



**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN PROTOTIPO DE HUMEDAL
ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DOMÉSTICAS PROVENIENTES DE UN POZO SÉPTICO**

GINA MARCELA QUINTANA TIBADUIZA

21231829643

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Ambiental

Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

Duitama, Colombia

2022

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN PROTOTIPO DE HUMEDAL
ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DOMÉSTICAS PROVENIENTES DE UN POZO SÉPTICO**

GINA MARCELA QUINTANA TIBADUIZA

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

INGENIERA AMBIENTAL

Director (a):

(Magister) Stella Carolina Carvajal Rincón

Codirector (a):

(Magister) Miguel Fernando Molano Cabrejo

Línea de Investigación:

Grupo de Investigación:

Semillero de Gestión de Recursos Hídricos (SIGERH)

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Ambiental

Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

Duitama, Colombia

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado
“Evaluación de la eficiencia de un prototipo de humedal artificial de flujo subsuperficial
para el tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de un pozo séptico”

Cumple con los requisitos para optar
Al título de Ingeniera Ambiental.

Firma del tutor director

Firma del tutor codirector

Firma Jurado

Firma Jurado

Duitama,08, noviembre,2022

Contenido

1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
3. Objetivos	8
4. Justificación	9
5. Formulación y planteamiento del problema	11
6. Marco teórico	13
6.1 Tipos de humedales	15
6.2 Componentes de un humedal artificial	16
6.3 Plantas Acuáticas Macrófitas	17
7. Marco Legal	20
8. Diseño Metodológico	22
8.1 Parámetros fisicoquímicos	23
8.2 Parámetros microbiológicos	25
8.3 Diseño del prototipo de humedal artificial	26
8.4 Datos de diseño prototipo de humedal	27
9. Resultados y Análisis	33
9.1 Caracterización de agua residual domestica	33
9.2 Caracterización fisicoquímica del agua residual domestica	33
9.5 Caracterización fisicoquímica de agua tratada en el humedal artificial	35
9.6 Caracterización microbiológica de agua tratada en el humedal artificial ...	36
Primer seguimiento	36
10. Conclusiones	38
11. Recomendaciones	39
12. Referencias	40
13. Anexos 42	

Lista de ilustraciones

	Pag.
Ilustración 1. Resultados relacionados con humedales artificiales	3
Ilustración 2. Principales ciencias que aportan investigación relacionada con humedales artificiales.....	4
Ilustración 3. Desarrollo de la temática de humedales artificiales por países.....	5
Ilustración 4. Área transversal de un humedal de Flujo Superficial	16
Ilustración 5. Área transversal de un humedal de Flujo Subsuperficial.....	16

Lista de tablas

	Pag.
Tabla 1. Normativa General del Recurso Hídrico.....	20
Tabla 2. Valores permisibles resolución 631 de 2015	24
Tabla 3. Otros parámetros fisicoquímicos a considerar.....	24
Tabla 4. Métodos de detección prueba microbiológica	25
Tabla 5. Datos de diseño de prototipo humedal artificial	27
Tabla 6.	28
Tabla 7. Características del sustrato.....	31
Tabla 8. Resultados iniciales de parámetros físico químicos para el agua residual domestica ...	33
Tabla 9. Resultados iniciales parámetros microbiológicos.....	34
Tabla 10. Resultados compilados en los tres monitoreos realizados al agua tratada.....	35
Tabla 11. Resultados parámetros microbiológicos para el agua residual domestica tratada luego de 2 días de tratamiento	36
Tabla 12. Resultados parámetros microbiológicos para el agua residual domestica tratada luego de 8 días de tratamiento	37

Lista de Abreviaturas

DBO5: Demanda biológica de oxígeno

SST: Sólidos suspendidos totales

PH: Potencial de hidrógeno

DQO: Demanda química de oxígeno

HAFSS: Humedal artificial de flujo subsuperficial

HAFS: Humedal artificial de flujo superficial

PT: Fósforo total

NT: Nitrógeno total

AR: Agua residual

OD: Oxígeno disuelto

Q: Caudal

TRH: Tiempo de retención hidráulico

PCU: Unidades platino-cobalto

NTU: Unidad nefelométrica de turbidez

As: Área superficial

ARD: Agua residual doméstica

ARND: Agua residual no doméstica

Agradecimientos

En primera medida agradezco a Dios porque me guio y me permitió llegar a ser profesional. Así mismo está dedicado a todas las personas que me apoyaron en mi proceso de formación, A mis padres por su infinito amor, fortaleza y apoyo incondicional, a German moreno por apoyarme con amor en todos los momentos.

Gracias a los docentes de la Universidad Antonio Nariño quienes con dedicación e interés transmitieron sus conocimientos y me enseñaron cosas nuevas cada día, igualmente agradezco a la ingeniera Karol Dayana Hernández Blanco quien en el inicio del proceso fue mi directora de investigación, por su integridad como docente, por sus consejos, y su ayuda en la realización de este proyecto.

Resumen

En este trabajo de investigación se realizó la parametrización, construcción y puesta en marcha de un humedal artificial. Con el fin de dar tratamiento a aguas residuales domésticas provenientes de pozos sépticos. Dado que, el mal manejo de los residuos domésticos representa un riesgo sanitario y microbiológico para las comunidades rurales que no cuentan con sistema de alcantarillado. Según la OMS representa un riesgo para la salud pública y según la FAO se incrementa la amenaza de contaminación cruzada hacia los alimentos poniendo en riesgo la seguridad alimentaria de estas poblaciones. Por lo que son sistemas de bajo costo y de fácil implementación, resultan ser una alternativa viable para las familias de bajos recursos de las zonas rurales del departamento de Boyacá. Ya que les permite hacer un pretratamiento de las aguas residuales antes de ser dispuestas en afluentes o suelos fértiles cultivables. Los resultados del trabajo así lo demuestran. Ya que, los valores para los parámetros fisicoquímicos como DBO₅, DQO, SST y color real son mejores que los permitidos por la resolución 631 de 2015. Adicionalmente, el análisis microbiológico muestra una eficiencia del 99.99% en la eliminación de microorganismos patógenos al efectuar el tratamiento con el humedal artificial.

Abstract

In this research work, the parameterization, construction and commissioning of an artificial wetland were carried out. In order to treat domestic wastewater from septic tanks. Since, the poor management of this domestic waste represents a sanitary and microbiological risk for rural communities that do not have a sewage system. According to the WHO, this represents a risk to public health and, according to the FAO, the threat of cross-contamination to food increases, putting the food safety of these populations at risk. Therefore, this type of low-cost and easy-to-implement system turns out to be a viable alternative for low-income families in rural areas of the department of Boyacá. Since it allows them to pre-treat wastewater before being disposed of in tributaries or fertile cultivable soils. The results of this work demonstrate this. Since, the values for the physicochemical parameters such as BOD5, COD, TSS and real color are better than those allowed by resolution 631 of 2015. Additionally, the microbiological analysis shows an efficiency of 99.99% in the elimination of pathogenic microorganisms when carrying out the artificial wetland treatment.

1. Introducción

El saneamiento básico es un conjunto de procesos que permiten eliminar de manera eficiente los residuos generados por el hombre, es importante en el bienestar y el desarrollo de los territorios y las comunidades que los habitan, la deficiencia en estos procesos genera enfermedades de salud pública como EDA (enfermedad diarreica aguda), cólera, fiebre tifoidea, disentería, entre otras, asociadas a la muerte de miles de niños y adultos mayores en el mundo .Para el año 2020, el 45% de las aguas residuales producidas fueron vertidas a las fuentes de agua superficiales sin ningún tratamiento previo, por otra parte, aproximadamente el 10% de la población consume alimentos que fueron regados con aguas residuales y tan solo el 54% de la población utiliza un servicio de saneamiento seguro (OMS, 2022). Por tal razón, se hace necesario la búsqueda de alternativas sustentables y económicas que permitan mitigar estos impactos, especialmente en zonas que carecen de sistemas de alcantarillado eficientes y no poseen los recursos económicos necesarios para una óptima disposición de las aguas residuales domésticas.

En el título J del Reglamento de Agua y Saneamiento –RAS 2017, se encuentran establecidas las alternativas de saneamiento en cuanto a tecnologías a ser usadas en el sector rural, siendo el sistema séptico la opción más común para nuestro país, sin embargo, para que sea eficiente y seguro, se requiere de condiciones específicas, como el tratamiento del efluente generado con el propósito de disminuir la carga microbiana y mejorar los parámetros físicos y químicos del agua residual. Dichos tratamientos tienden a generar altos costos de instalación y mantenimiento, que los hacen poco alcanzables en una comunidad rural de recursos escasos y con poco apoyo de instituciones del estado.

Es así que nace la necesidad de buscar alternativas sustentables que permitan obtener resultados positivos que sean amigables con el ambiente y los ecosistemas, siendo la opción más pertinente el uso de humedales artificiales (Gómez,2006) los cuales, a partir del aprovechamiento de recursos naturales, se convierten en un filtro compuesto por material de extracción del suelo y especies de macrófitas que permitan absorber y retener las partículas contaminantes del agua residual mejorando considerablemente la calidad del agua.

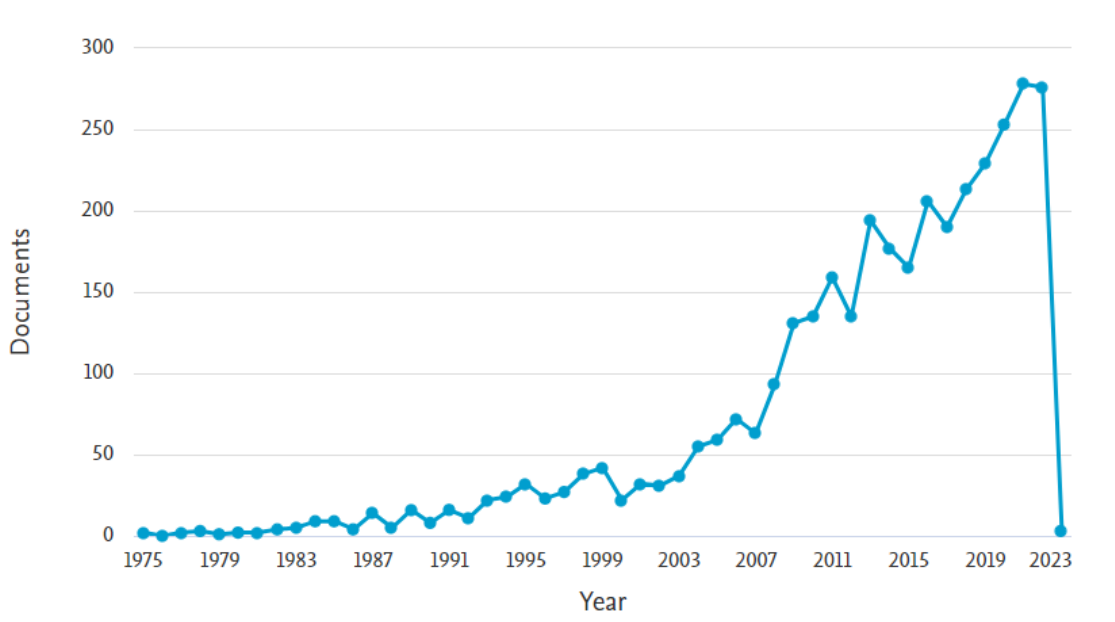
Para ello se desarrolló un prototipo de humedal artificial a escala de laboratorio que permitiera evaluar su efectividad in situ, desarrollando una metodología específica centrada en cuatro fases principales, la inicial de investigación y análisis de la información con la ayuda de las bases de datos de la biblioteca de la Universidad Antonio Nariño y de recursos digitales; la segunda comprende la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales y la construcción de un prototipo en el campus universitario; la tercera se basa en la evaluación y seguimiento de variables mediante análisis de laboratorio de DBO₅, SST, pH, temperatura, turbidez, entre otros, y en la última fase, a partir de los resultados obtenidos analizar y evaluar el porcentaje de eficiencia alcanzado.

2. Antecedentes

En las últimas décadas, ha cobrado una importancia notoria el diseño y construcción de humedales artificiales como se puede observar en el gráfico 1. En donde se puede percibir el creciente interés en esta temática desde el año 2000, pasando de 44 artículos publicados a 276 artículos publicados en el año 2022. La tendencia al aumento que vemos en la gráfica se atribuye principalmente al mayor entendimiento sobre los ecosistemas de humedal y su impacto positivo en la biosfera, es por esto, que científicos a nivel mundial se ven interesados por reproducir a nivel de laboratorio, prototipos y plantas piloto las bondades de estos ecosistemas.

Ilustración 1.

Resultados relacionados con humedales artificiales



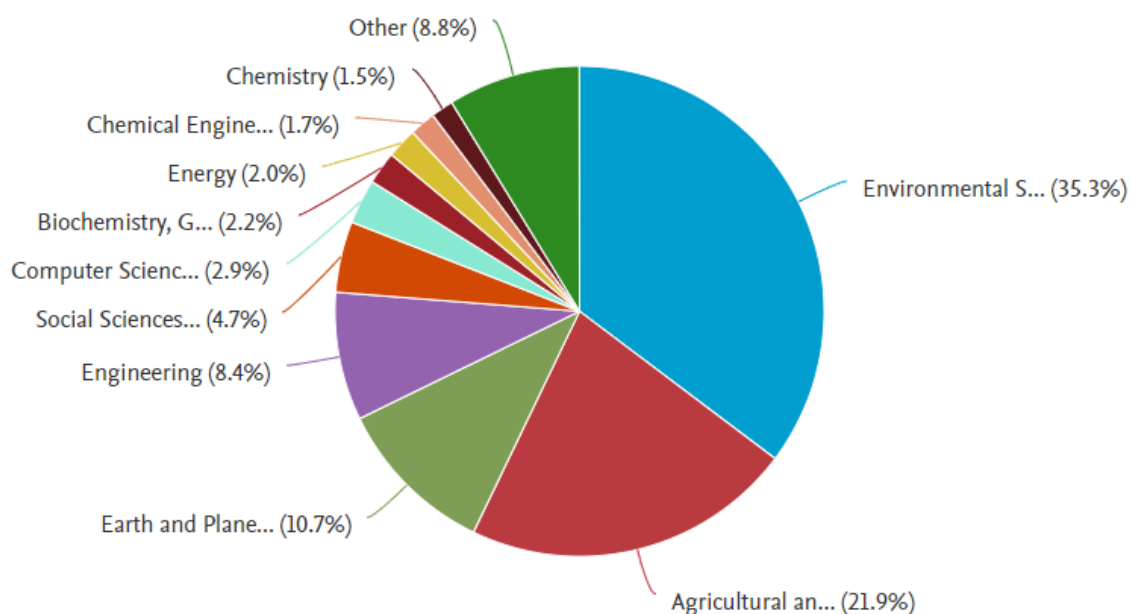
Fuente Base de datos Scopus

En cuanto a la aplicación que tienen estos estudios en las diferentes áreas del conocimiento podemos resaltar que las ciencias ambientales aportan un 35% de los documentos

publicados, las ciencias agrícolas y biológicas aportan un 22% de documentos, ciencias planetarias y de la tierra junto con ingenierías aporta un 11% y 8 % respectivamente. Aportando así, una gran variedad de aplicaciones directas de estos ecosistemas a la generación de nuevo conocimiento que lleva a entender mejor estos ecosistemas como podemos ver en el gráfico 2.

Ilustración 2.

Principales ciencias que aportan investigación relacionada con humedales artificiales



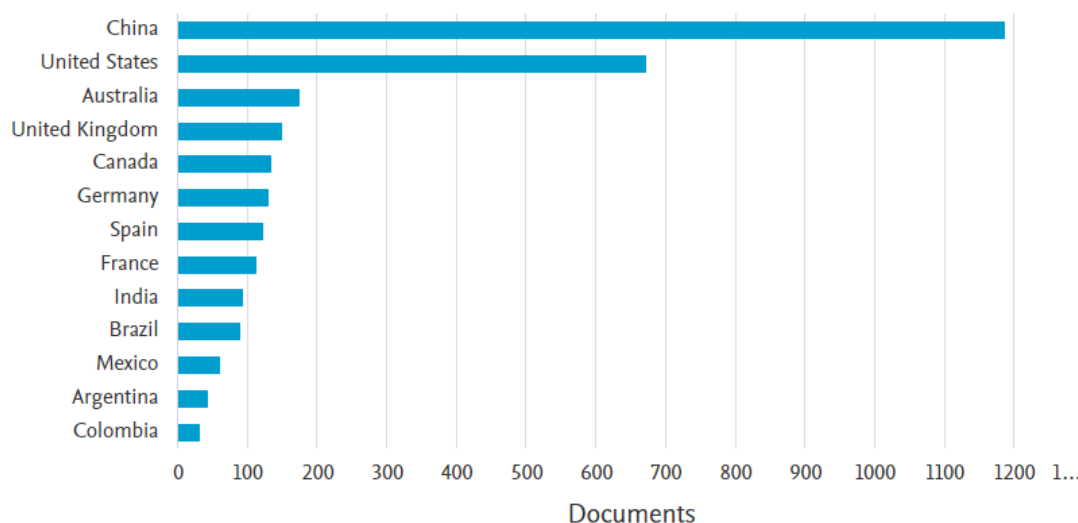
Fuente: Base de datos Scopus

Los principales países que investigan sobre humedales artificiales son China, Estados Unidos y Australia. Entre estos tres países se aportan más del 50% de los documentos publicados en esta temática. En este contexto, se hace interesante ver el aporte que tiene Colombia al estado del arte, y el panorama es muy insipiente ya que de los 34 documentos publicados en Colombia sobre humedales artificiales tan solo 28 se publicaron en los últimos 10 años como se puede ver en la gráfica 3. Por lo que es necesario realizar en Colombia más investigación, que permita

aportar mayor información y aplicaciones de los humedales artificiales a solucionar las problemáticas medio ambientes que se presentan actualmente.

Ilustración 3.

Desarrollo de la temática de humedales artificiales por países.



Fuente: Base de datos Scopus

Campo Daza y colaboradores en 2002, publicaron la implementación de un humedal artificial para la recuperación de aguas contaminadas con residuos provenientes de la explotación de petróleo, en este artículo se resalta la importancia de implementar este método por ser económico, fácil de implementar y resultan más atractivos que los sistemas convencionales desde el punto de vista paisajístico, por su escasa o nula producción de lodos secundarios y olores. En este trabajo los autores concluyen que el humedal artificial tiene una alta eficiencia de remoción de hidrocarburos, encontrando que la especie *Typha latifolia* presentó la eficiencia y adaptabilidad (Campo-Daza et al., 2022).

Luisa Calderón y colaboradores en 2015, publican la implementación de un humedal artificial modificado con un sistema de humedales en escalera con goteo por gravedad para

permitir el secado de los lodos generados en el tratamiento de aguas provenientes de pozos sépticos en Brasil. Encontrando como principal hallazgo la baja generación de lodos, disminución de la carga orgánica, y eliminación de la demanda química de oxígeno, generando una eficiencia razonable en la unidad a gran escala del 71% y determinaron que la recirculación no trajo mejoras considerables al proceso, lo que lo hace muy eficiente (Alex Díaz et al., 2014).

En 2022 Alex Diaz y colaboradores, diseñaron un humedal artificial con el fin de dar un tratamiento alternativo a los efluentes del proceso de piscicultura, utilizando jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y probando diferentes cargas hidráulicas. Encontrando el tiempo de retención hidráulico óptimo es de 1,6 días con una eficiencia del 67,9 % para NH_4^+ , 32,1 % para DBO_5 , 27,1 % para NO_2^- , 23,0 % para PT y 16,7 % para NO_3^- . (Alex Díaz et al., 2014)

Zhang, Dejin y colaboradores, reconocen el tratamiento de aguas residuales porcinas como un método alternativo para disminuir la contaminación hídrica generada por la explotación agroindustrial porcina. Reportando un resultado satisfactorio en la remoción de nitrógeno, fosforo y una disminución en la DBO, logrando concluir que es un método con potencial a gran escala. (Zhang et al., 2022)

Muduli, Monali y colaboradores en su trabajo publicado en 2022, realizaron el monitoreo y evolución de un humedal artificial usando *Dracanea*, con el fin de remover colorantes en aguas residuales contaminadas con tintes textiles. Como pigmentos de prueba se usaron el amarillo de metanil, CVFW-1, CVFW-2 y CVFW-3, encontrando una remoción total de las tinturas, aunque se identificó un incremento en el estrés de la planta al aumentar la concentración de tintes. Como conclusiones los autores reportan una mayor eficiencia del humedal en verano, se dio seguimiento de la degradación de los tintes usando la Espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) tanto en la entrada como en la salida encontrando una remoción eficiente de

los colorantes, por lo que recomiendan este método como una alternativa viable en el tratamiento de aguas industriales. (Muduli et al., 2022)

Khan, Roohul Abad y colaboradores en su trabajo midieron la eficiencia de un humedal artificial en la eliminación de compuestos químicos farmacéuticos en aguas residuales hospitalarias ya que estos son un problema de contaminantes emergentes con gran impacto en la fauna y flora silvestres. Encontrando una eficiencia del humedal con plantación superior en un 31% (paracetamol), 102% (ibuprofeno), 46%, (carbamazepina), 57% (lorazepam), 54% (eritromicina), 31% (ciprofloxacino) y 20% (simvastatina) frente al humedal artificial sin plantación. Concluyendo que además de ser un método eficiente en la remoción de contaminantes emergentes es una alternativa paisajista con un gran potencial en el tratamiento de aguas residuales hospitalarias. (Khan et al., 2022)

Este estado del arte nos permite vislumbrar el potencial que tienen los humedales artificiales como estrategias paisajistas de bajo coste y de fácil implementación para el tratamiento de aguas residuales sin generación de olores. Adicionalmente, potenciando la importancia que tienen estos ecosistemas naturales en los procesos de depuración y purificación del agua dado que la actividad humana cada día amenaza con llevar a estos ecosistemas a la extinción ya que son vistos como focos de contaminación. (Bekkari et al., 2022; Dal Ferro et al., 2021; Xie et al., 2022)

3. Objetivos

Objetivo general

Evaluar la eficiencia de un prototipo de humedal artificial de flujo subsuperficial a escala laboratorio para el tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de un pozo séptico.

Objetivos específicos

- Analizar información de estudios existentes para el diseño y construcción del prototipo de humedal artificial de tipo subsuperficial
- Caracterizar la muestra de agua residual proveniente del pozo séptico de la vivienda unifamiliar ubicada en el municipio de Gámeza e iniciar construcción del prototipo
- Observar y Monitorear el comportamiento de variables indicadoras DBO₅, sólidos suspendidos totales (SST), Temperatura, pH, Oxígeno Disuelto y Análisis microbiológico
- Evaluar la eficiencia del prototipo del humedal artificial a través de las mediciones realizadas en las variables indicadoras DBO₅, sólidos suspendidos totales (SST), Temperatura, pH, Oxígeno Disuelto y Análisis microbiológico

4. Justificación

Cerca de 830 mil personas mueren anualmente a causa de deficiencia en los servicios básicos de saneamiento (OMS, 2020), en la mayoría de los casos debido a enfermedades producidas por microorganismos patógenos presentes en el agua residual domiciliar, el tratamiento convencional de dichos residuos líquidos no es del todo viable en comunidades rurales, quienes deben buscar alternativas eficientes y económicas, que permitan disminuir los impactos causados por el manejo inadecuado de esos vertimientos.

Es así, como los humedales artificiales se convierten en una alternativa natural y accesible al tratamiento de aguas residuales domésticas debido a su capacidad para simular los procesos naturales de los humedales en la asimilación orgánica. (Rincón Medina, 2013). Por tanto, representa una alternativa sustentable y económica de pos tratamiento para los sistemas rurales de viviendas dispersas.

Dado lo anterior, con el ánimo de poner en práctica los conocimientos adquiridos durante la etapa de pregrado y como aporte de nuevos conocimientos, se realizó la investigación orientada a verificar la eficiencia de un prototipo de “Humedal Artificial de flujo subsuperficial Horizontal” (Mena Cabrera, 2014), construido en el laboratorio de ciencias básicas en la Universidad Antonio Nariño sede Duitama, tomando como base inicial para el análisis de datos una muestra de agua residual extraída de un pozo séptico de una vivienda rural del municipio de Gameza, Boyacá.

Así mismo, buscando la factibilidad para evaluar la eficiencia de esta alternativa a través de los procesos que llevan a cabo las plantas macrófitas propias de los humedales naturales, se realizó una aproximación de la funcionalidad de un humedal artificial piloto a escala laboratorio,

en el cual se evaluó su eficiencia, a través del análisis de variables indicadoras como: materia orgánica en términos DBO_5 , sólidos suspendidos totales (SST),(EPM,2013) Temperatura, pH, Oxígeno Disuelto y Análisis microbiológico.

5. Formulación y planteamiento del problema

En Colombia en su zona rural, las viviendas dispersas no cuentan con una adecuada gestión de sus aguas residuales, por lo que estas son vertidas directamente al suelo o a fuentes superficiales, provocando la alteración en su calidad; siendo esta, una de las principales causas de enfermedades de salud pública. Más de 2.3 mil millones de personas no cuentan con sistemas de saneamiento básico y 892 millones de no usan sanitarios (OMS,2022).

Algunas áreas rurales en el país, se encuentran aisladas de la vista del estado en cuanto a inversiones para el desarrollo económico y social, razón por la cual dichas zonas carecen de infraestructura y de sistemas adecuados para servicios básicos

El panorama sobre el agua en zonas rurales de Colombia es desalentador, por lo menos 3 millones de las personas que habitan el campo colombiano (11.653.673 personas) no cuentan con acceso a los servicios básicos de agua potable, y más de la mitad se encuentran sin acueductos y alcantarillados, lo cual equivale al 28% de la población rural colombiana, según cifras a 2015 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (ASIR-SABA,2019)

Desde una perspectiva local, en el municipio de Gámeza, Boyacá, las viviendas cuentan con soluciones individuales para la recolección y tratamiento de aguas residuales, las cuales, están constituidas en un 12.5% por pozos de drenajes de forma artesanal y en 75% en otro tipo de sistemas de tratamiento. (Embajada de Suiza en Colombia Ayuda Humanitaria y Desarrollo (COSUDE,2018). Pero este sistema de recolección no es suficiente, si no se realiza un pos tratamiento de las aguas provenientes de los pozos sépticos de las viviendas unifamiliares rurales.

A partir de la problemática general mencionada anteriormente, surge la necesidad de mejorar las características indicadoras de contaminación de los sistemas sépticos para las viviendas rurales dispersas, siendo los humedales artificiales una opción de fácil manejo, económica, accesible y natural.

¿Los humedales artificiales son realmente una alternativa potencial para mejorar las características indicadoras de contaminación del agua residual doméstica?

6. Marco teórico

En las últimas décadas, la humanidad ha buscado la mejor forma de solucionar el problema de disposición y tratamiento de aguas residuales, las cuales son causa directa de múltiples enfermedades que han llevado a la muerte a miles de personas en el mundo. Los tratamientos más comunes, son costosos y necesitan de grandes infraestructuras que requieren de mantenimiento constante. Es así como el hombre comienza la búsqueda de alternativas sostenibles, que se encuentren dentro del ciclo normal de la naturaleza sin necesitar de grandes inversiones y espacios.

Según Oteng (et al. 2018), algunos países con alto desarrollo económico y social utilizan sistemas de tratamiento de aguas residuales avanzados que reducen los niveles de contaminación antes de verter las aguas contaminadas a los cauces de los ríos. Estos sistemas realizan tratamientos físicos y químicos o con aporte biológico. Por su parte, los países en vía de desarrollo buscan alternativas más simples que sean amigables con los ecosistemas y con aporte biológico como los biorreactores de membrana, humedales artificiales entre otros.

Los humedales artificiales son una opción sostenible que permite la fitodepuración de las aguas residuales (Andrade, 2010), y consiste en hacer crecer un cultivo de plantas macrófitas en lechos de grava. La acción de los macrófitas induce una serie compleja de interacciones físicas, químicas y biológicas que limpian progresivamente las aguas residuales entrantes. Asimismo, se trata de un predominio de vegetación adaptada a la vida, como por ejemplo pantanos, turberas, marismas y estuarios (Epa, 1994).

De igual manera, Correal (2012) realizó un estudio frente a la oxigenación rápida obtenida en procesos de infiltración con arena de calibre medio. Este método mejoró

notablemente la calidad del agua gracias a la acción realizada por los filtros naturales, la luz solar y las plantas acuáticas.

Por su parte, en un estudio Paz (et al. 2012) evaluó la eficiencia de humedales de flujo superficial libre en laboratorio para el tratamiento de agua residual proveniente de la producción de petróleo, reduciendo la concentración de sulfuros y fenoles presentes en este tipo de efluente. Su diseño se basó en dos humedales con soporte de grava y suelo acompañado de plantas acuáticas emergentes.

Reyes (2016) propuso un sistema de fitorremediación como postratamiento de aguas residuales provenientes de las actividades propias de una estación de servicio, diseñando un sistema de filtros alternativos que logran mejorar la eficacia en la reducción de contaminantes, a partir de la especie vegetal *Phragmites Australis*.

Así mismo, se encuentran conclusiones (Cárdenas, Sánchez, Maya y Solarte, 2015), que los sistemas de filtración que utilizan gravilla o arena como filtros, son altamente eficientes para mejorar notablemente la calidad del agua residual.

Borz (et al. 2018) realizó un humedal artificial a manera de prototipo de laboratorio para determinar la eficiencia de las gramíneas en la reducción de materia orgánica e inorgánica del efluente del río Ramiyacu, a través de procesos físicos y químicos primarios.

En investigaciones de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM, 2022) los sistemas de humedales están contruidos para imitar los procesos de descomposición que ocurren naturalmente en los humedales de lagos y mares. Aunque se puede implementar a nivel doméstico, a menudo es una alternativa al tratamiento de aguas residuales a nivel comunitario.

6.1 Tipos de humedales

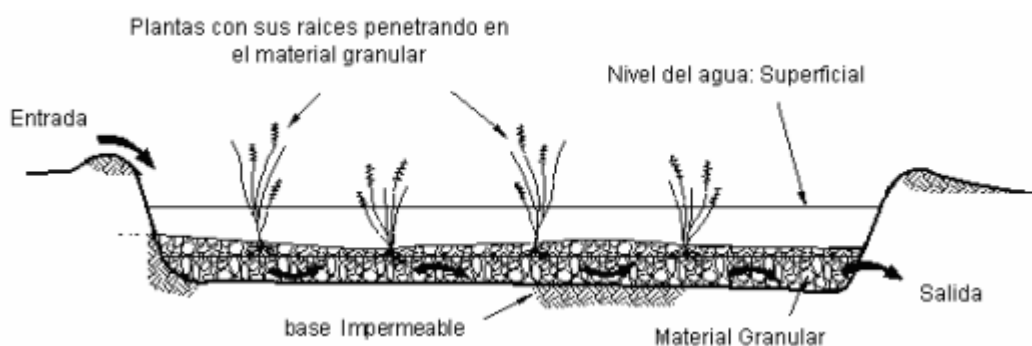
En la literatura se encuentran dos clasificaciones específicas: los Sistemas de Flujo Superficial y los Sistemas de Flujo Subsuperficial, estos últimos se dividen en Horizontales y Verticales.

En los humedales de flujo superficial artificial, el agua fluye sobre la superficie a través de tallos, raíces donde habitan películas bacterianas que son responsables de eliminar los contaminantes (Delgadillo,2010).

Por su parte, los humedales de flujo subsuperficial horizontal, son los sistemas más utilizados en Europa y tienen su origen en la investigación de Seidel, K. (1967) y de Kickuth, R. (1977). El diseño de estos sistemas incluye un lecho de tierra o arena y grava sembrado de plantas acuáticas, generalmente cañas comunes o juncos (Kolb, P.1998). En el funcionamiento de esta clase de humedales el agua entra de forma continua, se reparte por la parte superior de un extremo y se recoge por un tubo de drenaje en el fondo del desagüe del otro lado. Las aguas residuales se tratan para que fluyan a través de medios porosos (flujo pistón).

Ilustración 4.

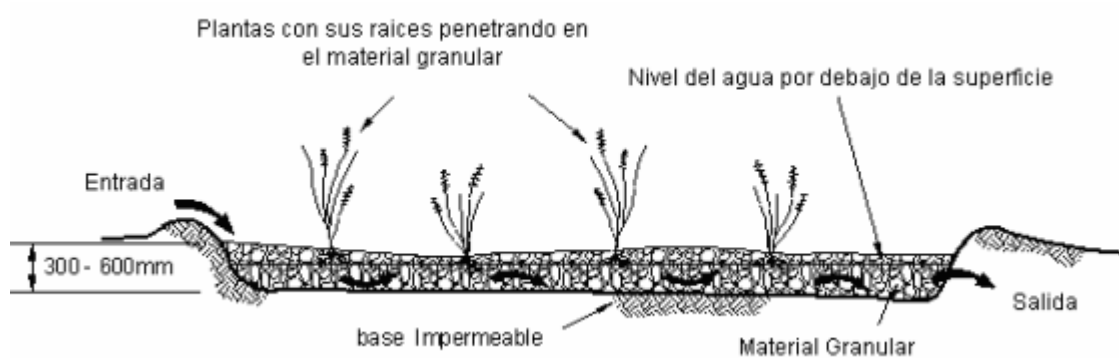
Área transversal de un humedal de Flujo Superficial



Fuente: (Angarita, 2004)

Ilustración 5.

Área transversal de un humedal de Flujo Subsuperficial



Fuente: (Angarita, 2004)

6.2 Componentes de un humedal artificial

Constan de tres elementos principales: aguas residuales, sustratos, plantas macrófitas.

- a) *Aguas residuales domésticas*: Según el Ras (2017) las aguas residuales son residuos líquidos de las actividades domésticas, incluidas las heces y el agua de lavado de la cocina. Son aguas grises y una combinación de agua y excretas"(Título J, 2017).

- b) *Sustrato*: Contiene material granular y arcilla. El medio debe tener una superficie permeable que permita que el agua se extienda por todo el filtro. “Por esta razón, se recomienda utilizar materiales granulares con un diámetro de 5 mm a 30 mm, lo que permite la absorción y eliminación de contaminantes”. (Tanner & Headley, 2011)
- c) *Plantas macrófitas*: son un tipo de vegetación que se encuentra en los ecosistemas acuáticos que regulan el intercambio de agua entre los ambientes terrestres y acuáticos (Gallego, 2015). Además de ser esenciales para el ciclo de nutrientes en los ecosistemas del suelo, estas plantas tienen un impacto significativo en el saneamiento del agua y en el equilibrio natural de los humedales, de manera que absorbe, asimila y recolecta elementos como el carbono, el nitrógeno y el fósforo (Gallego, 2015).

6.3 Plantas Acuáticas Macrófitas

Ronald (2006) sugiere el uso de plantas acuáticas macrófitas emergentes como *Phragmites*, *Juncus*, *Typha*, *communis*, entre otras, para los humedales artificiales, con el fin de remover material contaminante de aguas residuales, debido a la capacidad de dichas especies para absorber altas tasas de nutrientes.

Según (Ramos, Cárdenas y Herrera, 2012) las plantas acuáticas denominadas macrófitas se encuentran en ambientes húmedos o inundables, adoptándose a este medio para permitir un adecuado desarrollo, crecimiento y reproducción bajo condiciones de inundación permanente. Estas se clasifican en cuatro divisiones taxonómicas: Pteridophyta, Charophyta, Spermatophyta y Bryophy.

Por su parte, (Cárdenas-Avella, 2013), estudia los factores abióticos de los que depende el crecimiento de las macrófitas acuáticas dentro de los cuales está el clima, la topografía y la

geología. Así mismo, determina que estas plantas son exitosas en cuanto a la tolerancia ecológica y la plasticidad a diferentes condiciones ambientales; atribuido al crecimiento clonal y la abundancia de rizomas.

El presente estudio de investigación tiene como finalidad determinar si el prototipo de humedal realizado en el laboratorio de la Universidad Antonio Nariño, es eficiente para el tratamiento de aguas residuales proveniente de un pozo séptico de una vivienda unifamiliar del municipio de Gameza Boyacá, para lo cual, se realizó la toma de muestras de agua para analizar y comparar parámetros fisicoquímicos y microbiológicos antes y después de la filtración en el modelo de humedal diseñado.

Los parámetros físicos determinan las propiedades organolépticas es decir color, olor y sabor (Londoño Gaitán, 2014), mientras el químico determina la composición química de la muestra a analizar, usando diversos reactivos que permiten identificar ciertas características del agua, los definidos para esta investigación son:

- pH el cual es una medida que determina el nivel de acidez o alcalinidad del agua o de una solución.
- Sólidos suspendidos totales son el total de sólidos en suspensión dentro de una solución.
- DBO₅ es una medida del total de oxígeno que utilizan los microorganismos para degradar la materia orgánica en ambientes aeróbicas a 20 °C durante 5 días.
- Turbiedad es la medida de transparencia que pierde el agua por la presencia de sólidos en suspensión.

- Color aparente es el resultado de la presencia de tanto sustancias suspendidas como de sustancias disueltas.
- DQO se trata de la cantidad de oxígeno requerida para degradar sustancias tanto orgánicas como inorgánicas por medio de un agente químico.
- Oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno presente o disponible en el agua.

Por otra parte, los parámetros microbiológicos se refieren a mediciones de la concentración de microorganismos que, cuando están presentes en ciertas cantidades en el agua, pueden representar un riesgo para la salud pública en términos de su capacidad para propagar enfermedades infecciosas (Londoño Gaitán, 2014). Los microorganismos patógenos que generalmente se incluyen en los análisis de agua son: De origen bacteriano: *Salmonella typhi*, *Salmonella*., *Shigella*, *Escherichia coli*.

7. Marco Legal

Tabla 1.

Normativa General del Recurso Hídrico.

ACTO LEGISLATIVO	FECHA PUBLICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Convenio Sobre la Diversidad Biológica, 1992 Comunidad Internacional	En vigor para el país el 26 de febrero de 1995	Es el instrumento internacional para la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos. Su objetivo general es promover medidas que conduzcan a un futuro sostenible.
Constitución Política de Colombia 1991	Gaceta Constitucional N° 127 del 10 de octubre de 1991	<p>Artículo 63: “Los bienes de uso público, los parques naturales, las tierras comunales de grupos étnicos, las tierras de resguardo, patrimonio arqueológico de la nación y los demás bienes que determine la ley, son inalienables, imprescriptibles e inembargables”.</p> <p>Artículo 79: “Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines”</p>
Decreto-Ley 2811 de 1974 Congreso de Colombia	Fecha de Entrada en Vigencia 18 de Diciembre de 1974, publicado en el Diario Oficial No. 34243.	<p>Artículo 80: “El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.”</p> <p>Artículo 366: El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable. Para tales efectos, en los planes y presupuestos de la nación y de las entidades territoriales, el gasto público social tendrá prioridad sobre cualquier otra asignación”.(Constitución Política de Colombia, 1991)</p>
Ley 99 de 1993 Congreso de Colombia	Entrada en Vigencia el 22 de diciembre de 1993, publicado en el Diario Oficial 41146 de diciembre 22 de 1993	<p>El Estado y los particulares deben participar en la preservación y manejo de medio ambiente, que son de utilidad pública e interés social, fundado en el principio de que el ambiente es patrimonio común de la humanidad y necesario para la supervivencia y el desarrollo económico y social de los pueblos</p> <p>La preservación y manejo de los recursos naturales renovables también son de utilidad pública e interés social.</p>
Ley 99 de 1993 Congreso de Colombia	Entrada en Vigencia el 22 de diciembre de 1993, publicado en el Diario Oficial 41146 de diciembre 22 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA

Ley 165 de 1994	Publicada en el Diario Oficial No. 41.589, de 9 de noviembre de 1994	Por medio de la cual se aprueba el Convenio sobre la Diversidad Biológica, hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992 (Congreso de Colombia, 1994)
Ley 357 de 1997	Entrada en Vigencia el 27 de enero de 1997 Publicado en el Diario Oficial No. 42.967	Por medio de la cual se aprueba la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, suscrita en Ramsar el dos (2) de febrero de mil novecientos setenta y uno (1971)
Sentencia C 582 de 1997	Magistrado Ponente: Dr. José Gregorio Hernández Galindo. Sentencia aprobada en Santa Fe de Bogotá, D.C., a los trece (13) días del mes de noviembre de mil novecientos noventa y siete (1997).	Revisión de constitucionalidad de la Ley 357 del 21 de enero de 1997, por medio de la cual se aprueba la "Convención relativa a los humedales de importancia internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas", suscrita en Ramsar el 2 de febrero de 1971.
Decreto 2372 DE 2010	Publicado en el Diario Oficial 47757 de julio 1 de 2010	Por el cual se reglamenta el Decreto-ley 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993, la Ley 165 de 1994 y el Decreto-ley 216 de 2003, en relación con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las categorías de manejo que lo conforman
Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico 2017	08 de junio de 2017	"Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009"
Resolución 0844 de 2018	08 de noviembre de 2018	"Por la cual se establecen los requisitos técnicos para los proyectos de agua y saneamiento básico de zonas rurales que se adelanten bajo los esquemas diferenciales definidos en el capítulo 1, del Título 7, parte 3, del libro 2 del Decreto 1077 de 2015" (<i>Scanned DocuCXment</i> , 2018)
Resolución 631 de 2015	Marzo 17 de 2015	"Por la cual se establecen los parámetros y valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones." Capítulo III Art 6 Capítulo V Art 8

Fuente: Elaboración propia basada en (CONSTITUCION POLITICA DE COLOMBIA

1991, 1991), (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

8. Diseño Metodológico

Para el desarrollo de este documento, se buscó analizar todos los datos obtenidos utilizando un método cuantitativo, a partir de una serie de fases que incluyen desde la recopilación de la información hasta el análisis de los datos, partiendo del objetivo principal de investigación. En este estudio, fue necesario utilizar fuentes de información primaria de la biblioteca de la Universidad Antonio Nariño, artículos de investigación y trabajos de grado.

Fase 1: Análisis de información de estudios existentes para el diseño y construcción del prototipo de humedal artificial de tipo subsuperficial.

En esta primera fase se determina las fuentes de información necesarias para el diseño y construcción de un prototipo de humedal artificial de tipo subsuperficial. Dentro de las fuentes consultadas en plataformas digitales, se encuentran artículos científicos de revistas indexadas, trabajos de pregrado y posgrado, a partir de los cuales se reunió los datos básicos para la construcción del modelo a escala de laboratorio y el estudio de los análisis básicos que se deben realizar al agua residual domiciliaria.

Por otra parte, se identifica la población de estudio de una vivienda rural dispersa en la vereda de Satoba del municipio de Gámeza en el departamento de Boyacá, donde habita un núcleo familiar compuesto por dos personas; a partir de las aguas residuales del pozo séptico de dicha residencia, se determinó la eficiencia del prototipo construido.

Fase 2: Caracterizar la muestra de agua residual proveniente del pozo séptico de la vivienda unifamiliar ubicada en el municipio de Gámeza e iniciar construcción del prototipo

El muestreo de agua residual se realizó de un pozo séptico de una vivienda rural dispersa, proveniente del municipio de Gámeza, Boyacá con coordenadas 5° 48'07.6''N y 72° 48'19.6''W. La actividad económica del lugar se basa en la agricultura y la ganadería.

Se realiza una campaña de muestreo, según el procedimiento definido en el instructivo para la toma de muestras de aguas residuales estandarizado por el IDEAM (IDEAM, 2007), las cuales fueron transportadas según lo establecido para la conservación de la muestra, en un tiempo menor a cuatro horas, para ser procesadas en el laboratorio de la Universidad Antonio Nariño sede Duitama y el laboratorio externo ServiQuímicos de Sogamoso. (ver **Anexo 1**)

Inicialmente en el laboratorio de ciencias básicas de la UAN se analizaron 5 parámetros fisicoquímicos básicos dentro de los cuales está la temperatura, el pH, la turbidez, el color aparente, y el oxígeno disuelto con los equipos propios de la institución. (ver **Anexo 2**)

Fue necesario realizar el análisis de una segunda muestra de agua tomada en la campaña inicial de muestreo, en un laboratorio externo para medir los parámetros de DBO5, DQO y SST para lo cual, se hizo la búsqueda de laboratorios en Boyacá acreditados por el IDEAM, que realizaran la medición y el análisis de dichos parámetros, contratando finalmente los servicios del laboratorio ServiQuímicos de Sogamoso. (ver **Anexo 3**)

8.1 Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos que se midieron en el agua proveniente del pozo séptico, son los recomendados por la Resolución 631 de 2015 que establece los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. (Ministerio de ambiente, 2015)

Tabla 2.*Valores permisibles resolución 631 de 2015*

Parámetro	Unidades	VALORES PERMISIBLES RESOLUCIÓN 631 DE 2015	Método de análisis usado
Ph	Unidades de Ph	6,00 a 9,00	Se usó un pH, marca APERA INSTRUMENTS PH400 Portable Ph Meter. Con certificado de calibración vigente.
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	180,00	Se realizó análisis en laboratorio certificado Método: SM 5220 D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L O ₂	90,00	Se realizó análisis en laboratorio certificado Método: SM 5210 B, SM 4500 D
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	90.00	Se realizó análisis en laboratorio certificado Método: SM 2540 D
Color real	Nm	Análisis y reporte	Colorímetro color of wáter HI97727 marca HANNA Intruments. Con certificado de calibración vigente.

Fuente: resolución 631 de 2015

8.1.1 Otros parámetros fisicoquímicos a considerar**Tabla 3.***Otros parámetros fisicoquímicos a considerar*

Parámetro	Unidades	VALORES PERMISIBLES RESOLUCIÓN 631 DE 2015	Método de analisis usado
Turbidez	unidad nefelométrica de turbidez (NTU)	No especificado en la norma	Medidor conforme a la EPA de la turbidez/Cloro HI93414-01 HANNA instruments
Oxígeno disuelto	% de saturación	No especificado en la norma	Medidor de Oxígeno Disuelto HI9146-04 HANNA instruments

Fuente: base de datos scopus

8.2 Parámetros microbiológicos

Los parámetros microbiológicos de análisis y reporte en los vertimientos puntuales de aguas residuales (ard y arnd) a cuerpos de aguas superficiales. Se realizará el análisis y reporte de los valores de la concentración en Número Más Probable (NMP/100mL) de los Coliformes Termo tolerantes presentes en los vertimientos puntuales de aguas residuales (agua residual doméstica y agua residual no domestica) mediante las cuales se gestionen excretas humanas y/o de animales a cuerpos de aguas superficiales, cuando la carga másica en las aguas residuales antes del sistema de tratamiento es mayor a 125,00 Kg/día de DBO5 (Ministerio de ambiente, 2015). Dado que la norma no contempla la caracterización de microorganismos patógenos como *Salmonella typhimurium*, *Shigella dysenteriae* y *Escherichia coli*. Se ve la necesidad de identificar estos microorganismos patógenos ya que el agua de los pozos sépticos es vertida a suelos o a fuentes hídricas que posteriormente son usados para el la siembra y riego de alimentos respectivamente, contaminado así los alimentos con los que tengan contacto.

Tabla 4.

Métodos de detección prueba microbiológica

Microorganismo a identificar	Medio de cultivo	Método de detección	Unidad de medición	Valor aceptado según la OMS.
<i>Salmonella typhimurium</i>	Agar MacConkey, Agar Salmonella Shigella, Agar Bile Esculina	Prueba bioquímica por conteo de unidades formadoras de colonias con diluciones 1:10; 1:100; 1:1000 y 1:10000	U.F.C/ml	No permitido
<i>Shigella dysenteriae</i>	Agar MacConkey, Agar Salmonella Shigella, Agar Bile Esculina	Prueba bioquímica por conteo de unidades formadoras de colonias con diluciones 1:10; 1:100; 1:1000 y 1:10000	U.F.C/ml	No permitido

<i>Escherichia coli</i>	Agar	Prueba	U.F.C/ml	No
	<i>MacConkey,</i>	bioquímica		permitido
	<i>EMB Agar,</i>	conteo		
	<i>Levine, Agar</i>	unidades		
	<i>Bile Esculina</i>	formadoras		
		colonias		
		diluciones	1:10;	
			1:100; 1:1000 y	
			1:10000	

Fuente: elaboración propia

8.3 Diseño del prototipo de humedal artificial

En el diseño del prototipo de humedal artificial de flujo subsuperficial, fue necesario adoptar una metodología ya establecida a partir de la “Guía para el diseño y construcción de un humedal construido con flujos subsuperficial” (EPA, 1993). El uso de esta tecnología puede ser aplicada en comunidades pequeñas que buscan un método asequible, sencillo y eficiente para lograr un adecuado tratamiento para sus aguas residuales.

Determinación del área superficial

Para el cálculo del área de superficie del prototipo de humedal es necesario el uso de las siguientes ecuaciones:

$$A_s = \frac{\left(\ln \frac{C_o}{C_e} \right) \cdot Q}{K_T \cdot d \cdot n}$$

Ecuación 1. Área de la superficie. (EPA, 93)

Donde

Q: Caudal de diseño

Co: Concentración Afluente (mg/L)

Ce: Concentración Efluente (mg/L)

K_T : Constante de Reacción de primer orden (d-1)

d: altura adoptada del medio poroso (m)

n: Porosidad del medio

Corrección por temperatura.

En cuanto a la corrección de la temperatura, se va a tomar como referencia la fórmula de Arrhenius, que establece que:

$$K_T = K_{20} \theta^{T-20}$$

Ecuación 2. Área de la superficie. (EPA, 93)

Donde

K_{20} : Constante de temperatura

θ : Coeficiente de Arrhenius

T: Temperatura promedio del agua

8.4 Datos de diseño prototipo de humedal

Los datos de diseño de prototipo de humedal fueron

Tabla 5.

Datos de diseño de prototipo humedal artificial

Variable	Tipo de variable	Unidades	Valor
Q	Caudal de Diseño del Humedal	(m ³ /s)	0,09
Ce	Concentración Efluente	(mg/L)	110
Co	Concentración Afluente	(mg/L)	287
T	Temperatura	°C	14
K₂₀	Constante de temperatura	Adimensional	1,104
H	Profundidad del humedal	m	0,70

N	Porosidad del Medio Granular	%	0,40
Θ	Coefficiente de Arrhenius	Adimensional	1.0614

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar el dimensionamiento del humedal se determinaron los siguientes parámetros de diseño:

Tabla 6.

Parámetros de diseño

Parámetro	Valores
Altura adoptada del medio poroso (m)	0,37
Porosidad del medio	0,40
DBO afluente (mg/l)	287,00
DBO efluente (mg/l)	110,00

Fuente: Elaboración propia.

Remplazando las ecuaciones 1 y 2 tenemos:

Corrección por temperatura

Ecuación 2.

$$K_T = K_{20}\theta^{T-20}$$

$$K_T = 1,104(1.0614)^{14-20}$$

$$K_T = 1,104(1.0614)^{14-20}$$

$$K_T = 0,78$$

Determinación del área superficial

Ecuación 1.

$$As = \frac{\left(\ln \frac{Co}{Ce}\right) \cdot Q}{K_T \cdot d \cdot n}$$

$$As = \frac{\left(\ln \frac{287 \text{ mg/L}}{110 \text{ mg/L}}\right) \cdot 0,09 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,78 \cdot 0,37 \text{ m} \cdot 0,40}$$

$$As = 0,75 \cong 1,0$$

En el método de la EPA se establece que la relación largo-ancho es de 2 a 1, esto quiere decir que el largo del humedal es 2 veces el ancho.

$$2w * w = As$$

$$w^2 = \frac{As}{2}$$

$$w = \sqrt{\frac{As}{2}}$$

Ecuación 3. determinación de ancho. (EPA, 93)

Remplazando la ecuación

$$W = \sqrt{\frac{0,75(\text{m}^2)}{2}}$$

$$W = 0,6 \text{ (m)}$$

Y por último es necesario determinar el largo del prototipo

$$l * w = As$$

$$l = 2w$$

Ecuación 4. determinación del largo del humedal. (EPA, 93)

Remplazando la ecuación

$$l = 2 (0,6m) = 1,1 m$$

- **Tiempo de retención hidráulico**

Para determinar el tiempo de retención hidráulico, se utilizó la siguiente ecuación

$$t = \frac{n \times l \times w \times d}{Q}$$

Ecuación 5. Tiempo de retención. (EPA, 93)

Donde

d: Altura adoptaba del medio poroso (m)

n: Porosidad del medio (m)

w: Ancho del humedal (m)

l: largo del humedal

Remplazando la ecuación

$$t = \frac{0,4 \times 1,1 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \times 0,37 \text{ m}}{0,09 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$t = 1,23 \text{ segundos}$$

Consecutivamente se especificaron los parámetros preliminares para el diseño, como son la profundidad del lecho filtrante y el tipo de sustrato.

Tabla 7.

Características del sustrato

Material	Tamaño/ pulgadas	Porosidad
Arena fina	4,76 - 0,074 mm	0,28-0,32
Grava fina	3/8	0,35-0,38
Grava media	½	0,36-0,40
Grava gruesa	¼	0,38-0,45

Fuente: medios filtrantes (Silva, 2013)

Componentes y materiales que conforma el prototipo

Los elementos del humedal fueron escogidos a criterio según el tipo de humedal y las condiciones del agua para el tratamiento. (ver **Anexo 5**)

Planos de diseño

En el Plano se muestra la estructura del prototipo de humedal, en este se observan las dimensiones, la disposición de la estructura, el sentido del flujo y los componentes que lo conforman. (ver **Anexo 6**)

Funcionamiento

La estructura se realizó con láminas de vidrio, con un grosor de 5 mm, el flujo de agua va de arriba hacia abajo efectuando el sistema tipo flauta. Así, el agua se filtra por medio de la grava con distintos diámetros donde la grava más gruesa se sitúa en la parte superior y la más fina en la parte inferior del sistema. Por medio del tubo de salida se toma la muestra de agua para su pertinente análisis.

Fase 3: Observar y Monitorear el comportamiento de variables indicadoras DBO5, sólidos suspendidos totales (SST), Temperatura, Conductividad, pH, Oxígeno Disuelto y Análisis microbiológico.

En esta fase se estabilizó el humedal artificial durante dos semanas haciendo recirculación de agua residual diariamente.

Fue necesario realizar dos campañas de muestreo adicionales con el fin de realizar la comparación de los parámetros analizados y determinar la eficiencia del prototipo

Fase 4: Evaluar la eficiencia del prototipo del humedal artificial a través de la eliminación de las variables indicadoras.

Por último, realizó un análisis completo de los datos obtenidos y el comportamiento de las variables para cada muestra, demostrando su eficiencia.

9. Resultados y Análisis

9.1 Caracterización de agua residual domestica

9.2 Caracterización fisicoquímica del agua residual domestica

Se efectuó una caracterización inicial del agua residual, para determinar la carga contaminante del agua tratada, seleccionar el método de tratamiento correcto y aplicar los criterios de diseño adecuados.

Tabla 8.

Resultados iniciales de parámetros físico químicos para el agua residual domestica

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	TÉCNICA	VALORES PERMISIBLES RESOLUCIÓN 631 DE 2015
PH	7,81	Unidades de Ph	PH –METRO	6,0 a 9,0
DQO	536	mg/l	REFLUJO CERRADO COLORIMÉTRICO	180
TEMPERATURA	20	°C	TERMÓMETRO	
DBO ₅	287	mg/l	INCUBACION 5 DIAS	90
SST	416	mg/l	GRAVIMÉTRICO	90
OXÍGENO DISUELTO	33,3	% saturación	MEDIDOR DE OXÍGENO DISUELTO	No especificado
COLOR REAL	500	PCU	COLORÍMETRO	No especificado
TURBIDEZ	120	NTU	TURBIDÍMETRO	No especificado

Fuente: elaboración propia

En el análisis inicial de la muestra de agua proveniente de un pozo séptico de una vivienda unifamiliar del municipio de Gámeza. Se encontró un agua con valores muy elevados respecto a la norma de DQO y DBO₅, esto indica un alto contenido de compuestos orgánicos presentes en la muestra de agua, esta carga orgánica fue confirmada en el análisis de solidos suspendidos totales en donde se obtuvo un valor 4,6 veces mayor al permitido en la resolución 631 de 2015.

El oxígeno disuelto, dio un valor de 33,3%, lo cual indica que esta agua residual es idónea para el crecimiento de microorganismo anaerobios lo que permite la persistencia de microorganismos patógenos como *Escherichia coli*, *Shigella dysenteriae* y *Salmonella typhimurium*.

De igual manera el resultado de color aparente correspondiente a 500 PCU medido a 420nm, da cuenta de la cantidad de material orgánico e inorgánico en suspensión generando un aspecto de contaminación que se puede percibir visualmente. Dado que el rango del equipo es 20 a 500 PCU, se vio la necesidad de realizar una medida de turbidez, que se puede relacionar directamente con el color real de la muestra, para este parámetro se obtuvo un valor de 120 Unidades Nefelométricas de turbidez (NTU) que se puede relacionar con una alta cantidad de partículas en suspensión correspondiente a 40 mg/l.

9.3 Caracterización microbiológica del agua residual domestica

Tabla 9.

Resultados iniciales parámetros microbiológicos

Microorganismo a identificar	Medio de cultivo	Método de detección	Resultado
<i>Salmonella typhimurium</i>	Agar Salmonella Shigella, , Agar Bile Esculina	Prueba bioquímica por conteo de unidades formadoras de colonias con diluciones 1:10; 1:100; 1:1000 y 1:10000	Positivo para todas las diluciones Valor: > 1×10^6 U.F.C/ml
<i>Shigella dysenteriae</i>	Agar Salmonella Shigella, , Agar Bile Esculina	Prueba bioquímica por conteo de unidades formadoras de colonias con diluciones 1:10; 1:100; 1:1000 y 1:10000	Positivo para todas las diluciones Valor: > 1×10^6 U.F.C/ml
<i>Escherichia coli</i>	EMB Agar, Levine, Agar Bile Esculina	Prueba bioquímica por conteo de unidades formadoras de colonias con diluciones 1:10; 1:100; 1:1000 y 1:10000	Positivo para todas las diluciones Valor: > 1×10^6 U.F.C/ml

Fuente: elaboración propia

Se determinó las unidades formadoras de colonias usando la dilución 1:10000 en donde se encontró un número promedio de 100 colonias y al multiplicar por el inverso de la dilución se obtuvo 1×10^6 U.F.C/ml, lo cual indica un alta carga de microorganismos patógenos. Por lo tanto, esta agua no puede ser vertida a afluentes sin tener un tratamiento previo que permita la disminución de la carga microbiana. (ver **Anexo 7**)

9.4 Caracterización de agua tratada en el humedal artificial

El agua tratada en el humedal artificial se caracterizó en tres momentos. Primer análisis: Al ingresar la muestra problema llamada (M1). Segundo análisis: Pasados 2 días de tratamiento y 4 procesos de recirculación, llamada (M2) y una última medición pasados 8 días de tratamiento y 16 procesos de recirculación, llamada (M3).

9.5 Caracterización fisicoquímica de agua tratada en el humedal artificial

Tabla 10.

Resultados compilados en los tres monitoreos realizados al agua tratada

PARÁMETRO	M1	M2	M3	UNIDADES	TÉCNICA	VALORES PERMISIBLES RESOLUCIÓN 631 DE 2015
PH	7,81	8,34	8,05	Unidades de pH	PH –METRO	6,0 a 9,0
DQO	536		42	mg/l	REFLUJO CERRADO COLORIMÉTRICO	180
TEMPERATURA	20	20,6	21,8	°C	TERMÓMETRO	
DBO5	287		10	mg/l	INCUBACION 5 DIAS	90
SST	416		14	mg/l	GRAVIMÉTRICO	90
OXÍGENO DISUELTO	33,3	70	70,02	% saturación	MEDIDOR DE OXÍGENO DISUELTO	No especificado
COLOR REAL	500	116	88	PCU	COLORÍMETRO	No especificado
TURBIDEZ	120	7,6	2,2	NTU	TURBIDÍMETRO	No especificado

Fuente: elaboración propia

Se puede observar que el humedal artificial evaluado tiene una alta eficiencia. Presentando un valor porcentual de eficiencia de 77,77% al aumentar el oxígeno disuelto en el agua tratada pasando de 33,3% a 70 % de oxígeno disuelto, la medida de solidos suspendidos a partir de la turbidez paso de 40mg/l a 2,53mg/l esto indica una eficiencia del 93,67% que se relaciona con la disminución de la carga orgánica e inorgánica en el agua, mejorando así su

aspecto visual. La medida de color real se encuentra dentro del rango de medición del equipo y también indica una disminución considerable de sólidos suspendidos.

9.6 Caracterización microbiológica de agua tratada en el humedal artificial

Primer seguimiento

El primer seguimiento microbiológico arrojó los siguientes resultados (ver tabla 10). En donde se encontró una reducción considerable de las unidades formadoras de colonias calculando la eficiencia de remoción de microorganismos en un 99% de eficiencia, pasando de 1 millón de unidades formadoras de colonias a 10 unidades formadoras de colonias tras 2 días de tratamiento. Lo que indica que es un método de tratamiento efectivo en la remoción de material patógeno y puede ser usado como pretratamiento en viviendas unifamiliares antes de verter las aguas a afluentes.

Tabla 11.

Resultados parámetros microbiológicos para el agua residual doméstica tratada luego de 2 días de tratamiento

Microorganismo a identificar	Medio de cultivo	Método de detección	Resultado
<i>Salmonella typhimurium</i>	Agar Salmonella Shigella, , Agar Bile Esculina	Prueba bioquímica por conteo de unidades formadoras de colonias con diluciones 1:10; 1:100; 1:1000 y 1:10000	Positiva para disolución 1:10 Valor: 10 U.F.C/ml
<i>Shigella dysenteriae</i>	Agar Salmonella Shigella, , Agar Bile Esculina	Prueba bioquímica por conteo de unidades formadoras de colonias con diluciones 1:10; 1:100; 1:1000 y 1:10000	Positivo para disolución 1:10 Valor: 10 U.F.C/ml
<i>Escherichia coli</i>	EMB Agar, Levine, Agar Bile Esculina	Prueba bioquímica por conteo de unidades formadoras de colonias con diluciones 1:10; 1:100; 1:1000 y 1:10000	Positivo para disolución 1:10 Valor: 60 U.F.C/ml

Fuente: elaboración propia

Segundo seguimiento

En el segundo seguimiento (M3), se realizaron los ensayos microbiológicos y se determinó que pasados 8 días de tratamiento o 16 ciclos de recirculación del agua por el humedal. No se encontraron microorganismo patógenos transcurridas 48 horas de incubación, lo que permite concluir que este es un método eficiente en un 99,99% en la remoción de agentes patógenos en el tratamiento de aguas residuales domésticas, y es una alternativa potencial en el aseguramiento de la calidad del agua y la seguridad alimentaria para miles de familias de Boyacá, que no cuentan con procesos efectivos de depuración de aguas residuales en la actualidad.

Tabla 12.

Resultados parámetros microbiológicos para el agua residual domestica tratada luego de 8 días de tratamiento

Microorganismo a identificar	Medio de cultivo	Método de detección	Resultado
<i>Salmonella typhimurium</i>	Agar Salmonella Shigella, , Agar Bile Esculina	Prueba bioquímica por conteo de unidades formadoras de colonias con diluciones 1:10; 1:100; 1:1000 y 1:10000	Negativo para disolución todas las diluciones Valor: 0 U.F.C/ml
<i>Shigella dysenteriae</i>	Agar Salmonella Shigella, , Agar Bile Esculina	Prueba bioquímica por conteo de unidades formadoras de colonias con diluciones 1:10; 1:100; 1:1000 y 1:10000	Negativo para disolución todas las diluciones Valor: 0 U.F.C/ml
<i>Escherichia coli</i>	EMB Agar, Levine, Agar Bile Esculina	Prueba bioquímica por conteo de unidades formadoras de colonias con diluciones 1:10; 1:100; 1:1000 y 1:10000	Negativo para disolución todas las diluciones Valor: 0 U.F.C/ml

Fuente: elaboración propia

10. Conclusiones

1. Se establecieron con éxito los parámetros de construcción del humedal artificial altura: 0.70 (m), ancho 0.5 (m), largo 1.0(m) que permitieron realizar un correcto tratamiento de aguas provenientes de pozos sépticos domiciliarios, encontrando una eficiencia total del humedal de 96,5 %.
2. La caracterización del agua proveniente del pozo séptico indica que es un agua altamente contaminada con gran contenido de material orgánico y alta carga de microorganismos patógenos, lo que se relaciona directamente con una alta demanda biológica de oxígeno (DBO₅) y por ende una baja concentración de este gas en las muestras tomadas.
3. El análisis fisicoquímico del agua antes y después del tratamiento da cuenta de una alta eficiencia del humedal, ya que los parámetros como DQO, DBO₅ y oxígeno disuelto tienen valores comparables con lo requerido para aguas no residuales.
4. En cuanto a la cantidad de solidos suspendidos totales se puede concluir que tanto el valor directo como los valores obtenidos a través de ensayos de medición instrumentales (Color real, Turbidez), permiten concluir que la carga de material particulado se redujo en un 93,67%.
5. El análisis microbiológico arrojó un resultado mejor de lo esperado ya que trascurridos 8 días de tratamiento se pudo concluir que la remoción de microorganismos patógenos como *Escherichia coli*, *Shigella dysenteriae* y *Salmonella typhimurium*, es total; esto se validó realizando pruebas bioquímicas específicas para cada microorganismo, encontrando 0 U.F.C/ml pasadas 48 horas de incubación en sus respectivos medios.

11. Recomendaciones

1. Se recomienda realizar un análisis físico químico cada dos o tres meses en el efluente del humedal, para evaluar la calidad del agua residual tratada por el sistema.
2. Es necesario continuar con indagaciones y trabajos sobre humedales artificiales subsuperficiales, aplicando diferentes tipos de plantas y otros métodos de investigación.
3. Implementar actividades adicionales para la toma de conciencia en cuanto a las medidas preventivas de la contaminación en el agua y el suelo provocado por el vertimiento aguas residuales domésticas en zonas rurales
4. También se recomienda utilizar otro tipo de agua residual en el humedal para evaluar su eficiencia con respecto a otros parámetros físico químicos.
5. Evaluar otros parámetros establecidos en la norma como lo son: grasas y aceites, hidrocarburos, fosforo total, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total.

12. Referencias

- Angarita Vargas, S. M. (2004). Humedales artificiales de flujo sub-superficial en el tratamiento de agua residual urbana. Estado del arte y diseño.
- Cárdenas, G., Sánchez, I., Maya, J. y Solarte, A. (2015). Remoción de sólidos en aguas residuales de producción intensiva de trucha en un sistema de recirculación cerrado. (2015). *Revista UNIMAR*, 33(1), 229-236
- Correal, C. R. (2002). Tratamiento y postratamiento de aguas residuales. Tunja: Corporación Universitaria de Boyacá.
- Borz, A., Troya, M., Villalta, S., Medina, C., Guerrero, G., Yaulema, F., & Gavilanes, A. (2018). Diseño y construcción de un prototipo de humedales artificiales para el tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos del río Ramiyacu, provincia de Orellana, parroquia Taracoa. II Congreso Internacional de Ciencias Ambientales, 1-8.
- Delgadillo, O. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Nelson Antequera.
- Oteng, M., Agbesi, M. y de Vries, N. (2018). Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception—a Review. *Water Air Soil Pollut*, 229(255), 1-16. doi:10.1007/s11270-018-3909-8
- Paz, N., Blanco, E., Gutiérrez, E., Núñez, M., & Caldera, Y. (2012). Uso de humedales construidos de tipo superficial a escala piloto para la remoción de sulfuros y fenoles de agua de producción de petróleo. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 35(1), 071-079
- Reyes, J. (2016). Formulación y diseño de un sistema de fitorremediación para tratamientos de aguas hidrocarbureadas en estaciones de servicio Biomax. (Tesis de pregrado). Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.
- Alex Díaz, C., Víctor Atencio, G., & Sandra Pardo, C. (2014). Assessment of an artificial free-flow wetland system with water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) for treating fish farming effluents. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 27(3), 202–210.
- Bekkari, N. E., Amiri, K., & Hadjoudj, M. (2022). Performance of pilot scale constructed wetland as ecological practice for domestic wastewater treatment in an arid climate - Algeria. *Water Science and Technology : A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 86(4), 787–799. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.242>
- Campo-Daza, G., Oviedo-Zumaqué, L. E., & Torres-Bejarano, F. (2022). Efficiency assessment of constructed wetlands for fuel contaminated water treatment. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 77, 10973–10984. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03901-2>
- Conservation, G. S. for P. (2002). The Plant List. 2002. <http://www.theplantlist.org/tpl/search?q=Juncus+effusus>

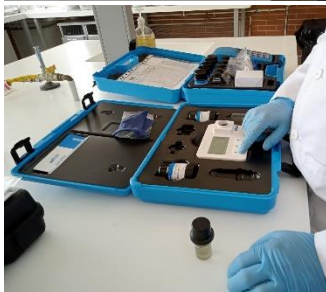
- Dal Ferro, N., De Mattia, C., Gandini, M. A., Maucieri, C., Stevanato, P., Squartini, A., & Borin, M. (2021). Green walls to treat kitchen greywater in urban areas: Performance from a pilot-scale experiment. *Science of the Total Environment*, 757, 144189. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144189>
- Khan, R. A., Khan, N. A., El Morabet, R., Alsubih, M., Khan, A. R., Khan, S., Mubashir, M., Balakrishnan, D., & Khoo, K. S. (2022). Comparison of constructed wetland performance coupled with aeration and tubesettler for pharmaceutical compound removal from hospital wastewater. *Environmental Research*, 216(P1), 114437. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114437>
- Ministerio de ambiente. (2015). Resolución 631 De 2015. Diario Oficial No. 49.486 de 18 de Abril de 2015, RESOLUCIÓN(Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. EL), 73.
- Muduli, M., Choudhary, M., Haldar, S., & Ray, S. (2022). Monitoring and assessment of *Dracaena*-based constructed vertical flow wetlands treating textile dye wastewater. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(10). <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10415-y>
- Xie, P., Zahoor, F., Iqbal, S. S., Zahoor, Ullah, S., Noman, M., Din, Z. U., & Yang, W. (2022). Elimination of toxic heavy metals from industrial polluted water by using hydrophytes. *Journal of Cleaner Production*, 352(April), 131358. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131358>
- Zhang, D., Han, W., Yan, C., Wang, D., Liang, J., & Zhou, L. (2022). Treatment of swine wastewater using multi-soil-layer based constructed wetland: Substrates assessment and efficiency improvement. *Biochemical Engineering Journal*, 188(October), 108679. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2022.108679>

13. Anexos

Anexo 1. campaña de muestreo



Anexo 2. análisis de parámetros físico químicos- laboratorio de ciencias UAN



Anexo 3. Análisis inicial de parámetros físico químicos- serviquímicos

IDEAM		Serviquímicos E.U.					
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Laboratorio acreditado ante el IDEAM para sus parámetros según la resolución N° 0136 del 11 de febrero del 2020		Análisis de aguas residuales, potables, crudas y de uso recreacional Venta de reactivos químicos en general Equipos y vidriería para laboratorio en general NIT. 825.002.954-0					
Sogamoso; 30 de Agosto de 2022		Proceso: Gestión de Laboratorio Fecha de versión: 2021-07-01 Versión: 03 Código: QL-FT-13					
REPORTE DE RESULTADOS							
Reporte No.: 0542-2022							
1. INFORMACIÓN DEL CLIENTE		5. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					
Nombre / Razón Social: GINA MARCELA QUINTANA TIBADUZA		No. Muestra: 0542-2022					
Nº de CC: 1057.806.176		Nombre de la Fuente: POZO SEPTICO					
Nombre del Contacto: GINA QUINTANA		Sitio de Toma: SALIDA POZO SEPTICO					
Dirección: CALLE 5 No. 5-43 Ciudad: GAMEZA		Fecha de Toma: 2022-08-24 Hora: 3:10 PM					
Teléfono: 3204260703 Email: ginaquinta17@gmail.com		Clasificación de la Muestra: AGUA RESIDUAL DOMESTICA					
Cotización No.: CESOL-0205-2022		Tipo de Muestreo: PUNTUAL O SIMPLE					
2. INFORMACIÓN DEL RECOLECTOR		Análisis Solicitado: FÍSICOQUÍMICO					
Nombre: GINA MARCELA QUINTANA TIBADUZA		Plan de Muestreo: CLIENTE					
No. CC: 1057.806.176 Teléfono: 3204260703		Procedimiento de Muestreo: NIE					
3. LOCALIZACIÓN SITIO DE MUESTREO		Condiciones Ambientales: NIE					
Departamento: BOYACÁ		6. RECEPCIÓN DE LA MUESTRA					
Ciudad / Municipio: GAMEZA		Fecha de recepción: 2022-08-24 Hora: 4:00 PM					
Vereda / Barrio: VEREDA SIATOBA		7. DESVIACIONES PRESENTADAS DURANTE EL MUESTREO O EN EL ANÁLISIS					
Dirección: VEREDA		NINGUNA					
Coordenadas: NIE							
4. OBSERVACIONES DEL CLIENTE O RECOLECTOR							
NINGUNA							
8. RESULTADOS							
8.1 FÍSICOQUÍMICOS							
Fecha de Análisis	PARÁMETRO	UNIDADES	TÉCNICA	METODO ANALITICO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE	VALORES MFL MFL/1000 EST/15 a 8 con una carga de 400 litros DECS
2022-08-24 2022-08-30	DNDS	mg/L O ₂	INCUBACION 5 DNAS	SM 5119 B SM 6900 C	287	± 29	90
2022-08-28	ODO	mg/L O ₂	REFLUJO CERRADO COLORIMETRICO	SM 5201 D	536	± 43	100
2022-08-28	SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	GRAVIMETRICO	SM 5540 D	416	± 33	90
NIE: No Especificado; N/A: No Aplica; *Parámetro subestrato; ** Parámetro medido "in situ" y Resultado pendiente							
Prohibida la reproducción total o parcial del presente reporte de resultados, sin autorización previa de la Dirección del laboratorio. Solamente son válidas las copias del reporte con sello seco del laboratorio. Carrera 9A No. 16 - 01 Esquina Tel: (87) 729 700 Telefax: (87) 718 586 Sogamoso (Boyacá) E-mail: serviquimicos_eu@yahoos.es				Prohibida la reproducción total o parcial del presente reporte de resultados, sin autorización previa de la Dirección del laboratorio. Solamente son válidas las copias del reporte con sello seco del laboratorio. Carrera 9A No. 16 - 01 Esquina Tel: (87) 729 700 Telefax: (87) 718 586 Sogamoso (Boyacá) E-mail: serviquimicos_eu@yahoos.es			

Anexo 4. Análisis final de parámetros físico químicos- Analizar Laboratorios



ANALIZAR LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO LTDA
MONITOREO Y CONSULTORIA
 NIT. 836.000.946-1



Duitama, 2022/11/08

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS
AG34068 - 22

IDENTIFICACIÓN

Solicitante: **LUIS GABRIEL QUINTANA RINCON - MINA LA ESPERANZA QUANTO**
 Dirección: CI 5 5 63 Gámeza
 Ensayo Realizado: Físicoquímico
 Tipo de Agua: Residual Doméstica
 Sitio de Muestreo: Universidad Antonio Nariño Duitama
 Punto de Toma: Latitud: 5,814320; Longitud: 73,030190
 Tipo de Muestreo: Simple
 Fecha y Hora de Muestreo: 2022/10/27 15:40
 Recolectada por: El Solicitante - Gina Marcela Quintana
 Fecha y Hora de Recepción: 2022/10/27 16:30
 Objeto: Caracterización
 Condición de Recepción: Refrigerada
 Fecha ejecución análisis: De 2022/10/27 a 2022/11/08 Plan De Muestreo N.A.

DESCRIPCIÓN	EXPRESIÓN	VALOR OBTENIDO	VALOR MÁX. ACEPTABLE	METODO
ANÁLISIS EN LABORATORIO				
DQO Total (A)	mg O ₂ /L	42	N.E.	SM 5220 D
DBO ₅ Total (A)	mg O ₂ /L	10	N.E.	SM 5210 B, SM 4500- O G
Sólidos suspendidos totales (A)	mg SST/L	14	N.E.	SM 2540 D
FIN DE LOS ENSAYOS				

NE= No Establecido (A)= Acreditado SM=Métodos enunciados referenciados en el Standard Methods 2017 edition

NE = No Establecido

OBSERVACIONES:

Los resultados analíticos del presente informe se obtuvieron siguiendo los métodos enunciados, mediante procedimientos internos del Sistema Integrado de Gestión y corresponden exclusivamente a la muestra recibida, **recolectada por El Solicitante**. Sólo es válido este informe con membretes oficiales de Analizar Ltda. y con las firmas digitales autorizadas. Este informe no se puede reproducir parcialmente, salvo previa autorización escrita del Laboratorio.





NOTA: ANALIZAR LTDA. no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, asociada a la toma y otros datos que puedan afectar la validez del resultado.




Analizar Ltda. está acreditado por el IDEAM (Norma ISO/IEC (17025:2017) según la Resolución de Seguimiento y Extensión 0400 (2022/03/28). Las variables acreditadas se pueden consultar en: www.ideam.gov.co.

ING. QUÍMICO, RICARDO BLANCO A.
 DIRECTOR TÉCNICO
 T.P. Nº 90 C.P.I.Q.

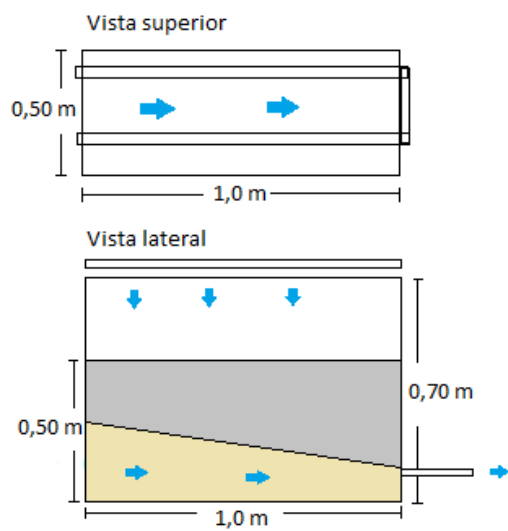
***** FIN DEL INFORME *****

Anexo 5. Materiales que conforman el prototipo


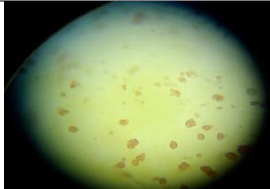

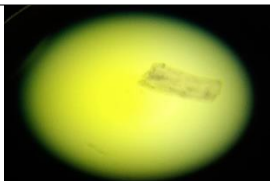







Elemento	Material	Descripción	Fotografía
Sustrato	Grava fina, media, gruesa	Con un tamaño aproximado de 3/8 1/2 1/4 pulgadas distribuida uniformemente con altura de 10 cm cada capa	
	Arena	Se usó arena por su capacidad de absorción ya que permite la eliminación de sólidos suspendidos y materia orgánica, se ubicó con una pendiente aproximadamente de 10%	
Vegetación	Junco (Juncus effusus)	Es una planta herbácea acuática con tallos largos entre 30 a 100 cm altura, de color verde oscuro y con una flor de color castaño.	
Afluente	Agua residual domestica	El agua se recolecto de la salida de un pozo séptico en una vivienda rural el municipio de Gameza- Boyacá. Ubicación latitud(5.779080 °N) longitud(72.789330 °O)	
Estructural	Flauta en PVC	La distribución del agua se realizó por medio de un tubo de 1/2" con un largo de 90 cm, orificios de 5 mm y una distancia entre orificios de 4 cm	

	Tubo PVC	Se usó un tubo de ½” con diferentes medidas para el repartimiento del flujo en el sistema	
	Vidrio	Se usó vidrio templado con un grosor de 5 mm, el cual es resistente a la presión y el peso que ejerce el agua y el sustrato	
Funcional	Bomba de oxigenación	La bomba permitió la oxigenación y la circulación del agua con una capacidad de 0.3 m ³ /h	

Anexo 6. Planos de diseño



Anexo 7. Observación en el microscopio del número de colonias

Medios	Numero Colonias	Fotografía	Medios	Numero Colonias	Fotografía
Agar Emb	121		Agar Macconkey	75	
Agar Emb	231		Agar Macconkey	95	
Agar Nutritivo	157		Agar Bea	125	
Agar Nutritivo	173		Agar Bea	191	
Agar Dnase	138		Blood Agar Base	64	
Agar Dnase	186		Blood Agar Base	73	