% del volumen total de agua de entrada” (Baquero C, 2015, pág. 17).

Marco Legal

Tabla 1

Legislación ambiental vigente

Norma	Texto
Artículo 8° de la Constitución Política de 1991.	“Establece que es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación” (Costitución politica, 1991, pág. 2).
El Artículo 79 constitucional	“todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano y además que es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, así como conservar las áreas de especial importancia ecológica” (Costitución politica, 1991, pág. 7).
El Artículo 80 de la Constitución Política preceptúa	“El Estado Planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación restauración o sustitución Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados” (Costitución politica, 1991, pág. 7).
Ley 142 de 1994	“Desarrollada por el Congreso de Colombia el 11 de julio de 1994, la cual rige para los servicios públicos domiciliarios; busca garantizar, atender las necesidades básicas de agua potable y saneamiento básico, prestar servicios sin interrupciones, una prestación eficiente y una ampliación permanente de los servicios públicos más precisamente agua potable y residual” (Gestor Normativo, 2022).
Decreto 3930 DE 2010	“Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones” (Gestor Normativo, 2022).
Resolución 0631 del 2015	“La cual fue desarrollada por el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible el 17 de marzo del 2015 en la ciudad de Bogotá, “Establece los parámetros y 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”, esta resolución establece también los parámetros para analizar la calidad del agua en las zonas industriales, comerciales o de servicios”
Resolución 0330 del 2017	“La cual fue desarrollada por el ministerio de vivienda, ciudad y territorio, antiguamente conocido como el Ministerio de desarrollo económico el 08 de junio del 2017 en la ciudad de Bogotá indica que, Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 066 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009” (Gestor Normativo, 2022).

Fuente: Elaboración propia

Metodología

Para el diseño de estos métodos de tratamiento de las ARD y el desarrollo del trabajo se han tenido en consideración una metodología de investigación descriptiva que mide y evalúa diversos aspectos, como: problemática ambiental de la Vereda, el tamaño de la población, características del vertimiento, normatividad vigente en vertimientos, cálculos de diseño, requerimiento de operación y mantenimiento.

El proceso metodológico descriptivo del presente estudio constituye de cuatro etapas generales.

Etapas 1- preparación de la información: es la compilación y estudio de los datos históricos sobre la Vereda de la Niata ubicada en el municipio de Yopal (Casanare), a través de visitas a campo mediante evidencias fotográficas y testimonios de algunos habitantes de la comunidad, identificando las problemáticas socioambientales que causa el inadecuado manejo de las ARD en este lugar.

Etapas 2 - Características del vertimiento: visitas de campo, información existente y/o toma de muestras para posteriores pruebas de laboratorio que determine las características fisicoquímicas del vertimiento en la Vereda la Niata del municipio de Yopal (Casanare).

Etapas 3 - Realizar cálculos: Se realizan según la revisión de los datos obtenidos en los resultados de parámetros fisicoquímicos del ARD, caudales de diseño; Desarrollo de cálculos mediante fórmulas que se encuentran en la resolución 0330 del 2017 (RAS 2000) y cálculos adicionales que sean necesarios de fuentes confiables para realizar el diseño de la PTARD de la Vereda la Niata del municipio de Yopal (Casanare).

Etapa 4 - Manual de operación: Realizar de manera técnica un manual de operación con los planos de la PTARD, garantizando la operación óptima y el tratamiento adecuado de las ARD de la Vereda la Niata del municipio de Yopal (Casanare).

Para diseñar el sistema de tratamiento de las ARD, se ha tenido información primordial de la comunidad que habita en la zona el día de hoy, con una proyección a 12 años estimada por el diseñador, con el diseño se busca que el sistema pueda garantizar el tratamiento de este tipo de aguas, garantizando aspectos sanitarios como la salubridad de la comunidad beneficiaria y la protección del medio ambiente; el sistema de tratamiento de las ARD será mediante Lechos Filtrantes que constara de los siguientes elementos

a) Pretratamiento

Cribado: permite “la retención y remoción del material extraño presente en las aguas negras y que pueda interferir los procesos de tratamiento” (RAS Tit E, 2000, pág. 50).

Trampa de grasa: “Son tanques pequeños de flotación donde la grasa sale a la superficie, y es retenida mientras el agua aclarada sale por una descarga inferior” (RAS Tit E, 2000, pág. 28)

Sedimentador: “El objeto de este tratamiento es básicamente la remoción de los sólidos suspendidos y DBO en las aguas residuales, mediante el proceso físico de asentamiento en tanques de sedimentación” (RAS Tit E, 2000, pág. 54)

b) Lecho filtrante de flujo horizontal

“El sistema de lechos filtrantes es la tecnología verde que está cambiando el estándar ecológico mundial en tratamiento de todo tipo de ARD. Se trata de un tratamiento biológico que utiliza la gran capacidad depuradora de la naturaleza para la descontaminación de aguas residuales y lodos” (Chicaiza A, 2014, pág. 39).

Etapa 1-Diagnostico Socioambiental del lugar

Diagnóstico del lugar

Ubicación

Las coordenadas de la zona del proyecto:

5°24'19" N 72°18'39" W

Figura 1

Ubicación geográfica municipio Yopal-Casanare



Fuente: Autoría propia

Figura 2

Ubicación geográfica de la Vereda la Niata municipio Yopal-Casanare



Fuente: Autoría propia

Ubicación geográfica de la comunidad a intervenir

Yopal se encuentra ubicada en las “proximidades del río Cravo Sur, está a una altura de 350 msnm, y una temperatura promedio de 26 °C; a este municipio le pertenece el corregimiento Alcaraván la Niata, el cual está conformado por 10 Veredas, incluida la Niata, lugar donde se desarrolla el proyecto aplicado” (Sima Ingenieros, 2011).

La Niata

La Vereda la Niata “limita al Este con la Vereda La Reserva, Al Norte y Noroeste con la Vereda Barbasco, al oeste con Guayaque, Al sur con la Vereda Araganey y al suroeste con Villa del Carmen, el área del proyecto Corresponde a 1 hectárea totalmente libres de cultivos, escasa

de vegetación, sin aguas veraneros ni servicio de acueducto, la mayoría de estos predios no cuentan con servicios de alcantarillado, los vertimientos de ARD son manejados a través de pozos sépticos tradicionales la gran mayoría sin revestimiento” (Cascajal, 2013, pág. 11).

Hidrología

El área de estudio está ubicada “dentro de la subcuenca del río la Niata, el cual pertenece a la cuenca del río Cravo sur. El río la Niata nace en la cota 450 en el costado izquierdo del río Cravo sur en la Vereda la Vega y San Cristóbal. La cuenca de la Niata es la más importante de las subcuencas del río Clavo sur, en el paisaje de piedemonte se encuentran tres caños, en el costado occidental del área de drenaje se encuentra el caño Corumo, en el área central se encuentra atravesando den sentido norte – sur un caño NN y el caño el Turrón” (Cascajal, 2013, pág. 12).

Las unidades hidrológicas se diferencian de la siguiente forma:

Unidad hidrológica I: “deposito aluvial esta unidad hidrológica conformada por los depósitos aluviales se estima que presenta capacidades especificas bajas (producción entre 0.05 y 1 L/s/m). Es un acuífero discontinuo de extensión local, limitado únicamente a las zonas por donde escurren los ríos, es de tipo libre conformado por cantos y gravas” (Cascajal, 2013, pág. 13).

Unidad hidrogeológica II: “Formación corneta esta unidad hidrogeológica está conformada por guijarros y cantos en matriz arenosa, con capacidades hidrológicas bajas (producción estimada entre 0.05 y 0.5 L/s/m). se trata de un acuífero de extensión local y de tipo semiconfinado” (Cascajal, 2013, pág. 13).

Unidad hidrogeológica III: “depósito de terraza sobre elevada esta unidad hidrogeológica incluye los acuíferos conformados por los depósitos de terraza sobre elevada, compuesto por gravas, arena y lodos, en formas aterrazadas” (Cascajal, 2013, pág. 13).

Unidad hidrogeológica IV: “formación diablo superior está compuesta por un conjunto de arenitas y de lodolitas, gruesos niveles predominantes de arenisca cuarzosa, de granos fino y grueso que se alternan con gruesos niveles dominantes de lodolita. El conjunto inferior se comporta principalmente como un acuífero y el conjunto superior como acuífero local, debido a las interacciones de arenita. Sedimentos y rocas con limitado a ningún recurso de agua subterránea” (Cascajal, 2013, pág. 13).

Unidad hidrogeológica V: “terrazas altas del llano esta unidad hidrogeológica, confirmada por sedimento de gravas y bloques con matriz limo-arcillosa se estima que tiene muy baja productividad (capacidades menos del 0.05 L/s/m). es una unidad de carácter local” (Cascajal, 2013, pág. 14).

Unidad hidrogeológica VI: “Formación san Fernando esta unidad está constituida por arcillolitas y limolitas con intercalaciones de arenisca (los cuales podrían comportarse como acuíferos locales)” (Cascajal, 2013, pág. 14).

Evaporación

“Los registros más altos se presentan en el periodo seco diciembre-marzo con valores que se encuentran en 178 a 228 mm dentro de los valores medios totales mensuales de evaporación. En meses restantes de periodo húmedo se encuentra entre 104 - 139 mm, el total de evaporación media es de 1745,8 mm/año, menor que la precipitación, lo que permite deducir que existe un exceso hídrico” (Alcaldía de Yopal, 2021).

Humedad Relativa

“En los meses de abril -septiembre la humedad relativa media está por encima del 80%, valores que se encuentran en el periodo lluvioso; octubre y noviembre donde finaliza la temporada de lluvia disminuye en un rango no inferior al 77% y en los meses de sequía disminuye hasta un 65%. Los valores más bajos promedios se registran en el mes de enero, febrero y marzo y los más altos durante el período húmedo” (Alcaldía de Yopal, 2021).

Precipitación

“En el Departamento se presenta un patrón de lluvias monomodal, caracterizado por un largo periodo de lluvias abril, mayo, junio y julio, que es seguido por un periodo seco, diciembre, enero, febrero y marzo. Los índices máximos de precipitación se presentan en el mes de mayo y los mínimos en enero. El total de precipitación media anual para la estación el Morro es 3781,5 mm, La Chaparrera 2375,6 mm y Yopal 2324,8 mm” (Sanchez H, 2014)

Geomorfología

“El área de Influencia de la Vereda la Niata se caracteriza por presentar un paisaje principalmente de piedemonte, sin embargo, el área de proyecto se caracteriza por la formación de planicies con topografía suave donde las pendientes no superan el 10 %, Los suelos se caracterizan por la presencia de materiales sedimentarios como las arcillo/itas, lodo/itas y depósitos cuaternarios, mezclas de arcilla y arenisca que hace ser altamente susceptibles a procesos erosivos debido a la poca cohesión de sus componentes que se manifiesta en formación de cárcavas e incisiones profundas” (Pot Yopal, 2003)

Suelo

De acuerdo con la información recolectada (Sima Ingenieros, 2011, pág. 24) Se menciona:

“según el plan de ordenamiento territorial del municipio de Yopal, el sector de la Niata se define como aptitud VPBa, WDAx y VMBf2, ocupado por pastizales, rastrojos y en parte se utiliza para cultivos transitorios VPBa, suelos desarrollados en relieve plano, con pendientes menores del 3%; están utilizados en pastos y pequeños sectores en cultivos comerciales de arroz y palma africana.

WDAx, suelos desarrollados en relieve plano, con pendiente menores del 3%, muy susceptibles a inundaciones y con abundante pedregosidad; corresponden a la clase VII por sus aptitud de uso.

VMBf2, suelos desarrollados en relieve escarpado, con pendientes 50-75% y erosión hídrica laminar moderada y movimientos en masa (reptación y terraceo), están utilizados principalmente en rastrojo.”

Usos del Suelo

De acuerdo con la información recolectada (Cascajal, 2013, pág. 14) se menciona que:

“La valoración del uso del suelo se realizó por medio de la cobertura vegetal identificada. Se encontró entonces que a las zonas del área excavada y pastizal enmalezado se le dio una valoración de muy baja y a las zonas de relicto boscoso y vegetación arbórea y arbustiva se le dio una valoración de moderada”.

Zonificación geotécnica

“Establece la susceptibilidad a fenómenos de remoción de masa y este factor se correlaciona en términos de estabilidad geotécnica (muy alta, media a alta, media y baja). La zonificación geotécnica del área muestra en general un promedio de estabilidad muy alta y en mayor proporción la categoría media alta, que cubre en un mayor porcentaje mayor de bloque. Teniendo en cuenta el resultado de la zonificación es evidenciable que, debido a la pluviosidad, tectónica del sector, litologías aflorantes y pendientes, de acuerdo a lo analizado se evidencia que

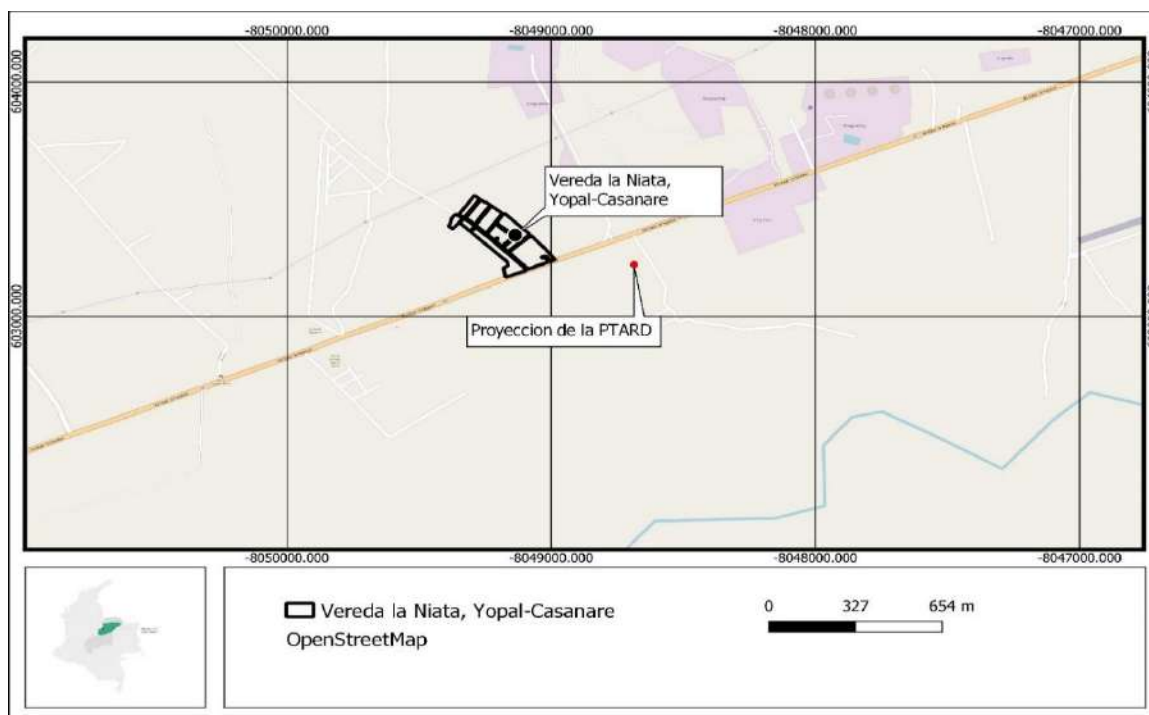
la vulnerabilidad del sitio del proyecto es baja, correspondiente a una zonificación geotécnica muy estable y estable en el área de influencia” (Cascajal, 2013, pág. 17).

Temperatura

“La temperatura media anual registra valores entre 22°C y 30,4°C, el período húmedo es el más fresco ya que las temperaturas descienden en más de dos grados, mientras que el período seco es el más caluroso con valores que superan los 24°C, teniendo como base los valores medios mínimos, el promedio medio anual es de 26,4 °C para el municipio de Yopal, presentándose una baja oscilación intra-anual, lo cual es típico en las regiones tropicales” (Alcaldía de yopal, 2021).

Figura 3

Ubicación geográfica donde se proyecta la PTARD



Fuente: Autoría propia

Bienes y servicios

Acueducto

En la Vereda La Niata el servicio de acueducto que existe en la actualidad apenas tiene una cobertura del 60% aproximadamente, demás las viviendas de la parte alta de la Vereda no alcanzan a llegar el servicio (Sima Ingenieros, 2018).

Vías

Las vías de la Vereda son destapadas con material de recebo en tierra y piedra debidamente compactada con equipos, no cuentan con sumideros y red de alcantarillado además tampoco disponen con una red de aguas negras.

Actividades económicas

“Las primordiales actividades económicas de la región son la ganadería extensiva con fines de cría, levante, y ceba; la agricultura campesina y la actividad petrolera.

En la actividad agrícola se cultiva Plátano, yuca, caña panelera, a nivel industrial se cultiva la palma africana y frutos cítrico” (Sima Ingenieros, 2018).

Dentro de la investigación no se encontraron cifras de porcentaje de ocupación ni cantidades al mes de su producción, la información es muy escasa y casi nula sobre sus actividades económicas.

Impactos sociales y ambientales

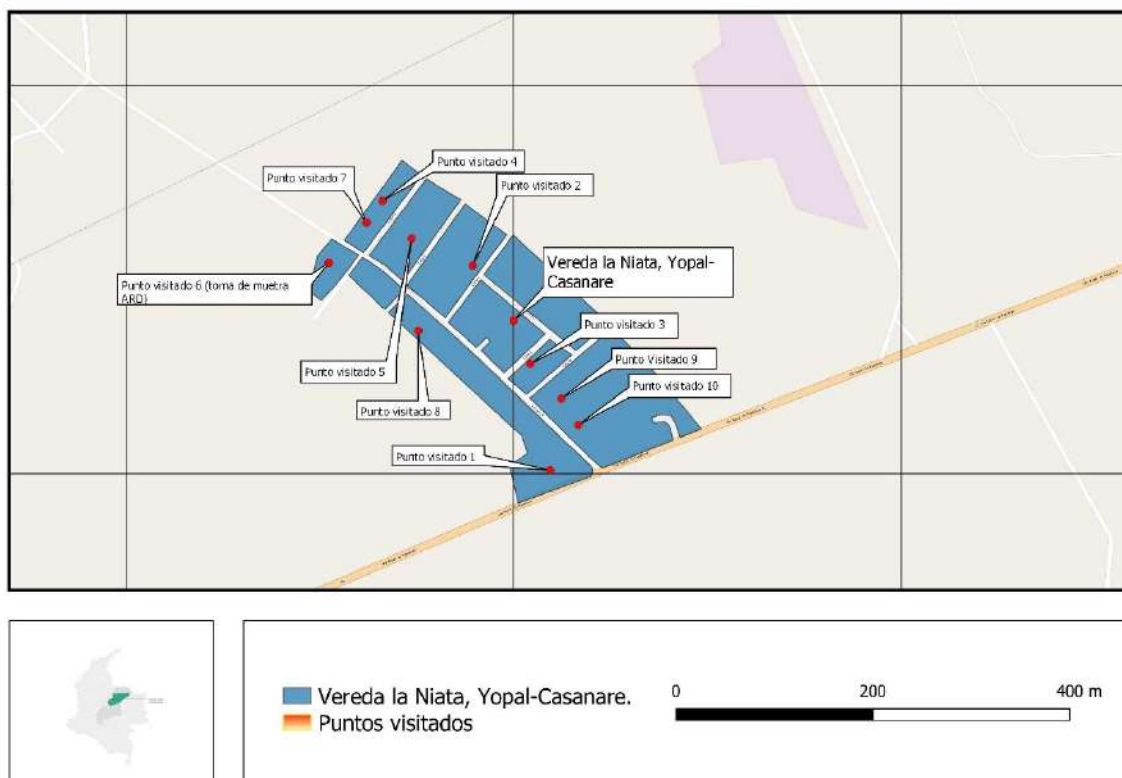
“La contaminación en cuerpos de agua superficial y subterránea por causa de las ARD que se genera en la Vereda la Niata del municipio de Yopal (Casanare) que no cuentan con tratamiento alguno; la Presencia de vectores, cambio de las características del subsuelo procedente de microorganismos contaminantes en el ARD que fluye por diferentes ecosistemas, en la flora, el suelo y ecosistemas acuáticos; produciendo malos olores debido a que estas aguas

tienen heces fecales y otra cantidad de contaminantes orgánicos que generan olores irritantes, Socialmente puede generar enfermedades por causa de los microorganismos y la presencia de roedores y vectores mencionada anteriormente que se presenten en las viviendas aledañas, potreros y vías” (Higuera S, 2017, pág. 78).

Etapa 2-Identificar las características fisicoquímicas de los vertimientos de agua residual doméstica en la Vereda la Niata.

Se realizan visitas a campo donde se identifican los pozos sépticos y los puntos de vertimiento que se encuentran a lo largo de la Vereda, estos pozos en su gran mayoría no cuentan con revestimiento adecuado si no que son huecos artesanales que pueden causar la filtración de ARD a las corrientes de agua subterránea, sus vías son secundarias y terciarias en tierra, en algunos sectores hay canales para evacuar el agua lluvia y ARD de forma artesanal, en sus alrededores hay terrenos desocupados que no se les da ningún tipo de uso y en su gran mayoría están arborizadas, la Vereda cuenta con 85 viviendas residenciales.

Se evidencia la falta de una PTARD y sumado a esto de un sistema de alcantarillado adecuado para la Vereda ya que tan solo el 20% cuenta con este servicio, se toman fotografías de evidencia y encuestas aleatorias, se decide realizar un total de 10 encuestas como evidencia, una por integrante de cada familia ya que como ingenieros ambientales debemos reducir el consumo recursos, ademas se tomó una muestra simple ARD a un pozo séptico, así mismo entrevistar a la comunidad, quien también se muestra preocupada por la salud pública, daños al medio ambiente y a sus ecosistemas.

Figura 4*Puntos de visita***Fuente:** Autoría propia**Niveles de complejidad del sistema**

Para todo el territorio nacional se establecen los siguientes niveles de complejidad:

1. Bajo
2. Medio
3. Medio Alto
4. Alto

La clasificación del proyecto en uno de estos niveles depende del número de habitantes en la zona urbana del municipio, su capacidad económica y el grado de exigencia técnica que se

requiera para adelantar el proyecto, de acuerdo con lo establecido en la tabla. (Minvivienda, 2000, pág. A.9)

Tabla 2

Asignación del nivel de complejidad

Nivel de complejidad	Población en la zona	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Fuente: Ministerio de vivienda y desarrollo (Minvivienda, 2000, pág. A.9)

Este proyecto por sus características tendrá una calificación de complejidad baja.

Figura 5

Vertimiento de ARD en la vía



Fuente: Autoría propia

Nota. Se realiza visita e inspección visual de los puntos de vertimiento de ARD, Se evidencia como el agua sale de mangueras o tubería hechas de las viviendas que son encargadas de transportar el agua residual proveniente de la lavadora, lava manos, lava platos, los lavaderos, la ducha etc. en varios puntos se visualizó aguas negras que con análisis organolépticos (su olor, color y aspecto) se determina que su proveniencia es de las unidades sanitarias de las viviendas.

Figura 6*Pozo séptico de la comunidad*

Fuente: Autoría propia

Se realiza visita e inspección visual a 6 pozos de las viviendas que cuentan con pozos sépticos fabricados de forma rudimentaria pero eficientes a la hora de retener el agua residual doméstica y mitigar los malos olores que provocan estas aguas, el problema de estos pozos es que generan filtraciones al suelo y contaminación al agua subterránea cuando no son revestidos, además nos informaron que estos pozos también pueden y son usados como almacenamiento y a menudo llegan a su máxima capacidad y deben contactar con el municipio (en este caso Yopal) que cuenta con un programa de recolección de ARD, para estos casos se solicita la extracción de estas aguas, pero en muchas ocasiones se demoran meses en realizar la labor y durante este tiempo se presentan reboses y por consiguiente malos olores y vectores.

Resultados y análisis físico in-situ de caracterización de aguas

Se evidencia que uno de los pozos sépticos se encontraba ya sobre el límite de su capacidad máximo y se toman varias muestras para realizarles los análisis con ello determinar las características fisicoquímicas, estos análisis se realizan en el laboratorio de la empresa SIMA INGENIEROS ya que cuenta con un laboratorio para realizar varios parámetros de agua, cabe aclarar que no es un laboratorio certificado, este laboratorio cumple con la labor de verificar los parámetros de las aguas que son tratadas en dicha empresa.

Figura 7

Toma de muestras pozo séptico



Fuente: Autoría propia

Nota. En la fotografía se evidencia la toma de muestra de uno de los tanques sépticos de la Vereda la Niata, Yopal-Casanare

Las muestras y preservaciones de toman de acuerdo al instructivo de ensayo del IDEAM.

DQO: “Recolectar las muestras en botellas de plástico o de vidrio. Preservar la muestra en campo a un pH <2 por adición de H₂SO₄ concentrado y mantener refrigerada hasta el momento del análisis. El tiempo máximo de vida útil de la muestra es de veintiocho (28) días” (IDEAM, 2020, pág. 6).

DQO₅: “Tome la muestra de tal manera que sea representativa del vertimiento en estudio. Utilice frascos plásticos de polipropileno de 2000 ml de capacidad. Refrigere la muestra a 4°C hasta el momento del análisis. Lleve las muestras a temperatura ambiente. Efectúe el análisis dentro de las 24 horas siguientes a la toma de la muestra. Las muestras para el análisis de DBO₅ pueden degradarse significativamente durante el almacenamiento entre la recolección y el análisis, resultando en bajos valores de DBO₅” (IDEAM, 2017, pág. 10).

SST: “Tomar la muestra en tal forma que no contenga partículas flotantes grandes o aglomerados. Utilizar envases de polipropileno de 2000 ml de capacidad, para evitar que los sólidos suspendidos en la muestra se adhieran a las paredes del envase. Realizar la determinación de los sólidos dentro de los siete (7) días siguientes a la toma de la muestra. Refrigerar la muestra a 6°C (no congelar) hasta el momento del análisis para minimizar la descomposición microbiológica de los sólidos. Antes de iniciar el análisis, llevar la muestra a temperatura ambiente” (IDEAM, 2020, pág. 5).

Grasas y aceites: “El muestreo debe hacerse sobre la superficie del afluente. Tomar directamente en un recipiente de vidrio de boca ancha (previamente lavado) una alícuota de al menos 1000 ml de muestra puntual, no realizar subdivisiones en el laboratorio. Si es necesario realizar análisis por duplicado, coleccionar replicado de muestra (en paralelo y forma rápida). Las

muestras deben ser acidificadas hasta pH 2 con solución de HCL 1:1 o H₂SO₄ 1:1 preservada mediante refrigeración a una temperatura menor o igual a 4 °C” (IDEAM, 2020, pág. 4).

Figura 8

Toma de parámetros in-situ



Fuente: Autoría propia

Nota. se usa un multiparámetro para tomar parámetros in situ, pH, Conductividad, Oxígeno disuelto y Temperatura; Parámetros mínimos que se debe medir para complejidad baja según (RAS Tit E, 2000, pág. 25)

Tabla 3*Tabla de Resultados de las muestras*

Fecha	pH	Conductividad	Oxígeno disuelto	Temperatura	Lugar de la muestra
Julio 15 del 2021					
Unidades	N/A	$\mu\text{S/cm}$	Mg/L	C°	N/A
Resultado	7,38	1260	3	26	Pozo séptico

Fuente: Elaboración propia

Nota. Resultados de parámetros de ARD in situ tomada en el pozo séptico de una de las viviendas de la Vereda la Niata del municipio de Yopal-Casanare.

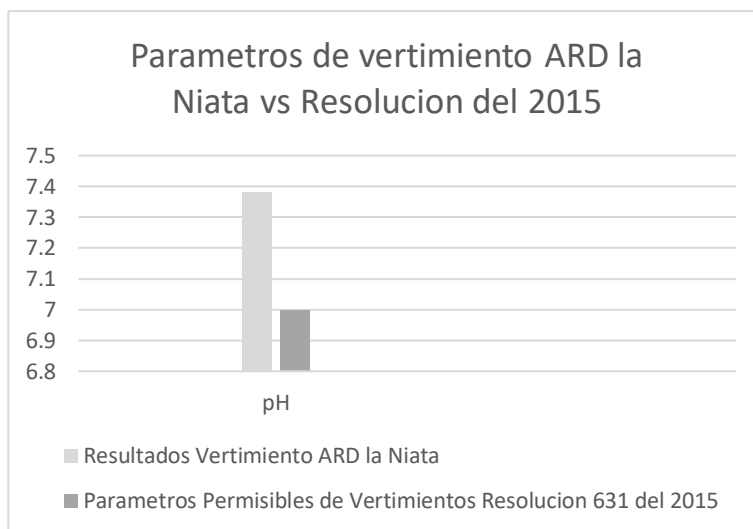
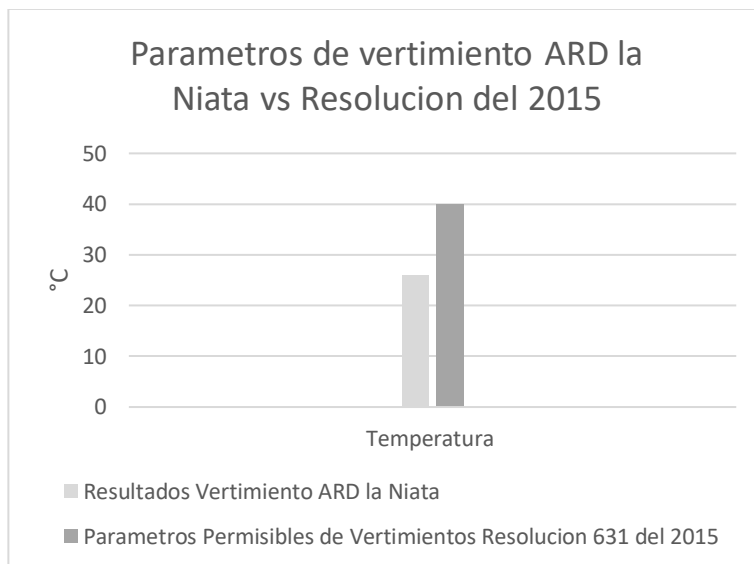
Figura 9*Parámetros de vertimiento vs resolución 0631 del 2015, pH***Fuente:** Autoría propia

Figura 10

Parámetros de vertimiento vs resolución 0631 del 2015, Temperatura



Fuente: Autoría propia

Los parámetros máximos permisibles de vertimiento ARD para conductividad y oxígeno disuelto no son considerados por la norma, pero la norma si establece que se debe llevar un registro de análisis y reporte (Resolución-631, 2015, pág. 6).

Análisis Laboratorio

Parámetros mínimos que se debe medir para complejidad baja según (RAS Tit E, 2000, pág. 25)

DBO₅

Grasas y Aceites

Sólidos suspendidos totales

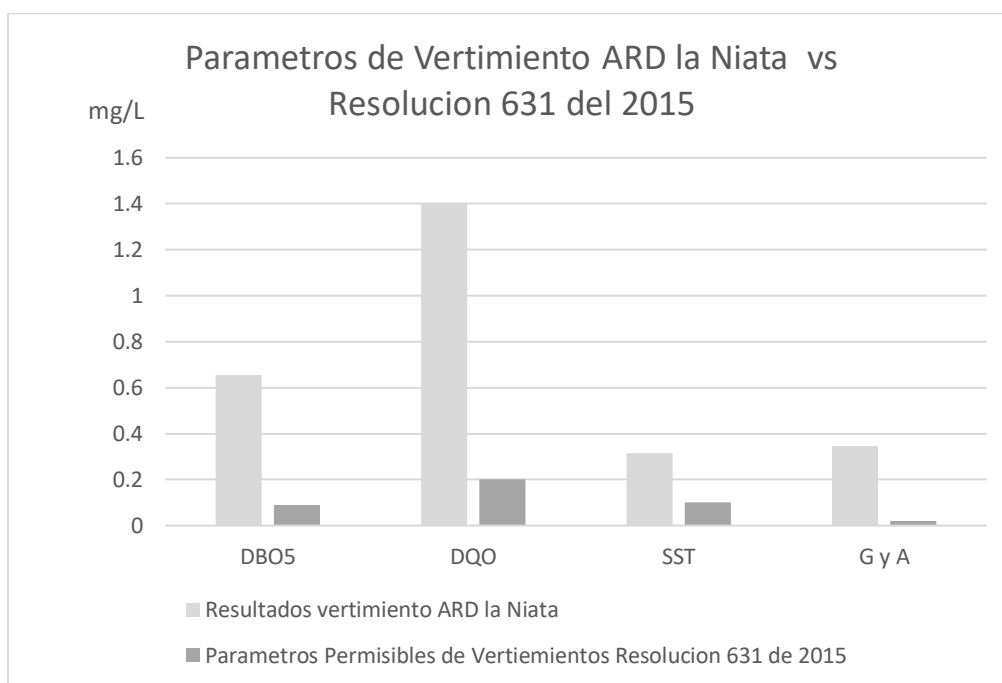
DQO

Tabla 4*Resultados laboratorio (julio 25 del 2021)*

Parámetro	Unidades	Resultado
DQO	mg/L O ₂	1405.0
DBO ₅	mg/L O ₂	655.7
Sólidos Suspendidos Totales	(mg/L)	314.3
Grasas y aceites	mg/L	344.9

Fuente: Elaboración propia

Nota. Resultados de parámetros de ARD in situ tomados en el pozo séptico de una de las viviendas de la Vereda la Niata del municipio de Yopal-Casanare.

Figura 11*Parámetros de vertimiento vs resolución 632 del 2015***Fuente:** Autoría propia

Etapa 3- Elaborar los Cálculos Establecidos en la Resolución 0330 del 2017 (RAS 2000) y los Necesarios para el Diseño de la PTARD

Determinar el caudal de diseño

Número de habitantes por sectores

Los beneficiarios del proyecto son los habitantes de la Vereda y es proyectada hasta el año 2033, una vida útil de 12 años, tiempo estipulado por el diseñador, conformada de la siguiente manera:

Figura 12

Censo Yopal-Casanare



Fuente: Autoría propia

Tabla 5*Últimos censos poblacionales encontrados*

Vereda donde se realizará el proyecto	Año del censo DANE	Año de censo DANE
La Niata de Yopal	2005	85
	2018	258

Fuente: Elaboración Propia

Nota. Últimos censos poblacionales de la Vereda la Niata del municipio de Yopal-Casanare (DANE, 2008).

Estudio de Proyecciones Poblacionales

“La proyección se hizo mediante los métodos de crecimiento aritmético, para poblaciones con nivel de complejidad bajo” (Guia RAS, 2003, pág. 20)

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} * (T_f - T_{uc})$$

“Donde,

- Pf = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).
- Puc= Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).
- Pci= Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).
- Tuc= Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.
- Tci= Año correspondiente al censo inicial con información.

- Tf = Año al cual se quiere proyectar la información” (Guia RAS, 2003, pág. 20)

$$P_f = 258 + \frac{258 - 85}{2018 - 2005} * (2033 - 2018) = 453 \text{ Hab proyectados para el 2033}$$

Dotación neta máxima

“Para el cálculo de la dotación neta, se establece que, en caso de no tener datos históricos de consumo en la zona de interés, la dotación neta asumida debe cumplir lo siguiente”:

(Resolucion-330, 2017, pág. 33)

Tabla 6

“Dotación Neta por Clima y Nivel de Complejidad del Sistema

Altura promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida	Dotación neta (L/hab*día)
> 2000 msnm	120
1000 – 2000 msnm	130
< 1000 msnm	140

Fuente: Dotación neta de la población respecto a los msnm estipulados por la (Resolucion-330, 2017, pág. 33)

La ciudad de Yopal se encuentra a una altura de 390 msnm, en este orden de ideas trabajaremos con la dotación de 140 L/hab*día

Coefficiente de retorno

“La estimación del coeficiente de retorno preferiblemente debe provenir de análisis de información existente en la localidad y/o de mediciones de campo realizadas por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado para cada una de las zonas del municipio, En caso de que esta información no exista, o se considere muy limitada o escasa, pueden utilizarse el siguiente valor” (RAS Tit D, 2016, pág. 51).

$$CR = 0,85$$

Cálculo del caudal domestico Qd

“Es necesario hacer consideraciones de velocidad mínima con base en el tipo de vertimientos y sustancias presentes para evitar obstrucciones o daños en la red, Sin embargo, para industrias pequeñas localizadas en zonas residenciales o comerciales pueden utilizarse los valores de aguas domesticas de 0,62 L/s como se presenta a continuación”: (RAS Tit D, 2016, pág. 52)

$$Qd = \frac{pd * DN * CR}{86400} = [L/s]$$

$$Qd = \frac{140 L/hab/dia * 453 hab * 0,85}{86400} = 0,62 L/s$$

Donde;

C: Consumo de agua per cápita

P: Población

CR: Coeficiente de retorno

Calcule el caudal por infiltración Q_f

“Es inevitable la infiltración de aguas subsuperficiales a las redes de sistemas de alcantarillado de aguas residuales, principalmente freáticas, a través de fisuras en las tuberías, en juntas hechas deficientemente, en la unión de tuberías con cámaras de inspección y demás estructuras, y en estos elementos cuando no son completamente impermeables. En ausencia de medidas directas o ante la imposibilidad de determinar el caudal por infiltración, el aporte puede establecerse con base en los valores dados de: 0,2 L/s.hab” (RAS Tit D, 2016, pág. 55).

$$Q_f = A_p * inf = [L/s]$$

$$Q_f = 1 Ha * 0,2 \frac{L}{s.hab} = 0,2 L/s$$

Donde,

A_p : Área proyectada (Ha)

Inf: aportes por infiltración (L/s.hab)

Calcule el caudal de conexiones erradas Q_{ce} ,

“El caudal de aguas residuales debido a las conexiones erradas debe calcularse para las condiciones iniciales de operación, es decir para el momento de entrada en operación de la red de alcantarillado de aguas residuales objeto del diseño, y para las condiciones finales, correspondientes al final del período de diseño, teniendo en cuenta todo lo establecido en el plan de ordenamiento territorial del municipio.

El aporte máximo de las conexiones erradas a un sistema de alcantarillado de aguas residuales existente o proyectado debe ser de hasta 0,2 L/s por ha en el caso de que en el municipio exista un sistema de alcantarillado de aguas lluvias” (RAS Tit D, 2016, pág. 54).

$$Q_{ce} = A_p * CE = [L/s]$$

$$Q_{ce} = 1 \text{ Ha} * 0,2 \frac{L}{s.hab} = 0,2 \text{ L/s}$$

Donde,

CE: aporte por conexiones erradas (L/s. hab)

Calcule el Caudal medio QM sumando los anteriores así,

“El caudal medio diario de aguas residuales (QMD), para un tramo con un área de drenaje dada, es la suma de los aportes domésticos” (RAS Tit D, 2016, pág. 56)

$$Q_{DT} = Qd + Qf + Qce$$

$$Q_{DT} = 0,62 \frac{L}{s} + 0,2 \frac{L}{s} + 0,2 \frac{L}{s} = 1,02 \frac{L}{s}$$

Halle el caudal Máximo QMH

(RAS Tit D, 2016, pág. 56)

$$QMH = QM * F$$

$$QMH = 1,02 \frac{L}{s} * 3,7 = 3,77 \frac{L}{s}$$

Donde,

“F: al factor según la fórmula de flores en función de la población de diseño” (RAS Tit D, 2016, pág. 57)

$$F = \frac{3,5}{\left(\frac{453}{1000}\right)^{0,1}} = \frac{3,5}{0,9238} = 3,7$$

De acuerdo a lo que establece el RAS, En general el valor de F debe ser mayor o igual que 1,4 (RAS Tit D, 2016, pág. 57).

Caudal de diseño

“El caudal de diseño de cada tramo de la red de tuberías se obtiene sumando al caudal máximo horario del día máximo, QMH, los aportes por infiltraciones y conexiones erradas” (RAS Tit D, 2016, pág. 58)

$$QDT = QMH + QF + QCE$$

$$QDT = 3,77 \frac{L}{s} + 0,2 \frac{L}{s} + 0,2 \frac{L}{s} = 4,17 \frac{L}{s}$$

Consideramos un caudal de diseño de 4,17 L/s.

Nota: El caudal de diseño debe estar en unidades de m³/día.

Primero se realiza la conversión del caudal de diseño de L/s a m³/día

$$Q_D = 4,17 \frac{L}{s} * \frac{0,001 m^3}{L} * \frac{86400 s}{dia} = 360 \frac{m^3}{dia}$$

Pretratamiento

Cribado

“El cribado se emplea para la reducción de sólidos en suspensión de tamaños distintos, dispuestos convencionalmente de modo que permitan la retención y remoción del material extraño presente en las aguas negras y que pueda interferir los procesos de tratamiento” (RAS Tit E, 2000, pág. 50).

“Las rejillas deben colocarse aguas arriba de las estaciones de bombeo o de cualquier dispositivo de tratamiento subsecuente que sea susceptible de obstruirse por el material grueso que trae el agua residual sin tratar, el canal de aproximación a la rejilla debe ser diseñado para prevenir la acumulación de arena u otro material pesado aguas arriba de está, además, debe tener preferiblemente una dirección perpendicular a las barras de la rejilla. El sitio en que se encuentren las rejillas debe ser provisto con escaleras de acceso, iluminación y ventilación adecuada” (RAS Tit E, 2000, pág. 50).

Espaciamiento

“Se recomienda un espaciamiento entre las barras de la rejilla de 15 a 50 mm para rejillas limpiadas manualmente, y entre 3 y 77 mm para rejillas limpiadas mecánicamente” (RAS Tit E, 2000, pág. 50) .

Velocidad mínima de aproximación

“Para garantizar un área de acumulación adecuada, la velocidad de aproximación a las rejillas debe estar entre 0.3 y 0.6 m/s para rejillas limpiadas manualmente, entre 0.3 y 0.9 m/s para rejillas limpiadas mecánicamente” (RAS Tit E, 2000, pág. 50).

Velocidad mínima entre barras

“Se debe usar un rango de velocidades entre 0.3 y 0.6 m/s y entre 0.6 y 1.2 m/s para rejillas limpiadas manualmente y mecánicamente respectivamente” (RAS Tit E, 2000, pág. 51)

Tabla 7

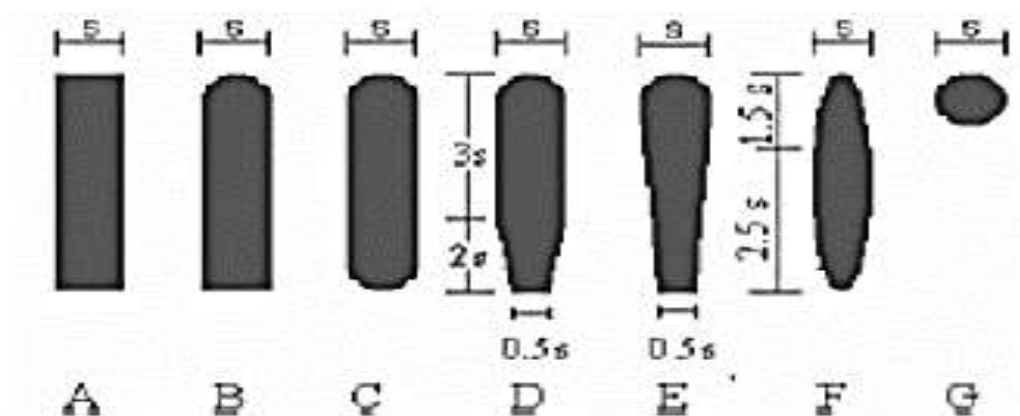
Coefficiente de pérdida para rejillas

Sección transversal							
Forma	A	B	C	D	E	F	G
β	2.42	1.83	1.67	1.035	0.92	0.76	1.79

Fuente: Reglamento técnico de agua y saneamiento (RAS Tit E, 2000, pág. 51)

Figura 13

Diferentes formas de rejillas



Fuente: Reglamento técnico de agua y saneamiento (RAS Tit E, 2000, pág. 51)

Cálculo de pérdida de carga:

“Para el cálculo de la pérdida de carga se recomienda usar la siguiente ecuación:

Para el cálculo se asumieron rejillas de barras rectangulares de 8 mm de ancho, con espaciamentos entre barras de 20 mm” (RAS Tit E, 2000, pág. 51).

$$H_{L1} = \beta * \left(\frac{s}{b}\right)^{1,33} * \sin \alpha$$

H_{Li} = Pérdida de carga a través de la rejilla (cm)

β = Factor de forma de las barras (2,42 para barras rectangulares)

s = Ancho máximo de las barras = 8 mm (0,8 cm)

b = Espaciamiento entre las barras = 20 mm (2 cm)

θ = Ángulo de las barras de la rejilla con respecto a la horizontal (75°)

$$H_{L1} = 2,42 * \left(\frac{0,8 \text{ cm}}{2 \text{ cm}}\right)^{1,33} * \sin 75 = 0,69 \text{ cm}$$

Trampa de grasa

“Son tanques pequeños de flotación donde la grasa sale a la superficie y es retenida mientras el agua aclarada sale por una descarga inferior, no lleva partes mecánicas y el diseño es parecido al de un tanque séptico, recibe nombres específicos según al tipo de material flotante que vaya a removerse” (RAS Tit E, 2000, pág. 28).

“1. Domiciliar: Normalmente recibe residuos de cocinas y está situada en la propia instalación predial del alcantarillado.

2. Colectiva: Son unidades de gran tamaño y pueden atender conjuntos de residencias e industrias

3. En Sedimentadores: Son unidades adaptadas en los sedimentadores (primarios en general), las cuales permiten recoger el material flotante en dispositivos convenientemente proyectados, para encaminarlo posteriormente a las unidades de tratamiento de lodos” (RAS Tit E, 2000, pág. 28).

Localización

“Deben localizarse lo más cerca posible de la fuente de agua residual (generalmente la cocina) y aguas arriba del tanque séptico, sedimentador primario o de cualquier otra unidad que requiera este dispositivo para prevenir problemas de obstrucción, adherencia a piezas especiales, acumulación en las unidades de tratamiento y malos olores, debe tenerse en cuenta, que independientemente de su localización, deben existir condiciones favorables para la retención y remoción de las grasas” (RAS Tit E, 2000, pág. 28).

Parámetros de diseño

“El diseño debe realizarse de acuerdo con las características propias y el caudal del agua residual a tratar, teniendo en cuenta que la capacidad de almacenamiento mínimo expresada en kg, de grasa debe ser de por lo menos una cuarta parte del caudal de diseño (caudal máximo horario) expresado en litros por minuto, el tanque debe tener 0.25m² de área por cada litro por segundo, una relación ancha/longitud de 1:4 hasta 1:18, una velocidad ascendente mínima de 4 mm/s.

En las siguientes tablas se pueden ver los caudales y capacidades de retención y los tiempos de retención hidráulica típicos que se deben usar para trampas de grasa respectivamente” (RAS Tit E, 2000, pág. 28).

Tabla 8*Capacidades de retención de grasa*

Tipo de afluente	Caudal (L/min)	Capacidad de retención de grasa (Kg)	Capacidad máxima recomendada (L)
Cocina de restaurante	56	14	190
Habitación sencilla	72	18	190
Habitación doble	92	23	240
Dos habitaciones sencillas	92	23	240
Dos habitaciones dobles	128	32	330
Lavaplatos para restaurante			
Volumen de agua mayor de 115 litros	56	14	115
Volumen de agua mayor de 190 litros	92	23	240
Volumen entre 190 y 378 litros	144	36	378

Fuente: Reglamento técnico de agua y saneamiento (RAS Tit E, 2000, pág. 29)

Entradas y salidas

“Deben colocarse elementos controladores de flujo en las entradas para protección contra sobrecargas o alimentaciones repentinas, el diámetro de la entrada debe ser de un diámetro mínimo de 50 mm y el de la salida de por lo menos 100 mm, el extremo final del tubo de entrada debe tener una sumergencia de por lo menos 150 mm, el tubo de salida haga la recolección debe localizarse por lo menos a 150 mm del fondo del tanque y con una sumergencia de por lo menos 0.9 m” (RAS Tit E, 2000, pág. 29).

Tabla 9*Tiempos de retención hidráulicos*

Tiempo de retención (minutos)	Caudal de entrada (L/s)
3	2-9
4	10-19
5	20 o mas

Fuente: Reglamento técnico de agua y saneamiento (RAS Tit E, 2000, pág. 29).

“Según la de tiempos de retención hidráulica, al tener un caudal de 4,17 L/s está dentro del rango 2-9 y con un mínimo de retención de 3 minutos según lo estipulado por la norma,

Según la ecuación 1, se calculó el Volumen de la Trampa de Grasa utilizando el Caudal de Diseño y el Tiempo de Retención, Para iniciar el dimensionamiento se usó el Caudal disponible, el cual es:” (RAS Tit E, 2000, pág. 29).

Caudal de diseño

$$Qd = 4,17 \text{ L} / \text{s} = 0,00417 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Volumen Trampa De Grasa

$$V = Q_d * t_r$$

Donde

V: Volumen trampa de grasas (m^3)

t_r : Tiempo de retención.

$$V = 4,17 \frac{\text{L}}{\text{s}} * 60 * 3 \text{ min} = 750,6 \text{ L}$$

Tabla 10

Tabla volumen trampa de grasa

	L	750,6
v	m^3	0,7506

Fuente: Elaboración propia

Nota. Volumen de trampa de grasa estimado en L y m^3

Área superficial

$$A = \frac{Qd}{Va}$$

Donde

A: Área superficial (m^2)

Qd: Caudal de diseño (m^3 /s)

Va: una “velocidad ascendente mínima de 4 mm/s” (RAS Tit E, 2000, pág. 28).

$$A = \frac{Qd}{Va}$$

$$A = \frac{0,00417m^3/s}{0,004 m/s} = 1,04 m^2$$

Dimensionamiento trampa de grasa (largo, ancho y alto)

$$A = L * B$$

$$L = 4B$$

$$B = \sqrt{\frac{A}{4}}$$

$$B = \sqrt{\frac{A}{4}} = \sqrt{\frac{1,04 m^2}{4}} = 0,50 m$$

$$L = 4 * 0,50 m = 2 m$$

$$H = \frac{0,7506 \text{ m}^3}{1,04 \text{ m}^2} = 0,72 \text{ m}$$

Siendo:

L= Largo (m)

B= Ancho (m)

H= Altura (m)

A= Área superficial (m²)

Ahora se determina la dimensión del Bafle para el proceso de flotación de la grasa

Localización Bafle

Se encuentra un 75% del largo desde la entrada.

$$U_b = 0,75 * 2 \text{ m} = 1,44 \text{ m}$$

Elevación del Bafle

Pertenece a un 90% de la Altura.

$$H_b = 0,90 * 0,72 \text{ m} = 0,64 \text{ m}$$

Área entre Bafle y Fondo

Equivale a un 10% de la Altura.

$$E_{bf} = 0,1 * 0,72 \text{ m} = 0,07 \text{ m}$$

Para la ubicación de la Tubería se tuvo en cuenta las siguientes indicaciones:

Sitio de la tubería

Se encuentra a un 50% del ancho.

$$U_{tub} = 0,5 * 0,50 \text{ m} = 0,25 \text{ m}$$

Altura de entrada del tubo

Se sitúa a 35% de la altura.

$$H_{etb} = 0,35 * 0,72 \text{ m} = 0,25 \text{ m}$$

Desnivel de la tubería de salida (entrada e ingreso)

Corresponde el 22% de la altura.

$$H_{ectb}/H_{sitb} = 0,22 * 0,72 \text{ m} = 0,15 \text{ m}$$

Tabla 11**Resumen de medidas de diseño trampas de grasas**

Cauda de diseño Qd	Qd	4,17	L/s
		0,00417	m ³ /s
Tiempo de retención	Tr	3	min
Volumen trampa de grasa	V= Qd * Tr	750	L/min
		0,750	m ³ /min
Velocidad ascendente	Va	0,004	m/s
Área superficial	A	1,04	m ²
Largo	L	2	m
Ancho	B	0,50	m
Alto	H	0,72	m

Localización del Bafle	Ub	1,44	m
Elevación del Bafle	Hb	0,64	m
Área entre Bafle y Fondo	Ebf	0,07	m
sitio de la tubería	Utub	0,25	m
Altura de entrada del tubo	Hetb	0,25	m
Desnivel de la tubería (entrada e ingreso)	Hectb/Hsitp	0,15	m
tubo de salida			

Fuente: Elaboración propia

Nota. Resumen de las dimensiones dadas por los cálculos de la trampa de grasa.

Sedimentador

“El objeto de este tratamiento es básicamente la remoción de los sólidos suspendidos y DBO en las aguas residuales, mediante el proceso físico de asentamiento en tanques de sedimentación” (RAS Tit E, 2000, pág. 54)

Geometría

“Las dimensiones del tanque están determinadas por la cantidad de aguas negras que se requiera tratar y debe diseñarse para el caudal máximo horario esperado. Para el caso de tanques rectangulares la relación longitud: ancho debe estar entre 1.5:1 y 15:1. Para el caso debe escogerse la mayor de las áreas calculadas, de acuerdo a las siguientes tasas de desbordamiento superficial mínimas recomendadas

- 1) “Para caudal medio usar $33\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$ ”,

Asumiendo una tasa de desbordamiento superficial es de $33\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$, debe hallarse el Área superficial (A_s)” (RAS Tit E, 2000, pág. 54).

$$A_s = \frac{Q_D}{css}$$

Nota. El caudal de diseño debe estar en unidades de m³/día. Primero se realiza la conversión del caudal de diseño de L/s a m³/día

$$Q_D = 4,17 \frac{L}{s} * \frac{0,001 m^3}{L} * \frac{86400 s}{dia} = 360,288 \frac{m^3}{dia}$$

$$Q = Q'' + Q_3 + Q_9:$$

Ecuación para hallar el área de la superficie aplicando la siguiente ecuación.

$$A_s = \frac{360,288 \frac{m^3}{dia}}{33 m^3/m^2/dia} = 10,91 m^2$$

“Para el caso de tanques rectangulares la relación longitud: ancho debe estar entre 1.5:1 y 15:1.

La sección del sedimentador rectangular la tomamos en una relación 2:1 para el largo (L) con respecto al ancho (b), se tiene que L=2b, se hallan los valores de la sección” (RAS Tit E, 2000, pág. 55).

$$L * b = A_s \dots \dots b = \frac{A_s}{2}$$

Para hallar despejamos b así:

$$b * 2b = A_s \rightarrow 2b^2 = A_s \rightarrow \sqrt{\frac{A_s}{2}}$$

$$b = \sqrt{\frac{10,91m^3}{2}} = \sqrt{5,455 m^3} = 2,33 m$$

Luego L así:

$$L = 2 * 2,33 m = 4,66 m$$

Para Hallar la altura del sedimentador

“En el caso de tanques rectangulares se recomienda un rango de profundidades entre 2 y 5 m” (RAS Tit D, 2016, pág. 55).

$$\frac{h_s}{b/2} = \frac{2}{1}$$

$$h_s = \frac{2}{2} * b$$

Se calcula la altura:

$$h_s = \frac{2}{2} * 2,33 m = 2,33 m$$

Volumen canal de sedimentador

Expresado en m^3 ,

$$\vartheta_T = \frac{b * h_s}{2} * L$$

$$\vartheta_T = \frac{2,33 \text{ m} * 2,33 \text{ m}}{2} * 4,66 \text{ m} = 12,63 \text{ m}^3$$

Volumen del sedimentador

Expresado en m^3 , para un tiempo de retención hidráulica (trh) de 2 horas,

$$\vartheta = QD * trh = (m^3)$$

$$\vartheta = 360,288 \frac{m^3}{dia} * 2 \text{ horas} * \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ horas}} = 30,02 \text{ m}^3$$

Volumen adicional necesario

$$\vartheta_{adicional} = \vartheta - \vartheta_T$$

$$\vartheta_{adicional} = 30,02 \text{ m}^3 - 12,63 \text{ m}^3 = 17,39 \text{ m}^3$$

Altura para la adición

$$h_* = \frac{\vartheta_{adicional}}{b * L}$$

$$h_* = \frac{17,39 \text{ m}^3}{2,33 \text{ m} * 4,66 \text{ m}} = 1,6 \text{ m}$$

Volumen total

$$V_t = \vartheta_T + \vartheta_{adicional}$$

$$V_t = 12,63 \text{ m}^3 + 17,39 \text{ m}^3 = 30,02 \text{ m}^3$$

Tabla 12*Resumen de datos dimensiones sedimentador*

Dimensiones Sedimentador			
Caudal de diseño QD:	4,17 L/s	Área de superficie (As):	10,91m ³
Altura de sedimentación:	2,33 m	Longitud (L):	4,66 m
Altura para la adición:	1,6 m	Ancho (B):	2,33 m
Volumen del sedimentador:	30,02 m ³	Volumen total:	30,02m ³
tiempo de retención hidráulica (trh):	2 horas		

Fuente: Elaboración propia

Nota. Resumen de las dimensiones dadas por los cálculos para el diseño del sedimentador.

Lechos Filtrantes

Descripción técnica de la tecnología utilizada

“El sistema de lechos filtrantes son una tecnología limpia para el tratamiento de las ARD, el tratamiento biológico (fitorremediación utiliza la capacidad depuradora de la naturaleza para la descontaminación de aguas residuales, la tecnología se caracteriza por carecer de equipo electromecánico para realizar su función de depuración, lo cual permite una operación desentendida del sistema con costos de operación y mantenimiento insignificantes” (Torres J M. J., 2018, pág. 49).

“La tecnología consiste en activar la capacidad de múltiples procesos biológicos en plantas y microorganismos para obtener una remoción y degradación de diversos contaminantes presentes en las aguas residuales, debido a las características especiales de ciertas plantas como cañas y juncos (*Phragmites Communis*) de transferir sustanciales actividades de oxígeno atmosférico a través de su sistema de raíces, promoviendo una gran cantidad y diversidad de especies de microorganismos que prosperan en el suelo alrededor de sus raíces; es un sistema autosuficiente como ecosistema artificial, que utiliza combinación de particulares plantas, suelos y sistemas hidráulicos de flujo para optimizar procesos químicos y microbiológicos que se llevan a cabo en la zona de raíces” (O, 2019, pág. 21).

“La remoción de los contaminantes y el consecuente tratamiento de aguas residuales se logran por medio de una filtración controlada de los afluentes contaminados a través del lecho vegetal del sistema, este sistema también es conocido como humedal artificial por su gran capacidad de filtración utilizando los recursos que la naturaleza ofrece.

La eficiencia del sistema aumenta con el tiempo, la totalidad de los componentes del sistema tiene vida indefinida (plantas biológicamente resistentes), mínimos requerimientos de

energía, no necesita adición de agentes químicos, no se generan lodos excedentes, presenta zonas con condiciones aerobias y anaerobias donde se aprovechan las virtudes de ambos procesos, reducción de NO_3 (Nitrato) a N_2 (Nitrógeno libre) por medio de procesos anóxicos e desnitrificación, Remoción de diversos contaminantes de hasta un 98%, sistema compacto que en forma integral agrupa procesos de biofiltración, degradación aerobia, degradación anaerobia, procesos anóxicos y desecado de lodos en un mismo elemento de tratamiento; no produce malos olores, dado que el agua fluye sub superficialmente y en condiciones aerobias, sistema versátil y altamente flexible que permite tratar muchos tipos de aguas residuales, así como amplias variaciones de sus características, el sistema puede integrarse al paisaje natural de la zona donde se ubique, Ideal para complementar sistemas convencionales que no cumplen con los parámetros de vertido, la totalidad de los componentes que requiere el sistema se consiguen localmente, procesos de tratamiento ampliamente comprobado y difundido desde 1890, tecnología de láminas filtrantes con más de 20 años de investigación y desarrollo y más de 1000 proyectos en operaciones exitosas en zonas tropicales, costos de inversión muy competitivos en comparación con tecnologías de tratamiento convencionales, operación desatendida, no requiere de personal capacitado ni mano de obra especializada para su operación mantenimiento, no requiere mantenimiento, reparaciones, reposiciones costosas de equipo electromecánico” (Scandroots Colombia S.A.S, 2021).

Tabla 13*Mecanismos de remoción*

Mecanismos de remoción	Función
Aerobios	Degradación de materia orgánica; oxidación bioquímica.
Anòxico	Reducción de nitratos.
Anaerobios	Degradación de materia orgánica persistente.
Nutrientes	Solubilización por acción bacteriana y asimilación vegetal.
Materia orgánica	Acción bacteriana carbohidratos (aerobio), compuestos orgánicos persistentes (anaerobio), fenoles, pesticidas, grasas y aceites, hidrocarburos y tensoactivos.
Nutrientes	Bacterias por gramo de tierra, más de 5000 clases diferentes de bacterias. Solubilización por acción bacteriana y asimilación bacteriana, fosforo: absorción en minerales arcillosos, precipitación química: alcalina (calcio) $CO_3(PO_4)_3 OH$ -Acida (Fe/Al): $FePO_4$ Nitrógeno: Reducción de NO_3 (nitrato) a N_2 (Nitrato libre) por procesos anòxicos.
Metales pesados	Removidos por adsorción y asimilación vegetal, el pH
Solidos suspendidos	Filtración y precipitación; reducidas velocidades, escasa profundidad, filtración a través de las formas vegetales vivas y de los desechos vegetales, interface con la capa orgánica.

Fuente: Desarrollo de proyecto (Scandroots Colombia S.A.S, 2021).

Sustancias Biológicas Utilizadas en Láminas Filtrantes.

“Todos los microorganismos importantes, hongos y bacterias, que participan en el balance primario en la naturaleza necesitan superficies fijas donde puedan reproducirse y vivir; es por esta razón que las piscinas de Láminas Filtrantes realizan con muy buena eficiencia la degradación de las macromoléculas, el sistema de tratamiento de láminas filtrantes NO genera ningún tipo de plagas ya que son capaces de generar ECOSISTEMAS DENTRO del mismo cultivo, el material vegetal que No es otra cosa que una gramínea, altamente difundida a nivel de todo piso térmico” (Serrano G, 2008, pág. 18).

Degradación de Residuos con Metales Pesados

Los vegetales ejercen un papel importante en la remoción de productos tóxicos la “Phragmites Communis absorbe sustancias tóxicas activamente, concentrando en sus tejidos cantidades importantes de metales pesados, participando de esta manera en la desintoxicación de los mismos las plantas han desarrollado diferentes mecanismos para tolerar la presencia de las elevadas concentraciones de metales pesados en su entorno” (Serrano G, 2008, pág. 18).

“Sustrato TSN (TransformNutrients) con propiedades antioxidantes y rico en material orgánico se da un perfil orgánico del suelo que hace posibles enlaces entre las sustancias nocivas y los componentes orgánicos del lodo por procesos de insolubilización o también por su transformación en otras sustancias con menor grado de toxicidad los metales que participan en los enlaces de coordinación son los iones divalentes de Cobalto, Manganeso, Hierro, Cobre y Níquel” (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades , 2007).

Materia Orgánica

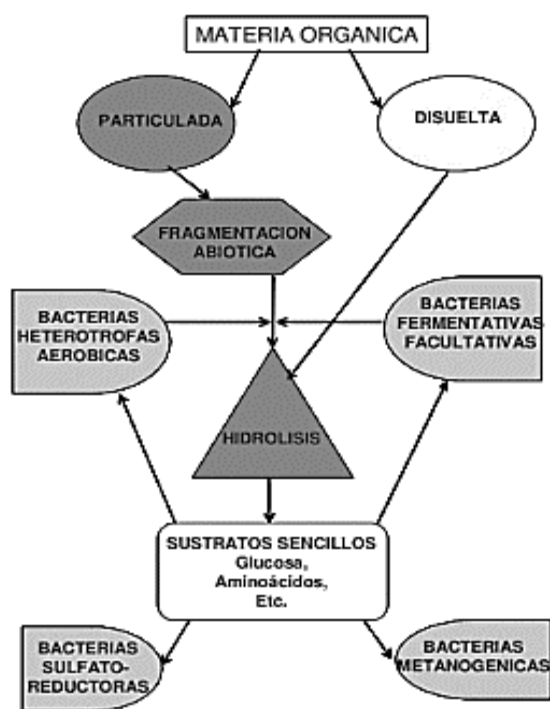
“La eliminación de la materia orgánica en los humedales es compleja ya que es el resultado de la interacción de numerosos procesos físicos, químicos y bióticos que suceden de forma simultánea, la materia orgánica particulada es retenida por filtración cerca de la entrada en sistemas horizontales, (tal y como se ha descrito para la materia en suspensión, ya que gran parte de esta materia orgánica es básicamente la materia en suspensión)” (Serrano G, 2008, pág. 12).

Esta fracción particulada, “por fragmentación abiótica, se convierte en partículas más pequeñas que pueden ser hidrolizadas por enzimas extracelulares estas enzimas son excretadas por bacterias heterótrofas aeróbicas y fermentativas facultativas, el resultado de la hidrólisis es la formación de sustratos sencillos (por ejemplo, glucosa o aminoácidos) que pueden ser asimilados por las bacterias heterótrofas aeróbicas o fermentativas facultativas” (Serrano G, 2008, pág. 12).

“Los ácidos a su vez pueden ser asimilados por bacterias sulfatoreductoras, metanogénicas y también, por supuesto, por las heterótrofas aeróbicas, los sustratos sencillos presentes en el agua residual son asimilados directamente sin necesidad de hidrólisis previa” (Serrano G, 2008, pág. 13) .

Figura 14

Procesos implicados en la degradación de la materia orgánica en los humedales



Fuente: Diseño y construcción de humedales (Serrano G, 2008, pág. 13).

“Por otra parte, se debe tener en cuenta que muchas sustancias disueltas se retienen por adsorción, bien en la propia materia orgánica o en el medio granular, estas sustancias pueden simplemente quedar allí, o bien desplazarse y ser reabsorbidas, o ser degradadas por microorganismos, la degradación de la materia orgánica por vía aeróbica en los humedales de

flujo horizontal sucede cerca de la superficie del agua (en los primeros 0,05 m de profundidad) y en las zonas cercanas a las raíces, el oxígeno liberado por las raíces no es suficiente para degradar completamente de forma aeróbica la materia orgánica de un agua residual de tipo medio” (Albuja E, 2012, pág. 57).

“Estimaciones realizadas a través de balances de masa y emisiones de gases indican que la degradación aeróbica es una vía poco importante con respecto a vías anaeróbicas en sistemas horizontales” (Albuja E, 2012, pág. 58).

“El hecho de que en diferentes sistemas se haya encontrado concentraciones apreciables de oxígeno en toda la profundidad del lecho, sugiere que la degradación aeróbica es una vía bastante importante, las bacterias heterótrofas aeróbicas en ausencia de oxígeno pueden degradar la materia orgánica por vía anóxica utilizando el nitrato como aceptor de electrones (desnitrificación)” (Serrano G, 2008, pág. 14).

“Está bastante claro que la vía anóxica opera en flujo horizontal ya que en muchos estudios se ha observado eliminación de amoníaco y en cambio ausencia de nitrato, lo que sugiere que el nitrato formado se elimina rápidamente por desnitrificación, en los sistemas horizontales hay supuestamente pocos lugares con condiciones aeróbicas, y por tanto en una parte muy importante del lecho, las bacterias fermentativas facultativas crecen originando ácidos grasos como el acético y el láctico, alcoholes como el etanol y gases como el H₂, Estos compuestos representan substratos para las bacterias sulfatoreductoras y metanogénicas, todas ellas anaeróbicas, también para heterótrofas aeróbicas si es que estos substratos están disponibles en las zonas aeróbicas” (Serrano G, 2008, pág. 14).

“Los balances de masa efectuados, así como la información reciente disponible sobre el ciclo del azufre indican que la sulfato reducción es una vía muy importante de degradación de la materia orgánica en sistemas horizontales” (Albuja E, 2012, pág. 59).

“Se ha observado que en los humedales las bacterias sulfatoreductoras y las metanogénicas pueden competir por el sustrato, y en presencia de sulfato y alta carga orgánica las bacterias sulfatoreductoras, crecen con más éxito, a profundidad del agua y la carga orgánica afectan la importancia relativa de las diferentes vías de degradación de la materia orgánica, y éstas a su vez afectan a los rendimientos de eliminación” (Serrano G, 2008, pág. 15).

“En la actualidad está bastante claro que a medida que ganan importancia las vías anaeróbicas en detrimento de las anóxicas y anaeróbicas la eficiencia disminuye Por este motivo, los humedales, verticales alcanzan mejores rendimientos de eliminación, ya que en estos prevalecen las vías aeróbicas, el rendimiento de eliminación de la materia orgánica en sistemas de humedales horizontales y verticales es óptimo si están bien diseñados, construidos y explotados, tanto para la DQO como para la DBO se alcanzan rendimientos que oscilan entre 75 y 95% produciendo efluentes con concentración de DQO menor de 60 mg/L y de DBO menor de 20 mg/L” (Serrano G, 2008, pág. 15).

Nitrógeno

“En las aguas residuales urbanas el nitrógeno se encuentra fundamentalmente en forma de amonio y también como nitrógeno orgánico, no suele ser habitual encontrar concentraciones significativas de nitratos y nitritos, en los humedales el principal mecanismo de eliminación de nitrógeno es de tipo microbiano y consiste en la nitrificación seguida de desnitrificación.

Sin embargo, también hay otros procesos que contribuyen a la eliminación como la adsorción del amonio y la asimilación realizada por las plantas, en los humedales el ciclo del

nitrógeno está acoplado al del carbono (materia orgánica) fundamentalmente a través de la desnitrificación, la nitrificación es realizada por bacterias autótrofas aeróbicas que aprovechan el poder reductor del amonio y éste se convierte en nitrato, la nitrificación requiere de 4,6 mg de oxígeno por cada miligramo de amonio (expresado como nitrógeno).

En los humedales horizontales puesto que la transferencia de oxígeno es baja y hay pocas zonas aeróbicas, la nitrificación no es destacable y el rendimiento de eliminación del amonio no supera generalmente el 30%.

En los humedales verticales se obtienen muy buenos rendimientos de conversión del amonio a nitrato dado el carácter aeróbico de la gran parte del lecho, en general la nitrificación es total, la reacción de la desnitrificación permite eliminar el nitrato formado previamente por la nitrificación y convertirlo en nitrógeno gas, esta reacción sólo ocurre en condiciones de anoxia y en presencia de materia orgánica, ya que es realizada por bacterias heterotróficas en este caso lo único que se debe asegurar es el humedal disponga de materia orgánica.

Se ha observado que en los humedales horizontales los procesos de nitrificación y desnitrificación suceden de forma acoplada, de manera que el nitrato formado rápidamente es aprovechado, generándose nitrógeno gas el amonio entrante en un humedal subsuperficial puede ser retenido por adsorción. Sin embargo, este es un proceso reversible y cuando cambian las condiciones que lo estabilizan, el amonio puede regresar al agua.

Las plantas pueden eliminar nitrógeno mediante la asimilación de amonio o nitrato, en los humedales generalmente utilizarán preferentemente amonio ya que es más abundante, el nitrógeno asimilado es incorporado a la biomasa y por tanto eliminado del agua.

Al morir las partes aéreas de las plantas, durante su senescencia anual, el nitrógeno puede retornar al humedal, por ello se recomienda podar la vegetación justo antes de la

senescencia, en general en aguas urbanas de tipo medio las plantas eliminan entre un 10 y un 20% del nitrógeno, otras vías de eliminación del nitrógeno de poca importancia en los humedales son la volatilización del amonio y la asimilación microbiana” (Serrano G, 2008, pág. 15).

Fósforo

“Igual que en los sistemas de depuración biológicos convencionales, la eliminación de fósforo en los humedales es complicada, en general no se suele eliminar más del 10-20%, los mecanismos de eliminación del fósforo pueden ser de tipo biótico y abiótico, los bióticos incluyen la asimilación por parte de las plantas y los microorganismos, los abióticos abarcan fundamentalmente la adsorción por el medio granular, en muchos estudios se ha observado que después de la puesta en marcha de humedales se obtiene una buena eficiencia de eliminación del fósforo para después reducirse rápidamente en poco tiempo, esto es debido a que el medio granular limpio tiene capacidad de adsorción, pero esta se va perdiendo rápidamente” (Serrano G, 2008, pág. 17).

Patógenos

“La eliminación de microorganismos es un proceso de gran complejidad ya que depende de factores como la filtración, la adsorción y la depredación, se ha observado que en los sistemas horizontales la eliminación es dependiente del tiempo de permanencia y del medio granular.

Cuanto menor es el diámetro del medio granular, mayor es el nivel de eliminación obtenido, Para evaluar la eficiencia de eliminación de los patógenos se suele estudiar la eliminación de microorganismos indicadores de la contaminación fecal.

El grado de eliminación obtenido en sistemas horizontales oscila entre 1 y 2 unidades logarítmicas/100 ml aproximadamente para todos los indicadores.

En estas circunstancias es recomendable dotar al sistema de humedales de lagunas o humedales de flujo superficial que favorecen la desinfección. También se puede clorar el efluente. Debe quedar claro que si se quiere obtener un efluente de buena calidad sanitaria un sistema de humedales construidos no será suficiente. Por lo que, se tendrá que disponer de un sistema de desinfección” (Serrano G, 2008, pág. 17).

Remoción de producto final

“El diseño de este tratamiento está basado en el porcentaje de humedad y se calcula que en 20 años la capacidad de acumulación de materia seca en países de clima cálido colmate la capacidad del sistema de tratamiento de lodos, una vez copada la capacidad de la piscina de lodos, se deja reposar el ultimo lodo depositado aproximadamente 6 meses, se hace un análisis fisicoquímico, bacteriológico y de metales pesados en el producto mineralizado de acuerdo con los análisis realizados se procede a desocupar el sistema de tratamiento y se verifica si estos cumplen las normas” (Sima Ingenieros, 2011).

Lecho filtrante horizontal

“Se denomina humedal de flujo horizontal porque las aguas residuales de vierten o descargan a la entrada del humedal y fluyen lentamente a través del sustrato poroso bajo la superficie del lecho siguiendo una trayectoria más o menos horizontal hasta que alcanzan la zona de salida, durante el trayecto, las aguas residuales entran en contacto con una red de zonas anaeróbicas, aeróbicas y anóxicas.

Las zonas aeróbicas se encuentran alrededor de las raíces y rizomas de la vegetación del humedal que liberan oxígeno en el sustrato, durante el paso de las aguas residuales a través de la rizosfera, éstas se limpian mediante degradación microbológica y diferentes procesos físicos y químicos (Vymazal & Kröpfelová, 2007). Los humedales de flujo horizontal pueden eliminar de

forma efectiva los contaminantes orgánicos (SST, DBO₅ y DQO) de las aguas residuales” (W, 2015).

“Los Lecho Filtrantes están compuestos por los siguientes elementos:

estructuras de entrada del afluente, impermeabilización del fondo y laterales ya sea con láminas sintéticas o arcilla compactada, medio granular, vegetación emergente típica de zonas húmedas, y estructuras de salida regulables para controlar el nivel del agua” (Alarcon , 2012, pág. 137).

Estructuras de entrada y salida

“Los humedales son sistemas que requieren una buena repartición y colección de las aguas para alcanzar las eficiencias estimadas, es por ello que las estructuras de entrada y salida deben estar muy bien diseñadas y construidas. Las estructuras de entrada y descarga se emplean para asegurar la distribución adecuada y la recolección uniforme del agua residual aplicada. Si el caudal no se reparte equitativamente en todo el ancho del sistema se generarán zonas muertas, circuitos preferentes, y lo que es más grave, mayor riesgo de colmatación en la zona donde se vierta mayoritariamente el agua. El método más comúnmente utilizado en los sistemas de menor tamaño consiste de una tubería múltiple perforada. Alternativamente se puede hacer llegar el agua hasta un canal con vertedero que la distribuye de forma homogénea en todo el ancho del sistema. La colecta del agua tratada o efluente se puede realizar con una tubería perforada asentada sobre el fondo del humedal” (Alarcon , 2012, pág. 138).

Impermeabilización

“Es necesario disponer de una barrera impermeable para confinar el sistema y prevenir la contaminación de las aguas subterráneas de las aguas subterráneas, Usar una geomembrana que

recubra el suelo y paredes del lecho filtrante, garantizando una instalación adecuada y sin generar daños a la misma que puedan ocasionar infiltración de agua” (Alarcon , 2012, pág. 138).

Medio granular

“En las zonas de entrada y salida se colocan piedras que permiten diferenciar estas zonas de lo que es el medio granular principal, el conjunto medio granular/biopelícula/plantas debe ser considerado como el principal constituyente de los humedales, en el medio granular ocurren múltiples procesos como la retención y sedimentación de la materia en suspensión, la degradación de la materia orgánica, la transformación y asimilación de los nutrientes, y la inactivación de los microorganismos patógenos” (Alarcon , 2012, pág. 138).

“El medio granular debe ser limpio (exento de finos), homogéneo, duro, durable y capaz de mantener su forma a largo plazo, además, debe permitir un buen desarrollo de las plantas y de la biopelícula” (Alarcon , 2012, pág. 138).

“Una característica muy importante del medio granular es su conductividad hidráulica, ya que de esta propiedad depende la cantidad de flujo de agua que puede circular a través de él, durante el diseño debe tenerse en cuenta que la conductividad hidráulica disminuirá con el paso del tiempo además el tipo de vegetación, La especie utilizada son macrófitos emergentes típicos de las zonas húmedas, *Phragmites Comminis*” (Serrano G, 2008, pág. 6).

“Estas plantas presentan adaptaciones especiales para vivir en ambientes permanentemente anegados, sus tejidos internos disponen de espacios vacíos que permiten el flujo de gases desde las partes aéreas hasta las subterráneas, sus rizomas tienen una gran capacidad colonizadora, los efectos de la vegetación sobre el funcionamiento de los humedales son:

Las raíces y rizomas proporcionan una superficie adecuada para el crecimiento de la biopelícula, la biopelícula crece adherida a las partes subterráneas de las plantas y sobre el medio granular, alrededor de las raíces se crean microambientes aeróbicos donde tienen lugar procesos microbianos que usan el oxígeno, como la degradación aeróbica de la materia orgánica y la nitrificación” (Serrano G, 2008, pág. 7).

“Amortiguamiento de las variaciones ambientales, cuando las plantas están desarrolladas reducen la intensidad de la luz incidente sobre el medio granular evitándose así grandes gradientes de temperatura en profundidad que pueden afectar el proceso de depuración, en climas fríos la vegetación protege de la congelación” (Serrano G, 2008, pág. 7).

“Las plantas asimilan nutrientes, su contribución a la eliminación de nutrientes es modesta cuando se tratan aguas residuales urbanas de tipo medio (eliminan entre un 10% del N y un 20% del P), en aguas residuales diluidas su contribución es mayor (más del 50%)” (Serrano G, 2008, pág. 7)

“La selección de la vegetación que se va a usar en un sistema de humedales debe tener en cuenta las características de la región donde se realizará el proyecto, así como las siguientes recomendaciones:

Las especies deben ser colonizadoras activas, con eficaz extensión del sistema de rizomas.

Deben ser especies que alcancen una biomasa considerable por unidad de superficie para conseguir la máxima asimilación de nutrientes.

La biomasa subterránea debe poseer una gran superficie específica para potenciar el crecimiento de la biopelícula.

Deben disponer de un sistema eficaz de transporte de oxígeno hacia las partes subterráneas para promover la degradación aeróbica y la nitrificación.

Se debe tratar de especies que puedan crecer fácilmente en las condiciones ambientales del sistema proyectado.

Debe tratarse de especies con una elevada productividad.

Las especies deben tolerar los contaminantes presentes en las aguas residuales.

Se deben utilizar especies propias de la flora local” (Serrano G, 2008, pág. 8).

Diseño

Dimensionamiento biológico

“Para la obtención de las ecuaciones de diseño se supone que los humedales se comportan como reactores de flujo ideal en pistón en los cuales los contaminantes se degradan siguiendo modelos cinéticos de primer orden. Por tanto, el balance de masa para un contaminante es simplemente:

A partir de la ecuación se obtiene la superficie necesaria para eliminar la DBO con una concentración del 60% de la inicial (se considera que en el sedimentador redujo en un 40%, es decir: $655 \text{ mg/L} * 0,6 = 393 \text{ mg/L}$), para obtener un efluente con concentración menor a 20 mg/L. El valor de kA es de 0,08 m/d. además el valor de kA lógicamente variará según el contaminante. Para eliminar la DBO es adecuado un valor de 0,08 m/d. Además, si el sistema se dimensiona para eliminar DBO, a la vez también se va a reducir la materia en suspensión de forma suficiente, ya que estos sistemas son más eficaces para eliminar la materia en suspensión que la DBO. Por otra parte, este mismo dimensionamiento va a permitir reducir el nitrógeno en

aproximadamente un 30-60% si el sistema se diseña con una profundidad media de la lámina de agua de 0,3 m” (Serrano G, 2008, pág. 59).

Los anteriores valores de k_A son válidos para aguas residuales que llegan al humedal (después de los tratamientos previos) con carga media o baja ($DBO_5 < 250$ mg/L). Para cargas más elevadas es conveniente reducir el valor de k_A en un 20%. Es decir, para nuestro caso: $0,08$ m/d* $0,2=0,016$ m/d (Serrano G, 2008, pág. 59).

C_1 se define a partir de los límites de vertido o los objetivos de calidad establecidos por la normativa ambiental vigente. 90 mg/L. (Resolución-631, 2015).

Tabla 14

Valores admisibles

Dato/unidades	Valor	Sigla
DBO_5 (mg/L O_2)	655	Q
60% B	$655 \text{ mg/L} * 0,6 = 393 \text{ mg/L}$	C_o
($DBO_5 < 250$ mg/L) se reduce un 20%	$0,08 \text{ m/d} * 0,2 = 0,016 \text{ m/d}$	K_A
DBO_5 (mg/ LO_2) (resolución 631 del 2015)	90 mg/L	C_1

Fuente: Autoría propia (2022)

$$s = \frac{Q}{K_A} \ln \left[\frac{C_o}{C_1} \right]$$

$$s = \frac{655 \text{ m}^3/\text{d}}{0,016 \text{ m/d}} \ln \left[\frac{393 \text{ mg/l}}{90 \text{ mg/l}} \right] = 60,32 \text{ m}^2$$

“A continuación, se verifica que la carga orgánica superficial sea menor de 6 g DBO/m²×d” (Serrano G, 2008, pág. 59).

$$C_2 = \frac{Q * C_o}{s} = \frac{655 \text{ m}^3/\text{dia} * 393\text{mg/L}}{60,32} = 4,26 \text{ g DBO/ m}^2 * d$$

Dimensión hidráulica

“Como caudal se recomienda tomar el máximo diario para asegurarse de que el sistema absorberá bien las puntas de caudal, no se deben utilizar caudales puntas horarios ya que originan sistemas excesivamente anchos y poco largos, Se tomará una profundidad del agua de 0,3 m para potenciar la eliminación de nitrógeno” (Serrano G, 2008, pág. 62).

“La conductividad hidráulica varía en función de la cantidad y del tamaño de los huecos del medio granular utilizado, se muestran órdenes de magnitud estimados de la conductividad hidráulica (ks) para algunos materiales granulares limpios que podrían utilizarse como sustrato en estos sistemas, la conductividad hidráulica con el paso del tiempo se va reduciendo por retención de sólidos y crecimiento del biofilm, especialmente en la zona de entrada, es por ello que se recomienda adoptar un factor de seguridad para ks de 7 como mínimo” (Serrano G, 2008, pág. 63).

Tabla 15*Material granulado y sus propiedades*

Tipo de sustrato	Tamaño efectivo D ₁₀ (mm)	Porosidad (%)	Conductividad hídrica
Arenas graduadas	2	28-32	100-1000
Arenas gravosas	8	30-35	500-5000
Gravas finas	16	35-38	1000-10000
Gravas medianas	32	36-40	10000-50000
Rocas pequeñas	128	38-45	50000-250000

Fuente: Diseño y construcción de humedales (Serrano G, 2008, pág. 63)

“Los valores de la pendiente (s) que se suelen utilizar varían en el rango de 0,01 a 0,02 m/m 36 es conveniente que la pendiente no sea superior a 0,02 m/m para evitar que los costes de excavación sean elevados” (Serrano G, 2008, pág. 63).

Para este proyecto se tomará una pendiente del 0,01 m/md

Las dimensiones del humedal se determinan:

$$A_s = \frac{Q_{med,d}}{k_s * s}$$

Siendo,

“Q med, d el caudal medio diario, en m³ /d.

Se determina la sección transversal del humedal, con un valor de conductividad hidráulica de 3000 m³/m²×d para gravas de diámetro 8 mm, con una reducción de 5 (factor de seguridad) y una pendiente del lecho de 0,01 m/m” (Serrano G, 2008, pág. 63).

$$Q_m = 4,17 \frac{L}{s} * \frac{0,001 m^3}{L} * \frac{86400 s}{dia} = 360 \frac{m^3}{dia}$$

$$A_s = \frac{360 \text{ m}^3/\text{dia}}{(3000/5 \text{ m}^3/\text{m}^2 * d) * 0,01 \text{ m}/\text{m}} = 60 \text{ m}^2$$

Calculada el área de la sección transversal

una vez fijada la profundidad (h), se determina el ancho del humedal

$$W = \frac{60 \text{ m}^2}{0,3 \text{ m}} = 200 \text{ m}$$

Siendo

W el ancho, en m. h la profundidad, en m.

Longitud del sistema

Conocido el ancho y teniendo en cuenta la superficie determinada con el dimensionamiento biológico se determina la longitud del sistema

$$L = \frac{S}{W}$$

Siendo,

L la longitud, en m.

$$L = \frac{6032 \text{ m}}{200 \text{ m}} = 30,16 \text{ m}$$

“Por último, se debe verificar que la relación larga: ancho sea como mínimo 1:1. En caso de que no se cumpla esta condición, es decir, que el ancho sea mayor que el largo (que es lo que

suele suceder en la mayoría de los casos), se debe dividir la superficie total en diferentes celdas que funcionarán en paralelo, que sí cumplan este criterio” (Serrano G, 2008, pág. 64), en este caso el Ancho se divide en 3 celdas de 66,6 m cada uno y un largo de 30,16 m

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{L * W * Y * N}{Q}$$

Donde:

L: longitud de la celda del humedal m

W: Ancho de la celda del humedal m

Y: profundidad de la lámina del agua m (0,3m * 0,9) = 0,27

N: porosidad del sustrato filtrante, expresado en decimales (30 = 0.30)

Q: caudal promedio del sistema en m³/d

$$TRH = \frac{30,16 \text{ m} * 200 \text{ m} * 0,27 \text{ m} * 0,30}{360 \text{ m}^3/\text{dia}} = 1 \text{ dia}$$

Etapa 4- Realizar de Manera Técnica un Manual de Operación con los Planos de la PTARD, Garantizando la Operación óptima y el Tratamiento Adecuado de la ARD.

Operación

Personal

El operador del sistema tendrá a su cargo las siguientes funciones principales:

Limpieza manual y extracción de residuos sólidos que queden atrapados en el Cribado.

Extracción y manipuleo de la grasa flotante de la trampa de grasas.

Extraer los sólidos y demás sustancias de baja densidad en la superficie del sedimentador.

Extracción y manipuleo de los sólidos sedimentados en el fondo del sedimentador.

Poda del material vegetal.

Revisión de niveles en los piezómetros del sistema.

Llevar a cabo las mediciones mensuales rutinarias, y llevar al día la bitácora del sistema.

“Coordinar y solicitar los muestreos periódicos cada mes según lo estipulado en la norma.

El operador del sistema no requiere grado académico alguno, solamente un entrenamiento en las características del sistema Láminas Filtrantes” (Biolodos , 2016).

Aspectos relevantes, observaciones, situaciones, recomendaciones y soluciones para los sistemas Láminas Filtrantes

“Roto en la geomembrana: esta nunca debe estar expuesta al sol, por lo que la sección de la geomembrana instalada siempre va a estar protegida contra cualquier contacto con elemento alguno, pues está ubicada dentro del sistema de tratamiento, lo cual garantiza su durabilidad en el tiempo, sin embargo existe otra sección que se tiene visible y es la correspondiente a los taludes que eventualmente puede ser dañada por personas, elementos o animales, lo cual se soluciona parchando la geomembrana con el mismo material, utilizando para ello un pegante especial

llamado MAXON, el cual logra un sello hermético” (Biolodos , 2016).

“Mantenimiento adecuado para los sistemas Laminas Filtrantes en cuanto a crecimiento de maleza en el área de raíces, sobre la biomasa: Los sistemas Láminas Filtrantes, por tener una biomasa rica en bacterias y microorganismos son perfectas no solo para el material vegetal (Phragmites Communis) sino también a la maleza, este fenómeno se presentará de forma normal durante el primer año de operación del sistema, ya que después de este tiempo el material vegetal se desarrolla y ocupa los espacios libres, dejando pocos espacios para la maleza, por lo anterior se recomienda deshierbe de maleza constante durante el primer año de operación” (Biolodos , 2016).

“Se debe llevar una bitácora diaria de cada sistema, donde se lleve el seguimiento y control en la operación de las mismas, se debe anotar caudales de ingreso y caudales de salida y los datos del muestreo” (Biolodos , 2016).

“Los sistemas Laminas Filtrantes mantienen un pH neutro entre 6,5 y 7,5 a la salida del sistema (Efluente)” (Biolodos , 2016).

“Los sistemas Laminas Filtrantes no tiene limitantes de DQO, DBO ni metales pesados en su tratamiento al recibir ARD” (Biolodos , 2016).

“Los sistemas Laminas Filtrantes tienen pérdidas de hasta el 35% del volumen del caudal ingresado al sistema, lo anterior en épocas de verano, pero en épocas de invierno el caudal de entrada VS el caudal de salida es muy similar” (Biolodos , 2016).

“El Afluente que va ingresar a los sistemas Laminas Filtrantes debe estar a temperatura inferior a los 40° C” (Biolodos , 2016).

“Para caracterizar los sistemas de tratamiento se recomienda que el tipo de muestreo sea compuesto y se debe realizar entre 6 a 8 horas” (Biolodos , 2016).

“Un sistema donde el filtro de grava de entrada está totalmente inundado, puede estar a nivel de la grava y en los piezómetros de control de la biomasa se presentan niveles bajos, se debe hacer huecos de 60 cm para hacer resiembra y liberar el flujo para eliminar bolsas de aire, el sistema hay que mantenerlo trabajando para evitar que sistema sea perezoso, ya que se Generan caminos preferenciales y generando bolsas de aire del mismo Las plantas FH presentan pérdida del 30% de caudal de entrada, Nunca cambiar la biomasa de un sistema de láminas filtrantes, ya que estos sistemas por el tiempo se vuelve efectivos por acción de procesos biológicos y por acción radicular del material vegetal” (Biolodos , 2016).

Puntos básicos a tener en cuenta para la correcta operación de los sistemas.

Caudales

Las PTARD se han diseñado para un caudal específico, por lo cual es fundamental en la operación llevar los caudales en el sistema recomendados, así evitar inconvenientes de colmatación o reboses en los sistemas o presencia de agua superficial en la zona de raíces.

El caudal se determina:

“Consumo de agua: Es importante contar con lecturas de contadores que puedan reportar el caudal de agua residual o caudal de trabajo, o en su defecto volúmenes vertidos a los sistemas” (Biolodos , 2016).

“Niveles del sistema: Por ser el sistema de tratamiento continuo, los niveles de agua dentro de las tuberías indican la existencia de flujo en caso de no presentar nivel, significa ausencia o disminución en la alimentación” (Biolodos , 2016).

“Las tuberías de evacuación, deben inspeccionarse de forma continua pues de no tener

flujo, sabiendo que previamente ha sido cargada la sección de la unidad, se formarán pozos aislados en la superficie, mostrando claramente que hay obstrucción en la tubería de drenaje. Observar si los tubos de drenaje están limpios” (Biolodos , 2016).

Sedimentador

¿Cómo se controla el sedimentador?

“Con una vara es posible conocer la cantidad de sólidos retenidos, al introducirla, el operador debe estar atento para percatarse del momento en el cual se inicia la zona de lodos.

Al encontrarse un nivel alto de sedimentos, de más de la mitad de la altura total, es conveniente desocupar un ochenta por ciento aproximadamente de los lodos y depositarlos en la planta, espolvoreando cal agrícola para evitar malos olores y propagación de moscos” (Biolodos , 2016).

Procedimiento para desocupar el sedimentador:

“Evacuar la fase clarificada, es decir la capa superior, con gran porcentaje de agua y poco sólido con una motobomba sobre la grava” (Biolodos , 2016).

Filtro de entrada

“El filtro de entrada es la zona con gravilla o piedra, esta zona debe estar siempre libre de maleza, por lo general dentro de la gravilla se encuentra el tubo de distribución o entrada” (Biolodos , 2016).

Tubería

“Dentro de la piedra se encuentra la tubería tanto de entrada o distribución como la de salida o recolección, para limpiar la tubería se debe proceder de la siguiente manera:

Se tapa una esquina del tubo, y con una manguera a presión se limpia el tubo con agua.

En algunos casos se introduce una sonda de lado a lado, en uno de los extremos se ata fuertemente un pedazo de estopa o de tela, formando una puya igual de gruesa a la tubería a limpiar, se tira del otro extremo de modo que se arrastren todos los sedimentos” (Biolodos , 2016).

Zona de raíces

“La zona de raíces es la zona en donde se encuentran las plantas, después de la piedra, en esta zona es importante quitar la maleza en la etapa inicial, para que no entren a competir con la Phragmites, una vez crecida la Phragmites no hay necesidad de hacerle nada” (Biolodos , 2016).

¿Cómo se efectúa la desmalezada?

“se coloca una tabla encima de la biomasa, teniendo cuidado con las matas y para evitar pisar directamente la biomasa y compactarla” (Biolodos , 2016).

Control del Material Vegetal

“Control de los tubos de drenaje inicialmente, van relacionados con el material vegetal, se debe tener especial cuidado con el crecimiento de las plantas y observar cómo reaccionan ante la dosificación fijada, ya que, de acuerdo a la entrega del afluente al sistema, así mismo la Phragmites Communis reaccionará tanto en su parte foliar como en su parte radicular” (Biolodos , 2016).

“En cuanto a la proliferación de maleza en la superficie del sistema de tratamiento, se puede decir que el sistema está diseñado para que la escasa maleza que se desarrolle se muera en muy corto tiempo, pues estará en constante anegación, Sin embargo si se diera un crecimiento de alguna especie diferente al material vegetal propio del humedal y se observa que no muere por efecto de la anegación, en el mantenimiento se tendrá que retirar ese material vegetal no deseado,

el cual personal entrenado ingresará al sistema y colocando tablas de poco peso pero a su vez anchas, se posará en ellas y retirará con raíz dicho material” (Biolodos , 2016).

“Para el sistema de flujo horizontal, el área de raíces debe permanecer libre de maleza, pues ésta en determinado momento puede competir con el desarrollo a nivel foliar y a nivel radicular, pudiendo ahogarla y secarla” (Biolodos , 2016).

Cuidados del material vegetal

“En cierto periodo de funcionamiento, pueden aparecer piojos o ácaros en las hojas de las matas, y a su vez las hojas presentar un color oscuro, esto no es ningún problema para el funcionamiento del sistema de tratamiento ni para las plantas, los piojos solo están estacionariamente, por lo tanto, es un proceso normal y por ello no hay necesidad de realizar o hacer nada, Sin embargo y por cuestiones netamente estéticas si se quiere mantener el material vegetal libre de los piojos o ácaros, pues oscurece las hojas del material vegetal, se puede realizar una fumigación cada mes utilizando para ello una mezcla de agua y detergente FAB en una concentración de 100 gramos de detergente por litro de agua” (Biolodos , 2016).

Operación y mantenimiento trampa de grasa

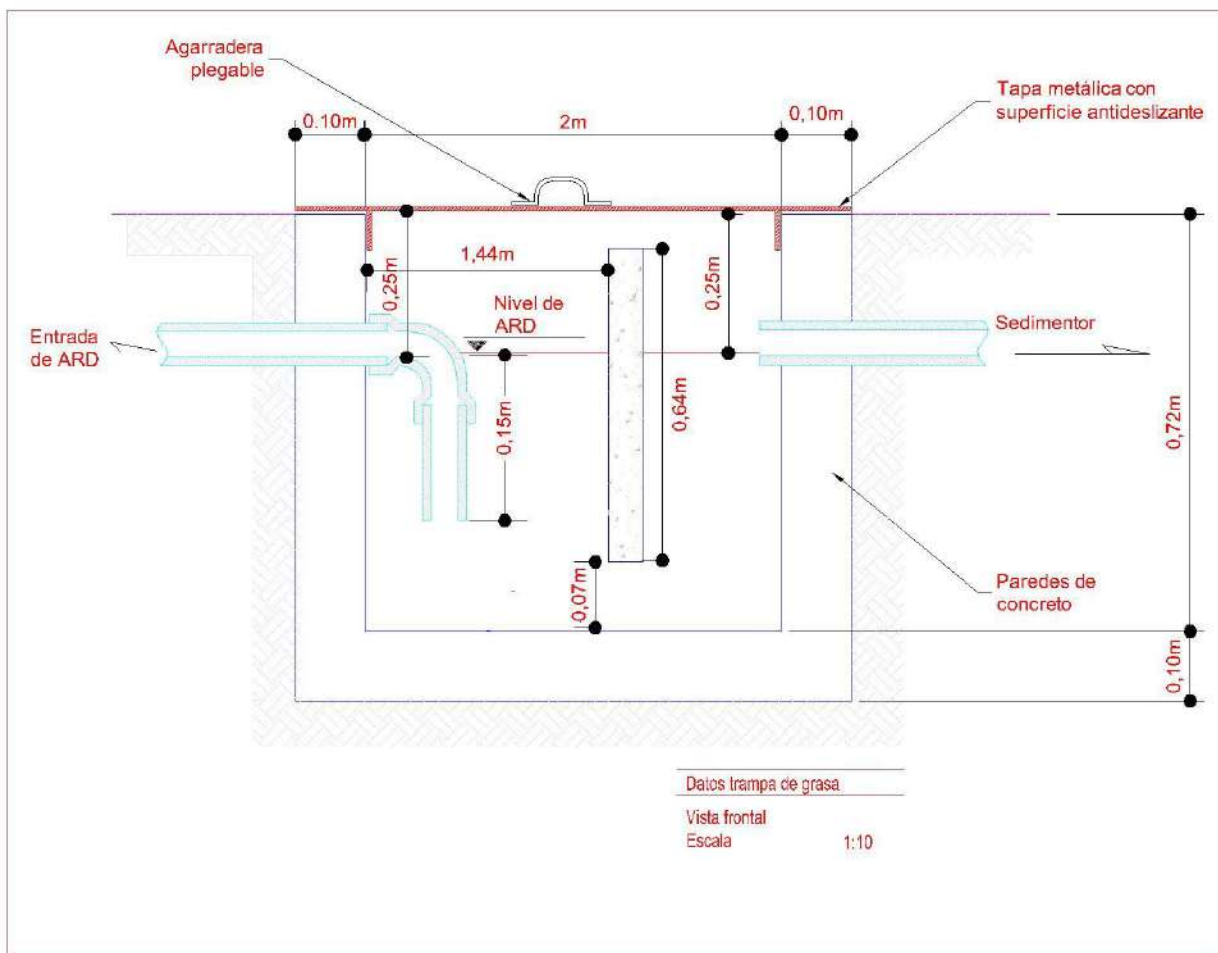
“Las trampas de grasa deben operarse y limpiarse regularmente para prevenir el escape de cantidades apreciables de grasa y la generación de malos olores. La frecuencia de limpieza debe determinarse con base en la observación. Generalmente, la limpieza debe hacerse cada vez que se alcance el 75% de la capacidad de retención de grasa como mínimo” (RAS Tit E, 2000, pág. 29).

Planos de los Sistemas de Tratamiento de ARD

Los planos se realizan con necesidad de mostrar la visión a la población involucrada de la vista previa y dimensiones que fueron resultado de la información y cálculos realizados a lo largo de este proyecto aplicado; en este orden de ideas es el diseño final de los sistemas de tratamiento de las ARD de la Vereda la Niata municipio de Yopal (Casanare).

Figura 15

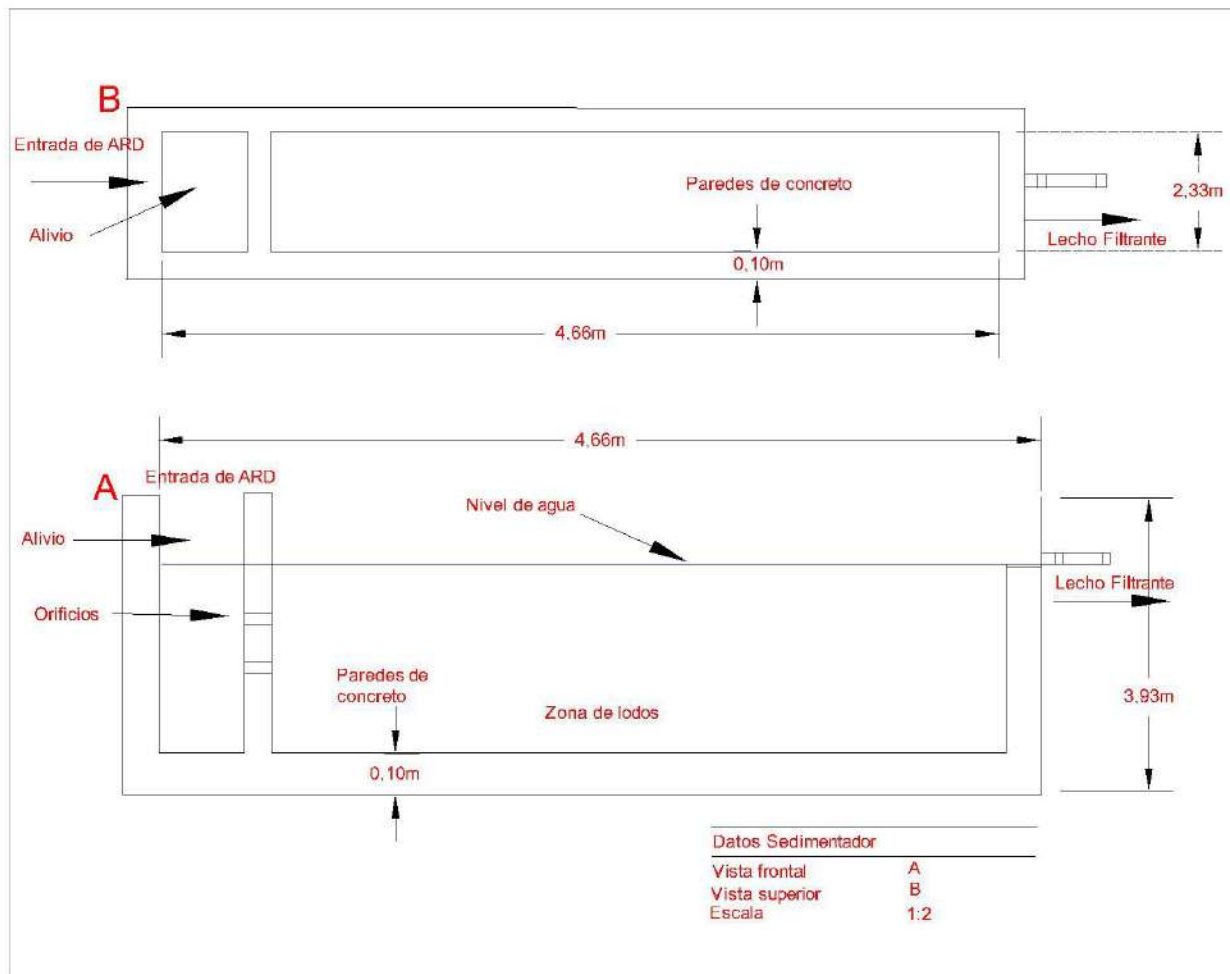
Plano de trampa de grasa



Fuente: Autoría propia

Figura 16

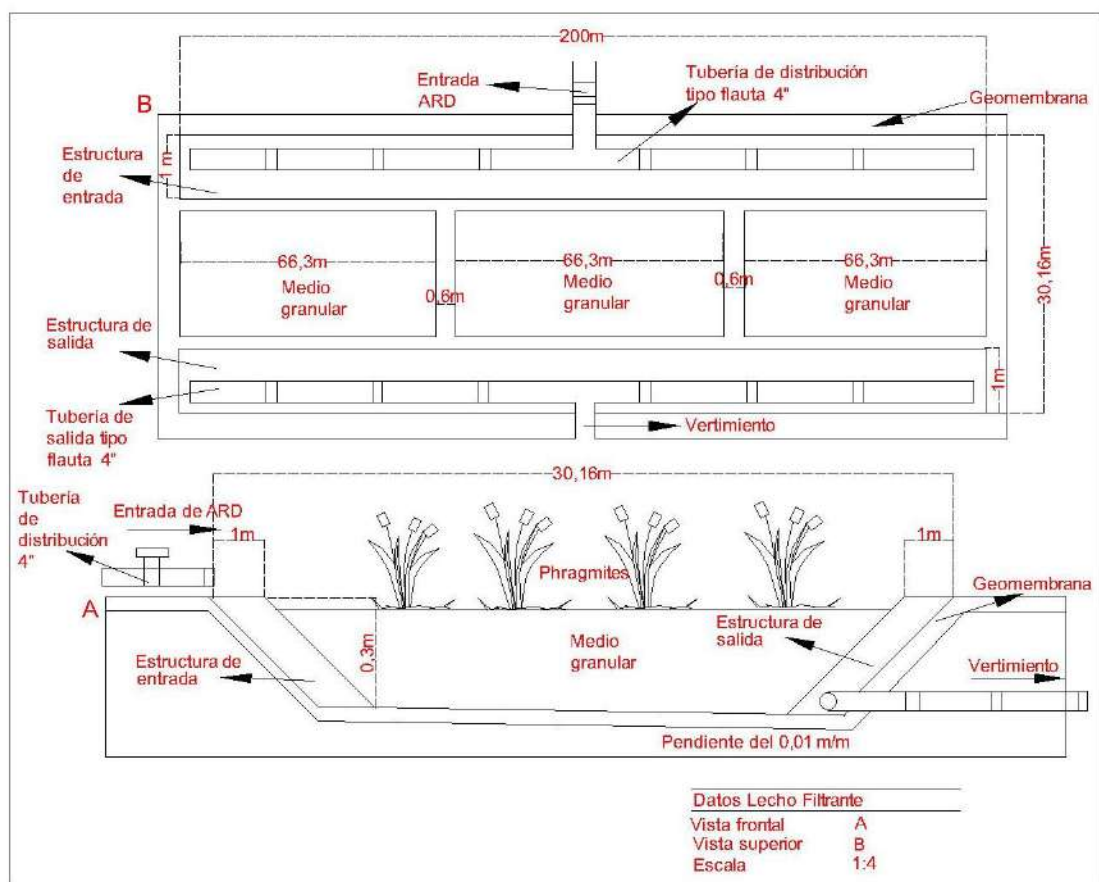
Plano sedimentador



Fuente: Autoría propia

Figura 17

Plano lecho filtrante



Fuente: Autoría propia

Análisis Social

El desarrollo de este proyecto aplicado genera beneficios positivos en la comunidad de la Vereda la Niata y sus alrededores, estos serán quienes reciban los beneficios, con la implementación de un PTARD donde se tratará las ARD, reduciendo los impactos negativos sobre los cuerpos hídricos del departamento, evidenciaran que los cuerpos de agua donde realizan captación para su diario vivir, recreación y ocio es de buena calidad.

Representa una oportunidad laboral de mano calificada para la Vereda, desde la construcción, operación y desmantelamiento, así mismo al presentar sus servicios como trabajadores verán reflejado un aumento en sus ingresos económicos durante la ejecución del proyecto.

Además, la administración municipal dando compromiso y cumplimiento de la normatividad nacional con poder contar con una alternativa viable que da solución al manejo ARD que otras administraciones no han tenido en cuenta.

En relación con instituciones como CORPORINOQUIA, el beneficio de este proyecto se tomará como un avance de sus objetivos en referencia al manejo de ARD en los municipios.

Por último, se debe manejar un adecuado manejo de información con la comunidad respecto a los avances del proyecto, los impactos negativos y positivos que este proporcione, con el fin de no generar malas relaciones con la comunidad, además de atender sus reclamos, inquietudes e inconvenientes que se puedan generar en el transcurso de la ejecución proyecto, trabajar con la comunidad de la mano generara un ambiente propicio para alcanzar los objetivos plantados.

Análisis Ambiental

Los impactos paisajísticos actúan sobre el medio ambiente y sus ecosistemas: fauna, suelos, aire, agua y pérdida de vegetación nativa en el área donde se ejecutará el proyecto, la flora es un componente visual importante, sin embargo, al ser eliminada puede influir en la calidad estética natural.

En general la PTARD demandan de poco trabajo, pero se les debe dar una adecuada operación y mantenimiento, con ello no generar mal funcionamiento de los sistemas ya que estos errores pueden generar contaminación y daño al medio ambiente.

Se pueden presentar accidentes ambientales que pueden contaminar el nivel freático, la fauna y flora, ecosistemas aledaños, la extracción de la capa vegetal, arborización en las zonas de la construcción, erosión, desestabilización de algunas áreas aledañas, contaminación atmosférica por ruido y olores desagradables, vertimiento de aguas contaminadas por la construcción de los sistemas, Las PTARD generan residuos tanto líquidos como sólidos por la operación.

Se pueden mitigar las fallas de los sistemas de tratamiento con visitas periódicas y con una operación adecuada de la PTARD, en su gran mayoría los sistemas de tratamiento de ARD son amigables con el medio ambiente además seguros y responsables, si se le da un adecuado manejo y mantenimiento por parte de todas las personas y entes involucrados, al planear un sistema de tratamiento es indispensable implementar prácticas de responsabilidad ambiental desde su diseño hasta su desmantelamiento, debe ser incorporado este pensamiento con el fin de proteger los ecosistemas, en la actualidad los nuevos sistemas de tratamiento consideran la protección del medio ambiente por encima de la economía las corporaciones y entes ambientales deben aprobar estos proyectos bajo estos estándares y velar por su cumplimiento.

Por último, al desarrollar el trabajo se debe velar por incorporar solo beneficios ambientales al proyecto en cada una de sus etapas, así como compensar y mitigar los impactos negativos que resulten imposible evitar, los sistemas de tratamiento de ARD se deben ver como mejoramiento y protección de la biota acuática, de la flora y cuidado de la fauna.

Conclusiones

Se realizó la proyección y el dimensionamiento de los diferentes sistemas que componen la PTARD de la Vereda la Niata, Yopal-Casanare además para el adecuado funcionamiento del proceso, desde la investigación de diferentes fuentes se puede concluir la viabilidad de utilizar los lechos filtrantes como sistema primario en el tratamiento de ARD que son provenientes de las viviendas de esta población, ya que su sistema sencillo y natural, pero eficiente para remover los contaminantes del ARD.

Se identifica la necesidad de proponer un sistema de tratamiento para las ARD a partir de las visitas de campo e inspecciones realizadas donde se evidencia el manejo inadecuado de las mismas por parte de la comunidad de la Vereda la Niata.

Se concluye que la implementación de lechos filtrantes es la solución adecuada para la problemática ambiental que vive la Niata, un sistema de tratamiento que genera menos costos de operación y de mantenimiento, sin generar olores desagradables debido a sistema sellado, además se integra en el ambiente como un sistema natural a simple vista, dando un valor paisajístico agregado en la zona.

Se identifica la especie vegetal viable para la implementación del lecho filtrante, teniendo en cuenta la zona de influencia, se propone la *phragmites communis* una de las especies más usadas y más eficientes para estos sistemas.

Los lechos filtrantes según la investigación de diferentes fuentes se han venido usando cada vez más a nivel mundial son una tecnología positiva para el tratamiento de las ARD.

Con este proyecto aplicado se identifican beneficios para los ecosistemas y para el saneamiento básico de la comunidad en la zona de influencia de la Vereda la Niata, la operación

de este sistema de tratamiento de ARD no demanda de personal calificado, ni químicos, lo que reduce los costos.

Este sistema de tratamiento armónico con el medio ambiente suministra hábitat para animales silvestres, microorganismos y al contar con el área necesaria para su montaje, resulta ser un tratamiento de las ARD mucho más económico que un tratamiento convencional.

Recomendaciones

Usar un material que sea impermeabilizante en la cama de los lechos filtrantes, se recomienda una geomembrana de calibre 1200, debido al tipo de suelo el agua tiende a infiltrarse generando contaminación al agua subterránea debajo del lecho filtrante, además es más resistente y no se rompe con facilidad.

Al realizar la excavación para implementar el lecho filtrante ser muy rigurosos, garantizando que la cama de tierra sea lisa y sin ninguna piedra u objeto de pueda generar daño a la geomembrana.

instalar un geotextil antes de la geomembrana como soporte y cama que nos genere estabilidad con ello evitar daño al material impermeable y nos genere contaminación al agua subterránea.

Contratar mano de obra calificada para las diferentes etapas de la construcción, que tenga experiencia en plomería, instalación de geomembrana, obras civiles, impermeabilización de concreto para la construcción del sedimentador y trampa de grasa, además de operarios de maquinaria pesada que garanticen un trabajo de calidad.

Adecuar un vivero cercano y previo donde se pueda sembrar las plantas, para que la *Phragmitis Communis* pueda desarrollarse con fuerza y posteriormente realizar la siembra en el lecho filtrante.

Adecuar una cama de arena fina entre la geomembrana y el filtro de piedra, con ello evitar daños al material impermeable.

Asegurarse que se han sembrado *Phragmitis Communis* en toda la superficie del lecho filtrante construido, así evitar zonas sin plantación.

Constantemente conviene limpiar los sólidos suspendidos sedimentados resultantes en el sistema del sedimentador y la trampa de grasas, generando una buena operación de los sistemas.

Podar la *phragmitis communis* con ello generar nuevos brotes de hijos cada más fuertes, resistentes a los contaminantes además más saludables y por último generan una buena visualidad del medio granular para detectar anomalías en el sistema.

Inspeccionar los tubos verticales, ya que estos indican el nivel agua que se encuentra en el sistema, se verifica que no se está formado retenciones dentro del mismo que pueda provocar taponamientos en tubería o colmatación del medio granular.

Construir unos piezómetros en cada lado del lecho filtrante para monitorear el agua subterránea del nivel freático garantizando que no haya ninguna infiltración del sistema en sus alrededores.

Bibliografía

(s.f.). Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades . (Agosto de 2007).

División de Toxicología y Medicina Ambiental. Obtenido de

https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs13.pdf

Alarcon , T. (Enero de 2012). *Los humedales como tecnología emergente para la remoción del*

arsénico del agua. Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/304629137_7_LOS_HUMEDALES_COMO_T

[ECNOLOGIA_EMERGENTE_PARA_LA_REMOCION_DEL_ARSENICO_DEL_AG](https://www.researchgate.net/publication/304629137_7_LOS_HUMEDALES_COMO_T)

[UA](https://www.researchgate.net/publication/304629137_7_LOS_HUMEDALES_COMO_T)

Albuja E. (Mayo de 2012). *Uso de humedales para el tratamiento de aguas residuales*

domésticas en poblaciones del medio rural. prototipos para poblaciones de 1000, 2000 y

3000 habitantes. evaluación del impacto ambiental. Obtenido de

https://documentop.com/ingenieria-ambiental-tesis-de-grado-universidad-politecnica-_598868131723ddb404629d00.html

Alcaldía de Yopal. (1 de noviembre de 2021). *Alcaldía de Yopal-Casanare* . Obtenido de

www.yopal-casanare.gov.co

Arteaga A, P. S. (Noviembre de 2018). *Evaluación del índice de riesgo ecológico potencial en*

suelo y sedimento por mercurio en minería para tres regiones colombianas, apoyado en

el análisis de metadatos. Obtenido de

https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1094/

Baquero C. (2015). *Apoyo técnico a la empresa Transform Ecoskandia S.A.S enfocado a los*

sistemas. Obtenido de

- http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1629/1/Apoyo_tecnico_Transform_Ecoskandia_sistemas_tratamiento_aguas_residuales.pdf
- Biolodos . (2016). *Manuel de operacion y mantenimiento* . Bogota: Empresarial .
- CAPÍTULO IV. (s.f.). *Laguna de estabilizacion* . Obtenido de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19117/capitulo4.pdf>
- Cascajal. (11 de Enero de 2013). *Licencia ambiental relleno sanitario Cascajal*. Obtenido de <https://www.corporinoquia.gov.co/files/50041180027.pdf>
- Charry J, R. D. (2019). *Diseño y montaje a escala de una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas (PTAR), como modelo funcional para el desarrollo de prácticas en el laboratorio de calidad de aguas, del programa de ingeniería civil de la universidad piloto de Colombi*. Obtenido de repositorio.unipiloto.edu.co
- Chicaiza A. (Febrero de 2014). *Repositorio* . Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/2717>
- Citypopulation. (30 de 06 de 2018). *Citypopulacion*. Obtenido de https://www.citypopulation.de/en/colombia/casanare/yopal/85001012__la_niata/
- Constitución pilitica . (20 de 07 de 1991). *Constitucion politica de colombia* . Obtenido de <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/Constitucion-Politica-Colombia-1991.pdf>
- D, M. (2014). *Manual de fitodepuracion, filtros de macrofitas en flotacion*. . Obtenido de https://fundacionglobalnature.org/wp-content/uploads/2020/01/manual_fitodepuracion.pdf
- DANE. (2008). *Geoportal*. Obtenido de <https://geoportal.dane.gov.co/servicios/descarga-y-metadatos/visor-descarga-geovisores/>

- DANE. (2020). *Proyecciones nacionales y departamentales de población 2005-2020*. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/7Proyecciones_poblacion.pdf
- Decreto-3930. (2010). *Sistema Único de información normativa. 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 dic*. Obtenido de <http://suin-juriscal.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/1878873>
- Delgadillo Oscar, C. A. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Obtenido de [https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=1kO2J5aDljQC&oi=fnd&pg=PA1&dq=\(Delgadillo,+Camacho,+P%C3%A9rez,+%26+Andrade,+2010\)&ots=Kjh2uZAYYi&sig=wwJxrfZSXdYr-rR_GvwXImOTYyw#v=onepage&q=\(Delgadillo%2C%20Camacho%2C%20P%C3%A9rez%2C%20%26%20Andrade%2C%202](https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=1kO2J5aDljQC&oi=fnd&pg=PA1&dq=(Delgadillo,+Camacho,+P%C3%A9rez,+%26+Andrade,+2010)&ots=Kjh2uZAYYi&sig=wwJxrfZSXdYr-rR_GvwXImOTYyw#v=onepage&q=(Delgadillo%2C%20Camacho%2C%20P%C3%A9rez%2C%20%26%20Andrade%2C%202)
- Dias Orestes, V. G. (2011). *Metodología para el diseño de humedales con flujo subsuperficial horizontal*. Obtenido de <https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/32/0>
- El Peñon. (20 de Agosto de 2021). *Rama judicial republica de Colombia* . Obtenido de www.ramajudicial.gov.co
- Fe y alegría colombia. (2019). *Gota de agua limpia* . Obtenido de <https://vsip.info/ct-9y8-pdf-free.html>

- GENESIS. (2019). *Desventajas de 7 del proceso de lodos activados para municipios y organizaciones*. Obtenido de <https://es.genesiswatertech.com/blog-post/7-disadvantages-of-using-an-activated-sludge-process-for-your-municipality-or-company/>
- Gestor Normativo. (2022). *Gov.co*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/web/eva/gestor-normativo>
- Google. (3 de Agosto de 2021). *Google earth*. Obtenido de <https://www.google.com/intl/es/earth/>
- Guia RAS. (Octubre de 2003). *Reglamento tecnico de agua y saneamiento* . Obtenido de <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/ras-002.pdf>
- Gutierrez M. (2007). Obtenido de <https://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15386/T40.07%20R638d.pdf?cv=1&isAllowed=y&sequence=1>
- Hernandez J, P. M. (2012). *Humedal Subsuperficial vertical para el tratameinto de aguas residuales "Diseño, construccion y evaluacion"* . *Revista Cubana de Quimica* , 147-154.
- Higuera S, P. I. (2017). Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/15884/Proyecto.%20Formaulaci%C3%B3n%20de%20parametros%20de%20optimizaci%C3%B3n%20PTAR%20Tena.pdf?isAllowed=y&sequence=1>
- IDEAM. (14 de 12 de 2017). *Instituto de Hidrología, Meteorología y - Estudios Ambientales*. Obtenido de <http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/97658415/M-S-LC-I025+INSTRUCTIVO+DE+ENSAYO+DETERMINACI%C3%93N+DE+DEMANDA+BIOQU%C3%8DMICA.pdf/83b1f3aa-cfab-417b-b6d7-b576fec54e61?version=1.0>

IDEAM. (21 de 10 de 2020). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*.

Obtenido de <http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/35488871/M-S-LC->

I017+INSTRUCTIVO+DE+ENSAYO+DETERMINACI%C3%93N+S%C3%93LIDOS
+TOTALES+SECADOS+v5.pdf/c214059a-3732-49a2-877f-e507ed141502?version=1.0

IDEAM. (21 de 10 de 2020). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*.

Obtenido de <http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/35488871/M-S-LC->

I054+INSTRUCTIVO+DE+ENSAYO+PARA+LA+DETERMINACI%C3%93N+DE+G
RASA%2C+ACEITES+E+HIDROCARBUROS+POR+INFRARROJO+DE+PARTICI
%C3%93N+v2.pdf/40132bf4-c23b-46a8-869c-ffa1913a2e62?version=1.0

IDEAM. (21 de 10 de 2020). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*.

Obtenido de <http://sgi.ideam.gov.co/>

IDEAM. (24 de 03 de 2022). *Atlas IDEAM*. Obtenido de Atlas IDEAM:

http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/evapotranspiracion_texto.pdf

Martin Guss. Vidal Caceres, N. F. (2002). *Resultados de las investigaciones realizadas en la planta piloto del biofiltro Masaya desde 1996*. Obtenido de

<http://bvssper.paho.org/texcom/cd048451/gaussres.pdf>

Minvivienda. (2000). *Reglamento tecnico en agua y saneamiento* . Obtenido de

https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/010710_ras_titulo_a_.pdf

Morales Gabriela, L. D. (2013). *Humedales construidos con plantas ornamentales* . Obtenido de

<https://www.redalyc.org/pdf/299/29936198004.pdf>

O, T. (2019). *Optimización del sistema de manejo de aguas residuales*. Obtenido de

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/22544/HenaoTorresOlgaGarciaLisGiovanniAlexander2019.pdf?sequence=1>

- ONU-HABITAT. (5 de Febrero de 2018). *Manual de humedales artificiales*. Obtenido de https://issuu.com/frederys1712doc/docs/manual_de_humedales_artificiales
- OPS. (7 de Abril de 2014). *Diez enfermedades transmitidas por vectores que ponen en riesgo a la población de las Américas*. Obtenido de <https://www.paho.org/es/noticias/7-4-2014-diez-enfermedades-transmitidas-por-vectores-que-ponen-riesgo-poblacion-americas>
- Pot Yopal. (2003). *Alcaldia de Yopal- Casanare* . Obtenido de [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/diagn%C3%B3stico%20-%20yopal%20\(299%20pag%20-%203142%20kb\).pdf?cv=1](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/diagn%C3%B3stico%20-%20yopal%20(299%20pag%20-%203142%20kb).pdf?cv=1)
- RAS Tit D. (2016). *Reglamento técnico en agua y saneamiento título D*. Obtenido de https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo_d.pdf
- RAS Tit E. (Noviembre de 2000). *Minvivienda*. Obtenido de https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/010710_ras_titulo_e_.pdf
- Resolucion-330. (8 de Junio de 2017). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS*. Obtenido de <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/reglamento-tecnico-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable-y-saneamiento-basico-ras>
- Resolución-631. (2015). *Por la cual se establece 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*. Obtenido de <https://corponor.gov.co/dev/index.php/en/uncategorized/2146-631de2015>
- Rodríguez D. (Enero de 2019). *repository unipiloto*. Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/6462/Trabajo%20%20escrito.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Romero L. (2016). *Diseño de un sistema de biofiltros para el tratamiento de aguas residuales que llegan de manera directa al humedal Neuta en el municipio de Soacha*. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/8906/PROYECTO%20DE%20GRADO.pdf>
- Scandroots Colombia S.A.S. (2021). *Desarrolla proyectos de infraestructura verde que promueven la biodiversidad en las ciudades, ahorran energía y mitigan la contaminación*. Obtenido de <https://www.scandrootsco.com/nosotros/>
- Serrano G, H. C. (Noviembre de 2008). *Docplayer*. Obtenido de <https://docplayer.es/2126465-Depuracion-con-humedales-construidos.html>
- Sima Ingenieros. (2011). *Licencia Ambiental* . Yopal : Empresarial.
- Sima Ingenieros. (2018). *Estudios de Impacto Ambiental*. Empresarial .
- Sima Ingenieros. (2022). *Empresa privada dedicada a servicios ambientales* . Obtenido de <https://simaingenieros.com.co/>
- Soto, J. (Junio de 2016). *Estudio de aplicabilidad de humedales artificiales para la mejora de la calidad de las aguas en los meandros abandonados del río Segura*. Obtenido de <https://1library.co/document/zgrk3p6q-estudio-aplicabilidad-humedales-artificiales-calidad-meandros-abandonados-segura.html/>
- Torres J. (10 de Junio de 2015). Obtenido de <https://docplayer.es/44913994-Resumen-ciencia-tecnologia.html>
- Torres J, M. J. (2018). *Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante humedales Artificiales de flujo libre superficial (FLS) con las especies Cyperus Papyrus y Phragmites Australis, en Carapongo-Lurigancho*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/326859044_Evaluacion_de_la_eficiencia_en_el

_tratamiento_de_aguas_residuales_para_riego_mediante_humedales_Artificiales_de_fluj
o_libre_superficial_FLS_con_las_especies_Cyperus_Papyrus_y_Phragmites_Australis_e
n_C

UNAD. (Noviembre de 2020). *ConcurdeHero*. Obtenido de Tarea 3- Diseño de un tanque

Imhoff: <https://www.coursehero.com/file/75059337/Tarea-3-Colaborativo-gupo-64docx/>

Universidad de Vigo. (2005). *Efecto de la aplicación en suelos de lodos residuales* . Obtenido de

http://www.edutecne.utn.edu.ar/tesis/lodos_malterias_cebada_02.pdf

W, R. (Febrero de 2015). *Diseño para la implementación del sistema de tratamiento de aguas*

residuales en el estadio de la universidad técnica del norte, Cantón Ibarra. Obtenido de

<https://es.scribd.com/document/430105694/03-Rnr-191-Tesis>

Anexos

Anexo A. Encuesta socioambiental

Encuesta socioambiental vereda la Niata, Yopal- Casanare

Nombre del encuestado: Gilberto Perez G Fecha: 26-02-2022

1. ¿En qué vereda del municipio de Yopal reside?

La Niata

2. ¿Viven en el núcleo familiar las siguientes personas? (En caso de existir, señalar CUANTOS hijos, hijas, abuelos y otros conforman el núcleo familiar)

Hijos	<u>1</u>	Abuelos	<u>4</u>	Otros	<u>1</u>
Padres	<u>1</u>	Hermanos	<u>4</u>		

3. ¿Cree usted que los vertimientos de agua residual domestica (ARD) sin tratar de sus viviendas generan impactos negativos en el entorno?

- Si
- No

4. ¿Cuenta con un sistema de disposición final de agua residual domestica (ARD) en su vivienda?

- No
- Si
- Cual _____

5. ¿Qué tipo de recurso considera más valioso en la zona que habita?

- Natural (agua, flora, fauna; etc)
- Estructural (casas, parques, vías, etc)
- Otros

6. ¿Cuál, en su criterio son las principales causas de amenazas en la zona donde vive que pueden tener impacto sobre la economía, bienestar social y ambiental?

- Inundaciones
- Incendios
- Plagas
- Agua residual domestica (ARD) mal dispuesta

7. ¿Si se diseñara una planta de tratamiento de agua residual domestica (PTARD) en su zona estaría de acuerdo con la obra?

- Si
- No

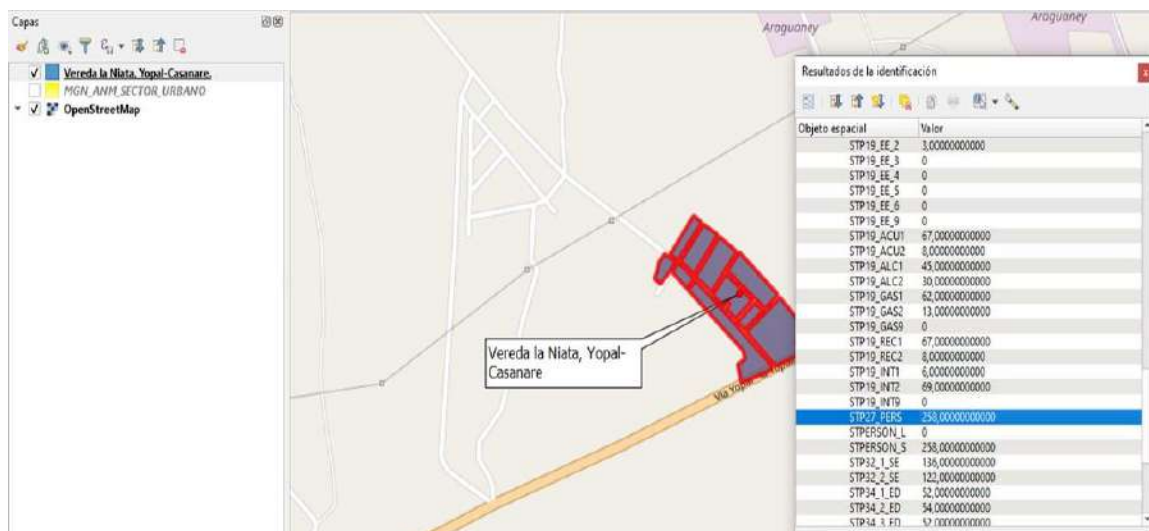
8. ¿Qué beneficios conllevaría este tipo de obras para usted?

- Económico
- Ambiental
- Salud
- Todas las anteriores

Anexo B. Socialización encuesta socioambiental

Fuente: Autoría propia

Anexo C. Censo poblacional DANE Vereda la Niata municipio de Yopal (Casanare)



Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2008)

Anexo D. Número de viviendas Vereda la Niata municipio de Yopal (Casanare)



Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2008)

Anexo E. Calibración equipo multiparámetro

Electrode Quality Certificate

Electrode: HI9285-5 Parameter: pH/EC/TDS/Temperature SN: 0625185A Recommended for: HI9811-5

Description: Plastic body, pH/EC/TDS/temperature probe

Hanna Instruments certifies that this electrode has been produced, calibrated and tested to meet all applicable Hanna procedures, using standards and reference instruments, the accuracy of which is traceable to the National Institute of Standards (NIST) in the USA or to internationally acceptable national physical standards. The standards and reference instruments used in calibration and testing are supported by a calibration system which meets requirements of ISO 9001.

Standard Reference Materials:	pH	1891, 186g, 189c, 233a, 2153a (NIST)
	EC	SRM 2201, SRM 2202 (NIST)
External reference devices:	°C	N19-031, NIST Certified Thermometer Set
	KOH/NO	SRM 14804/40H (NIST)

Tests performed using reference devices

Test	Reference	Result
pH @ 25 °C:	Calibration point (pH)	7.0 PASSED
	Testing point (pH)	4.0
	Tolerance (pH)	±0.4
pH response time @ 0.01 pH → 7.00 (pH*)	Reading (pH)	< 4.0 PASSED
	Standard time (s)	< 1 PASSED
EC @ 25 °C:	Tolerance (s)	< 1
	Offset (mS/cm)	0.00
	Tolerance (mS/cm)	+ 0.01
	Reading (mS/cm)	0.00 PASSED
	Calibration point (mS/cm)	1.41 PASSED
	Testing point (mS/cm)	2.76
	Tolerance (mS/cm)	± 0.6
K response time @ 25 mS/cm → 1.41 mS/cm**	Reading (mS/cm)	2.68 PASSED
	Standard time (s)	< 5 PASSED
Temperature:	Tolerance (s)	< 1
	Ref. Temp (°C)	5.0 25.0
	Tolerance (°C)	+ 0.5 + 0.5
Ours impedance @ 25 °C	Reading (°C)	5.1 25.1 PASSED
	Tolerance (kΩ)	50-150 PASSED
Reference impedance @ 25 °C	Maximum value (kΩ)	33 PASSED

*): All reference are periodically checked and accuracy for the last certificate issued. **): not performed.
**): tolerance for 90% of trip.

Quality control and testing criteria have been met.

Date: 2018-05-27 Inspector: Coman Andriy Engineer

Signature:

CERTIFICATE_04_EC_TDS_Temp_2285-5_rev.0.0 page 1 of 1

Instrument Quality Certificate

Instrument: HI9811-5 SN: 03290096101

Description: Portable pH/EC/TDS/temperature Meter

Hanna Instruments certifies that this instrument has been produced, calibrated and tested to meet all applicable Hanna procedures, using standards and reference instruments, the accuracy of which is traceable to the National Institute of Standards (NIST) in the USA or to internationally acceptable national physical standards. The standards and reference instruments used in calibration and testing are supported by a calibration system which meets requirements of ISO 9001. The following tests have been performed according with the reference from the IEC Procedure of the meter.

The results are listed below:

A. Functionality tests	Reference	Result
A.1. Switch On/Off test	3.	PASSED
A.2. LCD test	3.	PASSED
A.3. Keys and knob test	3.	PASSED
A.4. Voltage and consumption test	3.	PASSED
A.5. Probe connectivity test	4.	PASSED
A.6. Calibration test (pH, EC)	4.	PASSED
A.7. Measurements test (pH, EC, Temperature)	4.	PASSED

B. Aesthetic Control	Reference	Result
B.1. Visual Inspection	1.	PASSED
B.2. Labeling and Marking	2.	PASSED

Calibration, functionality test, aesthetic control and packing have been met.

Date: 2018-07-19 Inspector: Filip Bogdan / Engineer

(Name / Title of Signatory)

Signature:

QC_pH_EC_TDS_T_9811-5_rev.0.0 page 1 of 1

Hanna Instruments Inc. 584 Park East Drive Woonsocket, RI 02895
www.hannainst.com

Hanna Instruments Inc. 584 Park East Drive Woonsocket, RI 02895
www.hannainst.com

Fuente: Base de datos (Sima Ingenieros, 2022)

Anexo F. Resultados de laboratorio Sima Ingenieros



"Generamos huella verde"

Informe resultado de laboratorio

Ref. Entrega de informe

La presente tiene como fin la entrega del informe de resultados parcial, según la amable solicitud de nuestro colaborador en temas académicos en colaboración para su trabajo de grado:

Fecha del reporte julio 25 del 2021

Información de la empresa			
Razón social	Sima Ingenieros S.A.S	Email	Coordinador.pai@simaingenieros.com.co
Contacto	Mauricio Holguín Pérez	Nit	844.000.147-6
Dirección	Km 18 vía yopal-Paz de Ariporo		
Teléfonos	3102840542		
Lugar de muestreo	Vereda la Niata - Yopal	Tipo de muestro	Muestro simple
Punto de muestro	Tanque séptico	Hora de muestreo	10:00:00
Tipo de agua	Agua residual domestica	Tipo de análisis	Fisicoquímico
Fecha de análisis	Julio 15 del 2021		

Análisis fisicoquímico			
Parámetros	Resultado	Unidad	Método
DQO	1405.0	mg/L O2	SM5220C Reflujo cerrado y volumetría
DBO5	655.7	mg/L O2	SM 5210 B Incubación 5 días y Luminiscencia
SST	314.3	mg/L	SM 2540 B Gravimétrico (Secado a 105°C)
Grasas y aceites	344.9	mg/L	SM 5520 C partición-infrarrojo

☎ Oficina: Calle 38 No. 19 – 68,
 ☎ Barrio Aerocivil - Yopal, Casanare
 ✉ contacto@simaingenieros.com.co
 ☎ 313 262 2971
 ☎ (57+8) 635 3697 / 635 7694



Fuente: Base de datos (Sima Ingenieros, 2022)