

Evaluación de humedal subsuperficial a escala piloto para tratamiento de aguas residuales
mediante el uso de diferentes sustratos, en la seccional Girardot de la Universidad
Cundinamarca.

Adriana Lucrecia Martínez Poloche & Diego Camilo Lozano Mahecha

Universidad de Cundinamarca - Seccional Girardot
Facultad de ciencias Agropecuarias
Ingeniería Ambiental
Octubre de 2024.

Evaluación de humedal subsuperficial a escala piloto para tratamiento de aguas residuales
mediante el uso de diferentes sustratos, en la seccional Girardot de la Universidad
Cundinamarca.

Adriana Lucrecia Martínez Poloche & Diego Camilo Lozano Mahecha

Trabajo de grado para obtener el título de: Ingeniero Ambiental

Directora: Diana Julieth Garzón Sánchez

Universidad de Cundinamarca - Seccional Girardot
Facultad de ciencias Agropecuarias
Ingeniería Ambiental
Octubre de 2024

Nota de aceptación _____

_____ Firma del presidente del jurado

_____ Firma del jurado

_____ Firma del jurado

Dedicatoria

Dedico a mi padre celestial que sin EL no hubiese sido posible iniciar y finalizar con el deseo de ser profesional, fue una oración hecha con fe y una promesa cumplida en El. Gracias a mi esposo y mis dos hijos que me ayudaron en los diferentes momentos de mi aprendizaje por su paciencia, amor y cuidados en este proceso. A mi madre que también me apoyo y me animo a continuar cuando quise desmayar y papi a ti que, aunque no estas era uno de tus deseos y hoy por fin se ha podido realizar, los amo.

Adriana L. Martínez Poloche

Dedico un reconocimiento a personas que influyeron y creen en mis cualidades profesionales, al Dios supremo que reina en los cielos. Gracias de igual manera aquellas personas que dudaron de mí también porque de cierta manera me dieron más fuerzas y paciencia en salir adelante con mi carrera. A mi madre por traerme al mundo y a la naturaleza por llevar consigo toda una ciencia extraordinaria e inexplorada actualmente.

Diego, C. Lozano, M.

Agradecimientos

Agradezco a los docentes que nos apoyaron para que este trabajo fuese posible, a las profesoras Diana Garzón y María Paula Gómez, que nos acompañaron y quienes estuvieron prestas para ejecutar todo el proceso de gestión y desarrollo del proyecto, también aquellos que estuvieron allí para darnos sus consejos en su ejecución Francis Posso y Dalia Suarez. Gracias también a los demás profesores que hicieron parte de mi desarrollo de aprendizaje. Gracias a la Universidad porque me facilito muchos de los recursos que eran necesarios para mi estudio y me brindo la oportunidad de ser parte de institución.

Adriana L. Martínez Poloche

Primeramente, a Dios por permitirme estudiar y seguir adelante...Agradezco de todo corazón a los gestores del conocimiento de la Universidad de Cundinamarca por ser una Guía en el camino educativo, científico y profesional.

Diego C. Lozano M.

Resumen

En el interés de aportar en el tratamiento de las aguas residuales domésticas generadas en la Universidad Cundinamarca seccional Girardot, se desarrolló un proyecto de investigación de humedales de flujo subsuperficial para esto realizó la búsqueda de sustratos con características filtrantes y porosas como la fibra de coco, el elote de maíz que obtuvieron altos rendimientos de remoción en diferentes estudios, teniendo en cuenta la facilidad de obtención con costos mínimos, y plantas ornamentales endémicas de América latina con un desarrollo propicio en climas de bosque seco tropical. El humedal conto con dos prototipos piloto en material de plástico con una combinación de tres sustratos, grava gruesa, fibra de coco o elote de maíz y granito, cada humedal con la especie ornamental *Canna indica*. En el proceso de ejecución se dio un tiempo adecuado a las plantas y los sustratos obtuvieran las condiciones propicias para el sistema de tratamiento, finalmente se realizó la toma de 13 muestras en DQO y Fosforo Total, y 9 muestras en Nitrógeno Total y 3 en microorganismos, obteniendo resultados de remoción en DQO entre un promedio 65.3% a 74.3%, Nitrógeno Total con una remoción promedio de 57% y Fosforo Total con remociones del 24%, y en bacterias patógenas la reducción en la dilución -2 es mayor al 73 % y 99 %, comparados con valores reglamentarios conforme con Resolución 631 del 2015 y el Decreto 1076 del 2015, dando un posible uso en la agricultura y en el sector pecuario en actividades de contacto secundario.

Palabras Clave: Humedales subsuperficiales, plantas ornamentales, sustratos, tratamiento de agua residuales, maíz, canna indica, fibra de coco

Abstract

In the interest of contributing to the treatment of domestic wastewater generated at the Girardot sectional Cundinamarca University, a research project of subsurface flow wetlands was developed, for this he carried out the search for substrates with filtering and porous characteristics such as coconut fiber, corn lot that obtained high removal yields in different studies, taking into account the ease of obtaining with minimal costs, and endemic ornamental plants of Latin America with a favorable development in tropical dry forest climates. The wetland had two pilot prototypes in plastic material with a combination of three substrates, coarse gravel, coconut fiber or corn lot and granite, each wetland with the ornamental species *Canna indica*. In the execution process, adequate time was given to the plants and the substrates obtained the favorable conditions for the treatment system, finally 13 samples were taken in COD and Total Phosphorus, and 9 samples in Total Nitrogen and 3 in microorganisms, obtaining results of removal in COD between an average of 65.3% to 74.3%. Total Nitrogen with an average removal of 57% and Total Phosphorus with removals of 24%, and in pathogenic bacteria the reduction in dilution -2 is greater than 73% and 83 %, compared to regulatory values in accordance with Resolution 631 of 2015 and Decree 1076 of 2015, giving a possible use in agriculture and in the livestock sector in secondary contact activities.

Keywords: *Subsurface wetlands, ornamental plants, substrates, wastewater treatment, corn lot, canna indica, coconut fiber*

Tabla de Contenidos

1. Introducción	11
2. Planteamiento del Problema	14
2.1 Magnitud Global	14
2.2 Efecto Nacional.....	14
2.3 Efecto Local	15
3. Justificación	17
4. Objetivos.....	18
4.1 Objetivo General.....	18
4.2 Objetivos Específicos.....	18
5 Estado del Arte.....	19
5.1 Marco teórico	19
5.2 Marco Conceptual.....	21
5.3 Marco Legal	24
6. Metodología	27
Diagrama 1. Diagrama de flujo de las fases del Proyecto	28
Fase 1. Revisión bibliográfica.....	28
Fase 5. Adaptación y estabilización del humedal	36
Fase 6: Caracterización del vertimiento en la salida del humedal.	36
Preparación de medios y características de estos.....	36
7 . Resultados y discusión.....	44
8. Conclusiones	50
9. Recomendaciones	52
10. Lista de referencias	54

Lista de tablas

Tabla 1. DQO- Salida humedal coco	44
Tabla 2. Nitrógeno Total- Salida Humedal Coco.	44
Tabla 3. Fosforo - Salida Humedal Coco.....	45
Tabla 4. DQO- Humedal Elote de maíz.....	46
Tabla 5. Nitrógeno Total- Salida Humedal elote de maíz	47
Tabla 6. Fosforo Total- Salida humedal elote de maíz	47
Tabla 7. Tabla comparación de resultados.....	48
Tabla 8. Resultados de microorganismos	48

Lista de Imágenes

Imagen 1. Ubicación U Cundinamarca.....	28
Imagen 2. Sustratos.....	30
Imagen 3. Elementos del sistema del hidráulico.....	32
Imagen 4. Adecuación del lugar	33
Imagen 5. Pasos para montaje de humedal	33
Imagen 6. Prototipo Humedal	34
Imagen 7. Adaptación elote de maíz.....	34
Imagen 8. Adaptación humedal fibra de coco	35
Imagen 9. Toma de muestra de entrada	35
Imagen 10. Muestras de entrada y salida de los humedales	36

1. Introducción

Según la Unesco en los últimos 40 años el nivel de consumo de agua ha aumentado en un 1% por año, en la actualidad, alrededor del 25% de las tierras cultivables del mundo sufren escasez de agua; debido a la incapacidad institucional y económica, mas no por restricciones hidrológicas. Igualmente existe una relación entre los países de rentas bajas y la mala calidad del agua asociada a un tratamiento insuficiente de las aguas residuales, que amenaza los ecosistemas de aguas dulces en el mundo, generando un deterioro en los indicadores ambientales y de biodiversidad (Koncagul et al., 2023).

En el Tratamiento de las Aguas Residuales se deben adecuar sus procesos para que los efluentes sean seguros si son usados para riego ornamental o para el medio ambiente; teniendo presente que algunos países en desarrollo no cuentan con sistemas eficientes de tratamiento de aguas residuales; ya sea por problemas económicos, o al limitado conocimiento sobre alternativas viables de bajo costo considerando que son instrumentos que permiten mejorar la calidad del agua. Los humedales artificiales son una herramienta favorable para el tratamiento de aguas residuales domésticos debido a que son una técnica natural, simple, de bajo costo y amigable con el medio ambiente, que representa soluciones prometedoras para la protección y restauración ambiental, más adecuadas para comunidades pequeñas y rurales (Leiva et al., 2018). Este tipo de sistemas está constituido básicamente por cuatro elementos: agua residual, vegetación, sustratos y microorganismos. La vegetación en los humedales artificiales juega un papel importante en este tipo de tratamiento, los micrófitos transportan principalmente oxígeno a las raíces a través de tejidos de aireación bien desarrollados para adaptarse al entorno de inundación a largo plazo (Wang et al., 2018). Un estudio bibliográfico de 87 Humedales artificiales de 21 países mostró que los

cuatro géneros de vegetación ornamental con flores más utilizados eran *Canna sp* o *Canna indica*, *Iris*, *Heliconia* y *Zantedeschia*, con un 80% de remoción: La *Canna Indica* que proviene de la familia Cannaceae es una planta perenne que puede llegar a una altura: 0,8-1,5 m, pero existen diferentes variedades que llegan a 3 m, es originaria de América del Sur: Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú, Brasil, Uruguay y Argentina, así como de las Indias Occidentales y América Central, siendo así una planta tropical, uno de sus atractivos radica sobre todo en sus hojas y grandes flores rojas, naranja, amarillo y hasta rosa. Es una planta que a pleno sol es su lugar ideal, de este modo se debe garantizar un mínimo de 4 horas diarias de luz, no tolera estar expuesta a temperaturas inferiores a -3 grado. Es poco exigente respecto al terreno, pero prefiere suelos ricos, orgánicos y bien drenados, si el suelo es pobre, agradece la adición de estiércol ya descompuesto, o bien compost y fertilizante. Requiere de un riego frecuente y abundante, especialmente en verano (Sandoval et al., 2019).

Este tipo de tratamientos también requiere de procesos de purificación como la utilización de biofiltros que representan una alternativa viable y diferente a los procesos fisicoquímicos para el tratamiento de aguas residuales. El elote de maíz y la fibra de coco entre otros biofiltros ayudan a modificar las propiedades fisicoquímicas de las aguas residuales, el elote de maíz es poseedor de un alto contenido de xilemas, siendo este uno de los principales constituyentes de las hemicelulosas, además de un alto contenido de lignina (Caicedo, 2019). La fibra de coco debido a su gran contenido de compuestos lignocelulósicos como lignina, celulosa y hemicelulosa, mismos que le confieren una excelente capacidad de adsorción y retención de agua, además de presentar una muy buena retención de nutrientes e intercambio iónico (Acosta, 2018). El granito y la grava tienen una alta dureza y resistencia a la degradación, que aportan al buen drenaje al

sistema. Es aquí donde podríamos pensar “ El tratamiento de las aguas residuales por medio de un humedal de flujo subsuperficial en la Universidad Cundinamarca- Seccional Girardot es una opción adecuada”, debido a que su proceso de biofiltración contribuye a la disminución de concentración de la DQO, Nitrógeno Total, Fosforo Total y microorganismos para dar un nuevo uso al agua tratada mediante este tipo de tratamiento de humedales subsuperficiales tomando como base a la normatividad colombiana que nos indica que el agua residual podrá emplearse para riego de zonas verdes y uso recreativo de contacto secundario según la Decreto 1076 del 2015, Art 2.2.3.3.9.5 y 2.2.3.3.9.8 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible cumpliendo con unos criterios mínimos de calidad.

2. Planteamiento del Problema

2.1 Magnitud Global

La población mundial está en constante aumento y las presiones antropogénicas aumentan provocando el vertido generalizado de aguas residuales en los ríos generando problemas en la calidad del agua, siendo aún más frecuente a escala mundial la carga de nutrientes, que se asocia principalmente a la carga de patógenos a través de la deposición de aguas residuales y aguas residuales no tratadas. Más de 40 millones de litros de aguas residuales se vierten diariamente en sus recursos hídricos, lo que provoca que 38 millones de personas se infecten con enfermedades transmitidas por el agua y más de dos millones de muertes por año. (McCarthy, 2019, como se citó en du Plessis, 2022).

A pesar del reconocimiento mundial de su importancia y de iniciativas como el sexto Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS 6) de las Naciones Unidas, que tiene por objeto garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos (Edition, 2011), siguen existiendo importantes desafíos en la mala calidad del agua potable en los países de bajos ingresos exacerba la pobreza, lo que dificulta el logro de los objetivos de alivio de la pobreza y empeora la privación general (Scanlon et al, 2022).

2.2 Efecto Nacional

Según Triviño (2023) en Colombia el tratamiento de las aguas residuales municipales, hospitalarias e industriales, no se realiza en todos los lugares o entes o territorios urbanos o rurales lo que conlleva a la contaminación de las fuentes hídricas. Esto tiene un impacto directo sobre el

agua, pone en riesgo la salud y el desarrollo humano, ejerciendo mayor presión sobre los ecosistemas, lo que reduce significativamente la biodiversidad. Esto hace necesaria la adoptar alternativas posibles y necesarias que se puedan emplear en el tratamiento de aguas residuales.

De los 562 sistemas de tratamiento existentes en Colombia están a cargo de 415 prestadores de servicios públicos, 108 empresas corresponden a grandes prestadores y el resto, 307, hace referencia a pequeños prestadores. Los departamentos con mayor número de sistemas son Cundinamarca, Antioquia y Boyacá y departamentos como Amazonas y Guaviare no reportan infraestructura para el tratamiento de sus aguas residuales. Solo el 22 % de los municipios del país realizan un tratamiento de sus aguas residuales, un porcentaje realmente bajo si consideramos que tampoco se ha reportado una aceptable eficiencia y operación de la mayoría de estas plantas de tratamiento, esta situación hace que la disponibilidad del recurso sea limitada en muchas regiones del país principalmente para consumo humano y recreativo (Lizarazo, 2013).

2.3 Efecto Local

En el año 2022 según informe de la corporación Autónoma Regional (CAR), Colombia cuenta con un inventario de 119 sistemas de tratamiento (primarios, secundarios y terciarios) ubicados tanto en los cascos urbanos como en los centros poblados. Entre los municipios que no cuentan con Planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra el municipio de Girardot Cundinamarca, esto conlleva a no realizar una adecuada disposición final de las aguas residuales, debido a que son vertidas a las fuentes hídricas sin ningún tipo de tratamiento. A mediados del año 2019 en un impulso de descontaminar las aguas residuales de la ciudad de Girardot, se firmó un acto de voluntades para la construcción de dicha planta de tratamiento que aún no ha iniciado construcción.

En consecuencia, en el municipio de Girardot ha sufrido una serie de modificaciones sistemáticas enmarcadas en la expansión urbana, suburbanización desmedida en el territorio dejando a un lado la relación intrínseca entre lo social, ecosistemas de agua, el río y los humedales; en contexto con o anterior la relación entre los habitantes, turistas, comunidades y los humedales

En la actualidad no se cuenta con estudios históricos que indiquen un desarrollo y progreso del municipio de Girardot en relación con el deterioro del río Magdalena y la desembocadura del Río Bogotá a la cuenca de alto Magdalena. Por eso tal son los Humedales construidos (HC) una opción en el entorno de acuerdo con la planificación con modelos más ecológicos en la urbanización- relación con los habitantes se dirige esta investigación a explorar nuevas formas de interpretar las problemáticas históricas de Girardot, acogiendo al río y los humedales como objetos de estudio que pueden ser analizados de manera sostenible.

Recientemente se han identificado una serie de funciones y servicios, proporcionados específicamente por los ecosistemas de Humedales que pueden ser superiores en cantidad e importancia a los de otro tipo de ecosistemas (Bobbink et al., 2006). Estas funciones son clasificadas como físicas, biogeoquímicas, ecológicas y sociales; además de proveer servicios únicos que benefician a la biota residente, migratoria y a la sociedad per se (Backhaus et al., 2020; Pérez- Porras, 2009). Es aquí donde cabe preguntarse ¿El tratamiento de las aguas residuales por medio de un humedal de flujo subsuperficial en la Universidad Cundinamarca- Seccional Girardot es una opción adecuada?

3. Justificación

El tratamiento de aguas residuales es una necesidad global, para su atención, los humedales artificiales o contruidos (HC) son una opción ecológica y económicamente viable, que aportan a la mitigación de la escasez del líquido (Marín et al., 2023). La seccional Girardot de la Universidad Cundinamarca mediante el programa de Ingeniería Ambiental reconoce la importancia que requiere este tipo de tratamientos que son necesarios para la descontaminación del agua, debido a que aportan al mejoramiento de la calidad de vida. Mediante el proyecto Efectividad de un Humedal de flujo subsuperficial (SFS) que trabaja la universidad para la creación de un SFS del cual este trabajo de grado hizo parte vio la necesidad de realizar una evaluación de este tipo de sistemas que están contruidos básicamente por cuatro elementos: agua residual, sustrato, vegetación y microorganismos.

Con el fin de determinar su viabilidad debido a que otros procesos implican altos costos económicos por el uso de tecnologías convencionales o avanzadas, por eso fue necesario la búsqueda de nuevas técnicas con bajo costo y de menor uso energético, siendo una alternativa los mecanismos de depuración existentes en la naturaleza, y es aquí donde los sistemas de flujo subsuperficiales (SFS) son muy favorables (Abbasi et al., 2019).

Para la creación de estos sistemas fue necesario una previa una investigación del diseño que conto con sustratos y plantas ornamentales con óptimos rendimientos en el diseño de escala piloto de los SFS, para evaluar el rendimiento y comportamiento del sistema. Este proyecto se desarrolló en los meses de mayo a octubre del año 2024 y se efectuó en un área ubicada al costado occidental del edificio de laboratorio Universidad de Cundinamarca - Seccional Girardot.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Evaluar la eficiencia de un humedal de flujo subsuperficial a escala piloto mediante el uso de diversos sustratos en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la Universidad Cundinamarca-Seccional Girardot.

4.2 Objetivos Específicos

- A. Identificar los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos que definen la composición inicial de las aguas residuales a tratar; así como las condiciones necesarias para cada uno de los SFS y su adecuado desarrollo en el tratamiento del agua residual.
- B. Evaluar el comportamiento de diversos sustratos en el humedal y comparar la eficiencia en los procesos de filtración usando como lecho el elote de maíz y la fibra de coco.
- C. Establecer la eficiencia del humedal de flujo subsuperficial en la remoción de contaminantes a partir de la cuantificación de parámetros fisicoquímicos del agua pre y post Tratamiento.

5 Marco Referencial

5.1 Marco teórico

Es esencial proteger los recursos hídricos actuales recuperando las aguas residuales producidas por las actividades humanas y fomentando el reciclaje para aliviar la escasez de recursos de agua dulce. (Almuktar, 2018). Los humedales naturales han servido como sitios ideales para la eliminación de aguas residuales a lo largo de la antigüedad. En los años 1950 y 1960, después de una documentación formal sobre cómo los humedales mejoraban la calidad del agua, se puso en marcha en América del Norte una descarga planificada y controlada de aguas residuales a través de humedales para su tratamiento, ya que se observó que los ecosistemas de humedales asimilaban naturalmente los contaminantes de las aguas residuales (Brown, 1994).

La durabilidad de un humedal de tratamiento (TW) se ve afectada por la vida útil individual de los componentes del sistema, como el sustrato, el revestimiento, los materiales del lecho, las bombas y las tuberías. Además del diseño y los materiales de construcción, el modo de operación puede influir en la vida útil del sistema. Los principales criterios para medir la vida útil de un humedal de tratamiento son su eficiencia de purificación, la permeabilidad del material de filtrado y la acumulación de materia en el lecho. (Addo-Bankas, 2024). La degradación de la materia orgánica en humedales es mediante procesos complejos mediados por comunidades microbianas diversas, así como mediante sedimentación y filtración de materia orgánica particulada. La reacción aeróbica y anaeróbica en la degradación de la materia orgánica soluble; está gobernada por las bacterias heterotróficas aeróbicas. Los procesos anóxicos/ anaeróbicos prevalecen, mientras que los procesos aeróbicos se limitan a pequeñas zonas adyacentes a raíces y rizomas (pérdida radial de oxígeno) y a una fina capa superficial donde puede producirse la difusión del

oxígeno desde la atmósfera. En sistemas con poca carga, el oxígeno disuelto también puede ser transportado por las aguas residuales entrantes. (Vymazal, 2009).

Cada año hay un interés creciente en la investigación de humedales de tratamiento en todo el mundo. En la actualidad, se han realizado estudios más de 80 países con publicaciones relevantes de los estudios realizados (Shukla, 2022). Sin embargo, unos pocos países que han tomado la delantera en la investigación con el mayor número de publicaciones son EE. UU., China, Reino Unido, Canadá, Alemania y España. Respectivamente estos sistemas son ampliamente utilizados en Europa como sistemas descentralizados para el tratamiento de aguas residuales (Kadlec & Wallace, 2008). Los intereses de la investigación abarcan desde la mejora de la eliminación de olores, contaminantes, metales pesados y sistemas intensificados de humedales de tratamiento, con un estudio del rendimiento del sustrato, la integración urbana y los sistemas rentables, sólo por mencionar algunos (Poor, 2022).

El reúso de las aguas residuales tratadas es una estrategia muy importante para que los estados puedan atender los fenómenos de escases de agua natural o inducida que tanto aquejan, preocupan a la humanidad, especialmente en las actuales condiciones en las que los constantes cambios en el régimen climático están avocando a las comunidades a prepararse de mejor manera para afrontar los cada vez más frecuentes los episodios de sequías. La utilización de las aguas residuales tratadas para el riego agrícola se ha optado en países como Japón alrededor del 41% del agua reciclada; 60% en California Estados Unidos; y 15% en Túnez se han utilizado con ese propósito. Además, en los países en vía de desarrollo, la aplicación en la tierra siempre ha sido el principal medio de eliminación de aguas residuales urbanas, así como para satisfacer las

necesidades de riego. (Almuktar, 2018), Ello indica que no todas las aguas residuales tratadas tienen la posibilidad de ser reusadas; solo pueden serlo, legalmente, aquellas que luego del procesamiento reúnan las condiciones de calidad establecidas en la normatividad, que en actualidad se encuentra contenida en la resolución en mención. Se descarta de plano, entonces, la posibilidad de hacer reúso de aguas residuales no tratadas, lo cual es muy importante, especialmente para el riego agrícola de consumo, en consideración a los problemas de salud que se generan por los patógenos contenidos en este tipo de aguas (Veliz et al., 2009).

5.2 Marco Conceptual

Los humedales artificiales son ecosistemas creados artificialmente que no existirían sin una intervención humana significativa, como movimientos de tierra o manipulación hidrológica. Por lo general, están diseñados para imitar muchas de las condiciones o procesos que ocurren en los humedales naturales. Se pueden identificar tres características que son comunes a todos los humedales de tratamiento: 1. La presencia de vegetación macrófita que es característica de los humedales naturales; 2. La existencia de condiciones de sustrato anegado o saturado durante al menos parte del tiempo; 3. La entrada de aguas contaminadas con componentes que deben eliminarse (Fonder, 2011). Este tipo de tratamientos construidos involucran procesos físicos, biológicos y químicos, similares a los que ocurren en los humedales naturales que ayudan a controlar la contaminación en el medio ambiente mediante el tratamiento de diversas aguas residuales como efluentes urbanos (Almuktar, 2018).

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales con **flujo subterráneo** son aquellos en los que el flujo se conduce a través de un medio poroso dentro del cual se llevan a cabo la mayoría de

los procesos de tratamiento. En algunos casos puede haber inundaciones efímeras o permanentes de la superficie del medio, pero esto es principalmente con el propósito de distribución de afluentes o recolección de efluentes; la mayor parte del tratamiento aún se produce dentro de los medios porosos. se subclasifican según la dirección del flujo en aquellos con una trayectoria de flujo horizontal y aquellos donde el flujo es en dirección vertical (Fonder, 2011). Este medio consiste en un lecho de arena o grava con un grosor que permite la circulación del agua a través de las raíces de las macrofitas acuáticas y que además sirve como matriz para las mismas. En este tipo de sistemas no existe a simple vista una lámina de agua, sino que dicho fluido circula al interior del sistema (Fernández, 2004).

Las **aguas residuales domésticas** son aquellas que han sido usadas en un entorno doméstico y han sido afectadas al recibir un alto contenido de material orgánico; que sin un debido tratamiento provocan impactos negativos en otras fuentes hídricas a las que son depositadas, esto aumenta la reducción de la disponibilidad de agua limpia (Meléndez et al., 2022).

La **materia orgánica** está compuesta por una mezcla compleja de biopolímeros. Algunos de estos compuestos, como las proteínas, los carbohidratos y los lípidos son fácilmente degradados por microorganismos, mientras que otros compuestos, como la lignina y la hemicelulosa, son resistentes a la descomposición (es decir, recalcitrantes). En primer lugar, los microorganismos simplifican los polímeros por vía extracelular o asociada a la superficie celular convirtiéndolos en monómeros que se fermentan para dar productos orgánicos, H₂ y CO₂. El metano se forma principalmente a partir de la oxidación de H₂ acoplada a la reducción de CO₂ o por la fermentación

de acetato. El acetato se forma por fermentación primaria, acetogénesis a partir de H₂/ CO₂ y por fermentación secundaria de productos de fermentación primaria (Vymazal, 2009)

Las Aguas subterráneas de **flujo vertical** se subdividen en sistemas con flujo descendente, flujo ascendente y una combinación de flujo ascendente y descendente (“flujo mixto”), lo que conduce a los tres tipos estándar definidos dentro de este grupo de sistemas (Fonder, 2011).

El entorno físico y químico de un humedal afecta a todos los procesos biológicos. A su vez, muchos procesos biológicos de los humedales modifican este entorno físico/químico. Cuatro de los factores abióticos más fluctuantes e importantes son el oxígeno disuelto (OD), el potencial de oxidación-reducción (ORP), la concentración de iones de hidrógeno (pH) y la alcalinidad.

En las aguas residuales existen compuestos orgánicos e inorgánicos que representan una seria amenaza: El nitrógeno y el fosforo son los **compuestos inorgánicos** más importantes para el control de aguas residuales la mayor parte del nitrógeno y el fosforo total se encuentran en su fracción soluble como nitratos, amonio, polifosfatos y ortofosfatos. (Kadlec, 2008).

El Instituto Europeo de física química y biología define la **demanda química de oxígeno (DQO)** como una medida de la cantidad de oxígeno requerida para oxidar químicamente la materia orgánica presente en el agua. Este parámetro se utiliza para evaluar la calidad del agua y la carga contaminante en cuerpos de agua naturales y sistemas de tratamiento de aguas residuales esta medida crucial en la gestión ambiental, puesto que proporciona información sobre la cantidad de materia orgánica que puede agotar el oxígeno disuelto en el agua, esencial para la vida acuática.

De la siguiente manera una definición práctica de un **Medio de Cultivo** conveniente: aquel que contenga los elementos nutricionales esenciales en concentración adecuada, la necesaria cantidad de sal y el adecuado volumen de agua, que este exento de sustancias inhibidoras del microorganismo que se va a cultivar, tenga la consistencia deseada, el (pH) indicado para el metabolismo del cultivo y sea estéril, mediante este medio de cultivo usar la metodología de recuento en placa por plaqueo que es una metodología ampliamente utilizada (Hoben, 1982), que consiste en realizar diluciones seriadas 1:10 y extender 100µl de cada dilución en una placa; las placas se incuban hasta que las colonias son apreciables para su recuento (Corral, 2012).

5.3 Marco Legal

Este proyecto está fundamentado en el marco legal que regula el tratamiento de aguas residuales en Colombia está compuesto por un conjunto de leyes, decretos y resoluciones, A continuación, se presenta las directrices y normas más importantes que rigen en el sector ambiente a nivel nacional.

En este tema se ha incluido desde 1979 las leyes, decretos y resoluciones, aun cuando se ha involucrado la calidad del agua ha sido un tema incluido desde hace tiempo el manejo que se le da al reusó de las aguas residuales domesticas no ha significado para Colombia en la actualidad concebir una reglamentación del reusó de las aguas residuales domésticas.

Ley 23 de 1973, faculta al presidente de la república de manera extraordinaria para expedir el código de recursos naturales y protección al medio ambiente.

Decreto 2811 de 1974 Reglamentar el código Nacional de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente.

Decreto 1541 de 1978 Reglamentar las normas relacionadas con el recurso del agua en todos sus estados.

La ley 9 de 1979 “Ley de protección del medio ambiente y control sanitario”, sus dos enfoques principales son la protección del medio ambiente que el gobierno colombiano ha tomado algunas medidas para protegerlo como la creación de los PNN, implementación de leyes ambientales y el fomento al desarrollo de prácticas sostenibles, También hace referencia a los procedimientos y medidas que se tienen que tener en cuenta para la regulación de los aspectos ambientales que puedan afectar las condiciones sanitarias del ambiente.

Constitución política de Colombia de 1991. Título XII, Cap. V, art. 366 Bienestar y calidad de vida referente a los temas salud, educación, saneamiento ambiental y agua potable.

La ley 99 de 1993, se crea el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (MADS) y define sus funciones, incluyendo la reglamentación del saneamiento ambiental y el control de la contaminación hídrica.

Ley 142 de 1994: Define el servicio público domiciliario del alcantarillado.

Decreto 1076 del 2015, Art 2.2.3.3.9.5 y 2.2.3.3.9.8 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Resolución 0631 de 2015: Reglamenta el artículo 28 del Decreto 3930 de 2010 y actualiza la norma de vertimientos, estableciendo los requisitos para la descarga de aguas residuales en cuerpos de agua superficiales o alcantarillado público.

Ley 1955 de 2019, Se crea PND 2018-2022, que establece la obligación de los prestadores de alcantarillado de permitir la conexión a sus redes de recolección a las plantas de tratamiento de otros prestadores.

Resolución 1256 de 2021: Reglamenta el reusó de aguas residuales en el país, definiendo los requisitos para su uso en diferentes actividades como riego, recarga de acuíferos y uso industrial.

El objetivo del Desarrollo Sostenible (ODS) 6 dice que el agua potable y el saneamiento son derechos humanos, y el acceso a estos servicios, es fundamental para la salud y el bienestar.

Resolución 1256 de 2021 en su artículo 3 menciona que la recirculación de aguas residuales, siempre que sea técnica y económicamente viable, todo usuario del recurso hídrico podrá hacer la recirculación de sus aguas residuales, sin que se requiera autorización ambiental.

Resolución 1256 de 2021 artículo 5 nos habla de los usos y de los criterios mínimos de calidad para el reuso agrícola que deberá cumplir con lo establecido en el artículo 2.2.3.3.9.5, 2.2.3.3.9.7 y 2.2.3.3.9.8 del Decreto 1076 de 2015 y adicionalmente se puede adicionar o sustituir los descritos en este mismo artículo.

Resolución 631 de 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Capítulo IV.

6. Metodología

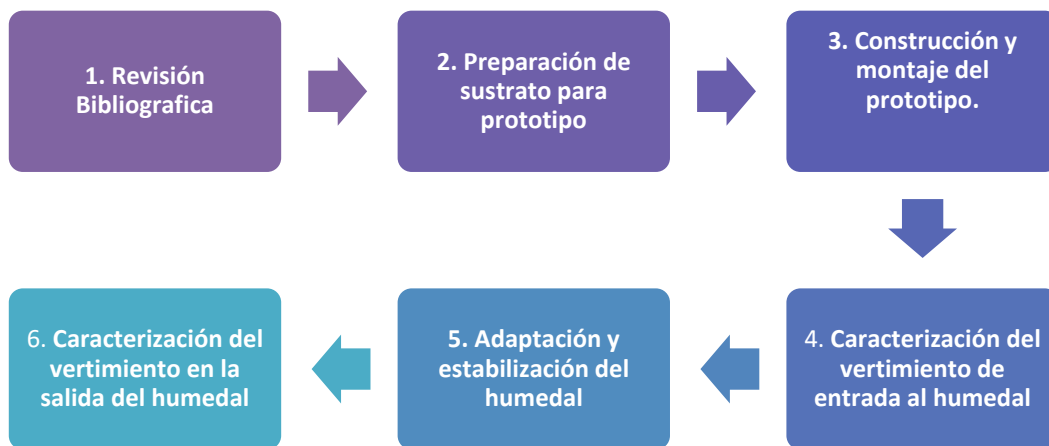
La universidad Cundinamarca de la seccional Girardot se ubica geográficamente en el suroccidente del departamento de Cundinamarca o suroeste de Bogotá a 134 km, en las coordenadas 4°18'25.25" N y 74°48'24.07" O a una elevación de 287 msnm. Geográficamente por localización y condiciones del lugar cuenta con condiciones favorables para realizar un plan piloto de un humedal artificial subsuperficial, tiene un clima cálido entre los 28°C a 38°C y una precipitación anual promedio de 797 mm y sus áreas locativas cuenta con un terreno de alrededor de 24.600 m² en los cuales se puede desarrollar el proyecto. Cuenta con un laboratorio donde se puede desarrollar muestreo de los parámetros de DQO, nitrógeno total, fósforo total y microorganismos.

Imagen 1. Ubicación U Cundinamarca



Fuente: Elaboración propia, 2024

Diagrama 1. Diagrama de flujo de las fases del Proyecto



Fuente: Elaboración propia, 2024

Fase 1. Revisión bibliográfica

Se anexaron datos bibliométricos analizados que tienen como objetivo presentar un panorama de la búsqueda que se realizó con base en literatura científica de diferentes revistas o libros. El informe se basa en los resultados proporcionados por la base de datos Science, ScieELO, Microsoft Academic Research, Scopus®, Google Academic a través de las páginas web utilizando

palabras clave “wetland, “bio-garden”, “humedales construidos”, “constructed”, y “phytoremediation” combinadas con el “elote de maíz” o fibra de coco o canna indica. En la revisión bibliográfica se encontró varios estudios bibliográficos entre ellos el realizado por Sandoval en el 2019 de 87 Humedales artificiales de 21 países donde mostró que los cuatro géneros de vegetación ornamental con flores más utilizados eran *Canna sp o indica*, *Iris*, *Heliconia* y *Zantedeschia*, con un 80% de remoción: La *Canna Indica* (Sandoval et al., 2019). Igualmente se investigó sustratos diferentes a los convencionales y con los que se pudiera trabajar en este tipo de sistemas, donde era necesario que sus características fueran porosas o absorbentes como la fibra de coco, el elote de maíz que obtuvieron altos rendimientos de remoción según los resultados obtenidos en el diseño de un sistema para el tratamiento de aguas residuales fundamentado en procesos de rizofiltración y lechos orgánicos (Caicedo L, 2019).

Fase 2. Preparación del sustrato para el prototipo

Para preparar y caracterizar los sustratos inicialmente se recolecto el elote o tusa de maíz, que se puede encontrar en el acopio principal de la región, colocándola en un proceso de secado al sol por un tiempo aproximado de unos cinco días para procesar y dejar en tamaño más pequeño, la fibra de coco se recolectó en algunos puntos donde ofrecen agua o productos de coco, y luego se rasgó la cascara para sacar la fibra de coco, que posteriormente se colocó al sol para su secado..

Imagen 2. Sustratos



Fuente: Elaboración Propia, 2024

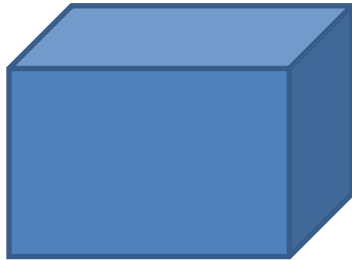
Fase 3. Construcción y montaje del prototipo

Se adquirieron los equipos necesarios para el diseño del humedal, que consisten en un tanque grande de 250 litros y dos tanques pequeños de 40 litros cada uno. El funcionamiento es el siguiente:

1. Tanque Grande: Recibe el agua residual y cuenta con una llave de dos salidas hacia los dos tanques pequeños de 40 litros.
2. Tanques Pequeños: A través de mangueras, el agua del tanque grande de 250 litros se transfiere a los dos tanques pequeños.
3. Sistema de Goteo: Desde los tanques pequeños, el agua se canaliza mediante un sistema de goteo que permite una salida de 21.5 mm por minuto.

Este sistema está diseñado para asegurar un tiempo de retención de 48 horas en el humedal.

El cual se calculó tomando como base las medidas del recipiente prototipo para el humedal.



h	↕	0.56m
L	↔	0.37 m
a	↔	0.30 m

$$V = l * a * h$$

$$V = 0.560 \text{ m} * 0.370 \text{ m} * 0,300 \text{ m}$$

$$0.062 \text{ m}^3 = v$$

Convertimos el volumen en mililitros

$$0.06216 \text{ m}^3 * \frac{1000l}{1\text{m}^3} = 62.16 \text{ l} * \frac{1000\text{ml}}{1l} = 62.160 \text{ ml}$$

$$Q = \frac{V}{t} \text{ despejamos el volumen } V = Q * t$$

Tiempo de retención de 48 h

$$TR \text{ } 48 \text{ h} = 48 * \frac{60 \text{ min}}{1H} = 2880 \text{ min}$$

$$Q = \frac{62160 \text{ ml}}{2880 \text{ min}} = 21.5 \text{ ml}$$

Imagen 3. Elementos del sistema del hidráulico



Fuente: Elaboración propia, 2024

Se adecuo el lugar de ubicación del montaje para cada humedal conforme la organización del diseño presentado en la Ilustración 1, inicialmente se realizó el diseño del humedal que conto con dos humedales piloto en tanques de material de plástico para lograr observar los diferentes procesos internos en cada uno, estos humedales tendrá una medida de altura de 300 mm, ancho 370 mm y un largo de 560 mm y cada humedal contará con una combinación de tres sustratos, en la parte alta tiene grava gruesa con una altura de 150 mm, en el medio sustrato de fibra de coco u olote de maíz de una altura de 70 mm, y en la parte baja tiene de altura 80 mm de granito, cada humedal conto con la especie ornamental *Canna indica*, este tuvo una pequeña inclinación para

evitar el estancamiento del agua, por un tiempo aproximado de 55 días desde 26 de Julio de 2024 hasta 23 de septiembre de 2024, se colocó inicialmente en proceso de adaptación donde se realizó un monitoreo continuo para lograr la adaptación adecuada de la planta al humedal y así establecer las condiciones necesarias para su adecuado proceso.

Imagen 4. Adecuación del lugar



Fuente: Elaboración propia, 2024

Montaje del humedal

Imagen 5. Pasos para montaje de humedal



Fuente: Elaboración propia, 2024

Prototipo Humedal

Imagen 6. Prototipo Humedal



Fuente: Elaboración propia

Proceso de adaptación de las plantas

Inicio de adaptación del Humedal con sustrato de **Elote de maíz**, 26 de Julio.

Imagen 7. Adaptación elote de maíz



Fuente: Elaboración propia, 2024

Inicio de adaptación del Humedal con sustrato de **fibra de coco** 30 de julio de 2024.

Imagen 8. Adaptación humedal fibra de coco



Fuente: Elaboración propia, 2024

Fase 4. Caracterización del vertimiento de entrada al humedal

Posteriormente se inició con la caracterización inicial del agua residual a tratar, la muestra de agua fue recolectada del alcantarillado del bloque de la universidad, esta se recogió en un recipiente que fue previamente lavado con agua esterilizada para evitar alteraciones, se envió para análisis en un laboratorio certificado para determinar la DQO, nitrógeno total, Fosforo total y Microorganismos.

Imagen 9. Toma de muestra de entrada



Fuente: Elaboración propia, 2024

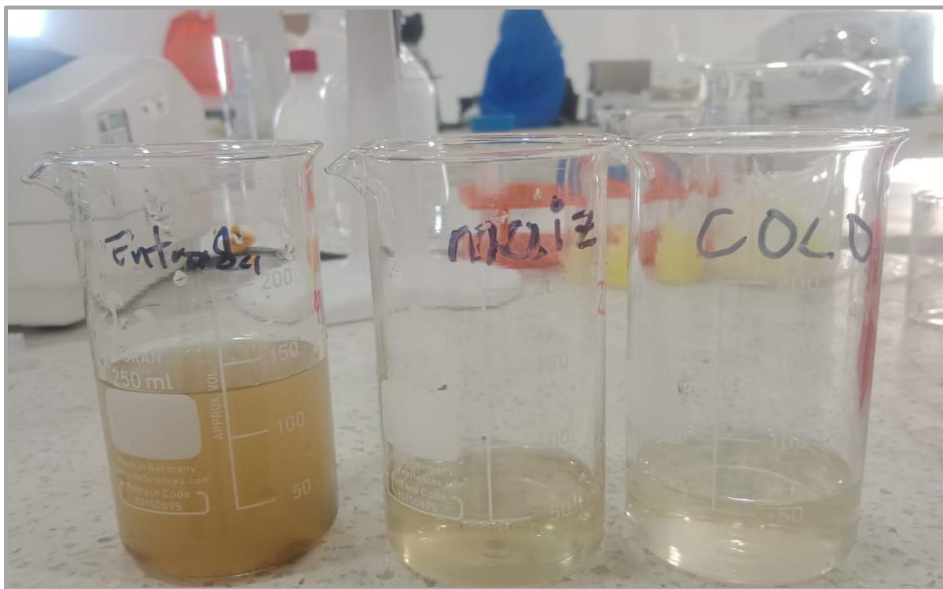
Fase 5. Adaptación y estabilización del humedal

Se inicia con el llenado de los tanques con agua residual graduando el goteo en 21.5 ml por minuto para que pueda cumplir con el tiempo de retención de 48 horas (24/09/2024). En un tiempo de 7 días se revisó la adaptación y estabilización, que se verifica mediante las condiciones físicas del humedal. Donde las plantas presentaron nuevos retoños y un color más verde en sus hojas.

Fase 6: Caracterización del vertimiento en la salida del humedal.

Se hace una recolección de las muestras del goteo de entrada y salida de los humedales.

Imagen 10. Muestras de entrada y salida de los humedales



Fuente: Elaboración propia, 2024

Preparación de medios y características

Se inicio con la toma de muestras para realizar los diferentes análisis de los parámetros anteriormente mencionados en la fase 4, Así sucesivamente se realizó un análisis de 13 muestras para monitorear la salida de los humedales para comparar si hay cambios en los parámetros

inicialmente analizados por el laboratorio Hidrolab, así evaluar y determinar el nivel de remoción y si estos cumplen con los parámetros requeridos en la normativa para el reusó en otro tipo de actividades. La metodología usada en el laboratorio de aguas de la Universidad Cundinamarca seccional Girardot fue mediante Fotómetro HI 83314 para tratamiento de aguas residuales de HANNA. Mediante este instrumento se realizó el análisis de los parámetros de DQO, Nitrógeno Total y Fosforo Total de la siguiente forma:

Inicialmente se recogió cada día la muestra de salida de cada uno de los humedales mediante un beaker de 200ml.

Para la **DQO**, se precalienta el reactor Hanna HI839800 a 150 °C (302 °F). A parte se coge el vial de reactivo DQO rango alto HI93754C-0, se destapa y se le agrega 0.2 ml de agua desionizada al primer vial que será el Blanco y 0.2 ml de muestra al segundo con la muestra de agua del humedal de coco y al tercer vial 0.2 ml uno con la muestra de agua del humedal de elote de maíz, al momento de agregar la muestra el vial debe estar en un ángulo de 45 grados, se tapa e invierte varias veces para mezclar, posteriormente se introducen los viales en el reactor que debe estar a 150 °C por un tiempo de 2 horas, al finalizar el proceso de digestión se apaga el reactor se espera por 20 minutos que los viales se enfríen a aproximadamente 120 °C. y luego se colocan en el estante de tubos de ensayo sin moverla para que no se vuelva turbia, en el fotómetro HI 83314 se selecciona el método DQO Rango Alto (HR), se inserta el adaptador de vial de 16 mm y se coloca el vial del blanco en el soporte, se presiona la tecla cero (Zero), al final de la medición del cero la pantalla muestra el indicador “-0.0-”. El medidor está listo para la medición, se retira el vial blanco y se coloca el vial de la muestra del humedal de coco en el soporte presionando la tecla

leer (Read) para comenzar la lectura, el instrumento muestra los resultados en mg/L de oxígeno (O₂) y nuevamente se repite el procedimiento en la muestra del humedal de Elote de Maíz.

Para el **Fosforo Total**, se precalienta el reactor Hanna HI839800 a 150 °C (302 °F). A parte se coge los viales de reactivo Fosforo Total rango alto HI 93758V-0, se destapa y se le agrega al primer vial que será el Blanco 5 ml del agua desionizada, al segundo vial 5 ml de muestra del agua del humedal de coco y al tercer vial 5 ml con la muestra de agua del humedal de elote de maíz, al momento de agregar la muestra el vial debe estar en un ángulo de 45 grados, se añade 1 paquete de persulfato de potasio PERSULFATE/N, se coloca de nuevo la tapa agitando suavemente hasta que el polvo se disuelva por completo, posteriormente se introducen los viales en el reactor que debe estar a 150 °C por un tiempo de 30 min. Al finalizar el proceso de digestión se apaga el reactor se espera y luego se colocan en el estante de tubos de ensayo para que se enfríen a temperatura ambiente. En el fotómetro HI 83314 se selecciona el método Fosforo Total HR, se inserta el adaptador de vial de 16 mm, y con cada vial que está a temperatura ambiente se retira la tapa y se agrega 2.0 ml de solución NaOH 1.54N HI 93758B-0, manteniéndolos en un ángulo de 45 grados se coloca de nuevo la tapa y se invierte el vial varias veces para mezclar teniendo cuidado porque se calientan al mezclar los reactivos, retiramos nuevamente las tapas de los viales y agregamos 0.5 ml de solución reactivo fósforo total, rango alto B HI 93763B-0, manteniéndolos en un ángulo de 45 grados se coloca nuevamente la tapa e invierte varias veces para mezclar teniendo mucho cuidado porque se calientan mucho más, se coloca el vial del blanco en el soporte, se presiona la tecla cero (Zero), se presiona el temporizador (Timer) y la pantalla mostrará la cuenta regresiva antes de realizar la medición por 7 minutos, pasado el tiempo se presiona el botón Zero y al final de la medición cero la pantalla muestra el indicador "-0.0-". El medidor está listo para la

medición, se retira el vial blanco y se coloca el vial de la muestra del humedal de coco en el soporte presionando la tecla leer (Read) para comenzar la lectura. El instrumento muestra los resultados en mg/L y nuevamente se coloca el vial Blanco y se presiona la tecla cero y se coloca la muestra del humedal de Elote de Maíz para realizar la lectura.

Para el **Nitrógeno Total** Rango bajo (LR) de la muestra inicial de cada humedal con una pipeta se colocó en un matraz 10 ml del agua tratada y luego se le añadió 90 ml de agua destilada para realizar una dilución que permitiera dar el análisis con los reactivos que estaban a nuestra disposición. Inicialmente se precalienta el reactor Hanna HI839800 a 105 °C (221 °F). A parte se coge los viales de reactivo Nitrógeno Total rango bajo HI 93767A-B, se destapa y se le agrega se añade 1 paquete de persulfato de potasio PERSULFATE/N a cada vial y luego 2 ml de agua desionizada al primer vial que será el Blanco y 2.0 ml de muestra al segundo con la muestra de agua del humedal de coco y al tercer vial 2.0 ml uno con la muestra de agua del humedal de elote de maíz, al momento de agregar la muestra el vial debe estar en un ángulo de 45 grados, se coloca de nuevo la tapa agitando por 30 segundos hasta que el polvo se disuelva por completo, posteriormente se introducen los viales en el reactor que debe estar a 105 °C por un tiempo de 30 min. Al finalizar el proceso de digestión se apaga el reactor y se colocan en el estante de tubos de ensayo para que se enfríen temperatura ambiente, en el fotómetro HI 83314 se selecciona el método Nitrógeno Total HR, se inserta el adaptador de vial de 16 mm este realizara 3 temporizadores de reacción teniendo cuidado en cada uno de estas mezclas porque se calientan mucho, pero antes de iniciar con el primer temporizador se le agrega a cada vial de muestra 1 paquete de metabisulfito de sodio, BISULFITE/N colocamos de nuevo la tapa y agitamos suavemente por 15 segundos. Se presiona el temporizador del fotómetro que hará una cuenta regresiva de 3 minutos, pasado este

tiempo se le agrega a cada muestra 1 paquete del reactivo nitrógeno total HI 93767-0, se coloca de nuevo la tapa y se agita suavemente por 15 segundos, nuevamente se presiona el temporizador que hará una cuenta regresiva de 2 minutos, ahora se coge los viales del reactivo digestión de nitrógeno total, rango bajo HI 93766V-0LR y a cada uno de ellos se le agrega 2 ml de cada una de las muestras ya preparadas (HI 93767A-B), manteniendo los viales en un ángulo de 45 grados se coloca de nuevo la tapa invirtiendo 10 veces, se coloca el vial del blanco en el soporte se presiona el temporizador (Timer) y la pantalla mostrará la cuenta regresiva antes de realizar la medición por 5 minutos al finalizar se presione el botón Zero, la pantalla mostrara el indicador "-0.0-". El medidor está listo para la medición, se retira el vial blanco y se coloca el vial de la muestra del humedal de coco en el soporte presionando la tecla leer (Read) para comenzar la lectura. El instrumento muestra los resultados en mg/L y nuevamente se coloca el vial Blanco y se presiona la tecla cero y se coloca la muestra del humedal de Elote de Maíz para realizar la lectura.

Para el **reconocimiento de las bacterias** se realizó la determinación de *Escherichia coli* en el agua; se usó el método de Recuento en placa, donde se realizó lo siguiente inicialmente se tomaron todas las medidas profesionales necesarias debido a que es un método muy riesgoso por sus peligros potencialmente relacionados con la manipulación de microorganismos y para ello se usó los siguientes elementos de protección en el laboratorio de análisis microbiológico Una bata de laboratorio manga larga , Tapabocas, Monogafas Guantes de látex y Zapatos antideslizantes. Se alisto el material necesario para realizar el análisis de laboratorio con los siguientes materiales, probeta graduada de 100, 500 y 1000 ml, vasos de 100, 250, 500 ml, Varilla de vidrio, 27 cajas de Petri 45 mm de diámetro en vidrio, frascos para toma de muestra en vidrio autoclavables con tapa de rosca, pipetas de 1, 5, y 10 ml, micropipetas de 0.1 y 0.5. μL , puntas azules y puntas amarillas,

frascos con capacidad de 1 litro esterilizables, frascos Schott de 250 ml, esterilizables, Estos materiales fueron lavados con jabón, agua esterilizada y secados posteriormente, luego se forraron con papel Kraft para colocarlos en el autoclave a una temperatura de 121 °C por un tiempo de 2 horas, Se usaron otros materiales requeridos para el laboratorio como Asa de platino redondeada (bacteriológica), espátula y guantes de carnaza, mechero de Alcohol y papel Kraft.

Por otro lado, con agua ya esterilizada y autoclavada se procedió a realizar el agar para coliformes, en la balanza se colocó 4 mg del agar en polvo para adicionarlo en un frasco de 150 ml y cuando ya se mezcló se colocó al horno a 120 °C por 2 horas. Cuando ya los materiales y el agar están listos estos se proceden a realizar las diluciones de cada muestra en la de entrada a la -1, -2 y -5 y en la salida de los humedales -1 y a la -2. Se tomo 2 cajas de petri con medio de cultivo para realizar el sembrado, se procedió a encender el mechero para evitar la contaminación y desinfectar el mesón o área de trabajo para no tener errores en el sembrado por microorganismos del aire en el ambiente y se marcó las cajas de petri para colocar en cada una el medio de cultivo mediante una pipeta de 10 mm y luego en cada dilución se usó una pipeta diferente para agregar las diluciones preparadas de la muestra recolectadas. Al finalizar con todo el sembrado, se procedió a colocar en el horno a 36 °C por 48 horas para luego proceder con el conteo de las colonias.

Se dispone del agar para Coliformes como un medio deshidratado, estable que se adapta perfectamente al objetivo del laboratorio de diagnóstico y contabilización microbiológica, casi listo para su uso y preparación a partir de componentes individuales básicos ya descritos en sus instrucciones de preparación esta función selectiva y diferencial que contiene la formula del agar con agentes selectivos que inhiben el crecimiento de microorganismos acompañantes y permiten el crecimiento de un tipo de microorganismos determinado como *E. coli* y Coliformes permitiendo

exhibir a los microorganismos en las reacciones con la utilización del sustrato en el medio de cultivo cromogénico teniendo como sus etapas de proceso la:

- Preparación/ adquisición de los medios de cultivo o detectores.
- Preparación del inóculo
- Inoculación
- Dilución en serie de muestras
- Incubación de 35 a 37 °C por un tiempo de 24 h a 48 h.
- Aislamiento

Para la Identificación y recuento de colonias.

Después de recolectadas las muestras y su sembrado previamente en las cajas de Petri se debe adecuar la temperatura en la Incubadora empleando o dejándola a un tiempo de 24 a 48 horas a 36°-37° C dejando la muestra de la caja Petri en posición invertida, al cabo de este tiempo se lee el número de colonias resultantes, utilizando App Colony Counter: Bacteria de la Play store en Android esto ayudo a la agilidad en la obtención de las unidades formadoras de colonias de color azul violeta obteniendo resultados de presencia de *E. coli*.

Métodos de cultivo para recuento o enumeración:

El método analítico de referencia para el control oficial por parte de las autoridades reguladoras y se consideran el “El método de referencia” en el diagnóstico de aguas para su tratamiento y para las pruebas de conformidad, la técnica es estándar para recuento de microorganismos es el recuento en placa, que puede ser realizada en profundidad o superficie y que permite contar microorganismos aerobios y aerobios facultativos. Hay otras técnicas en

medios líquidos, como el número más probable (NMP) y el recuento directo de células usando microscopia se utiliza el recuento de colonias viables basados comúnmente en el número de colonias que se desarrollan en una placa de agar (medio sólido) que han sido previamente inoculadas con cantidades de 5 ml en total 4 ml del inoculante preparado y 1 ml de la muestra conocida de suspensiones diluidas de la muestra e incubadas en condiciones ambientales determinadas.

Las etapas de dilución son un requerimiento básico para la enumeración de microorganismos, Se realizaron las diluciones de acuerdo a las series de dilución para aguas -1: 10 ml de volumen de muestra (ml) y aforar a 100 (ml) para el volumen final, -2: 1 (ml) de volumen de muestra (ml) y aforar a 100 (ml) para el volumen final, -5: 0.1 (ml) de volumen de muestra (ml) y aforar a 100 (ml) para el volumen final el aforo se debe realizar con agua desionizada y autoclavada previamente de manera que se puedan alcanzar poblaciones de colonias en las cajas de Petri, selectivamente entre un rango de 20 y 300 UFC. Para alcanzar estas concentraciones seriadas (Sucesivas), generalmente se hicieron tantas diluciones como sean necesarias para poder contar las UFC en las cajas de Petri, En el ensayo, se inoculan diluciones seriadas de una muestra en medio líquido, se cuentan con 27 cajas Petri con triplicados tomando 4 cajas de Petri con medio de cultivo dejando en la primera caja el control de esterilidad (Blanco), para las inoculaciones a la -1, -2 de cada humedal y para la muestra de entrada -1, -2 & -5 de las diluciones ya preparadas, los triplicados se hacen cuando hay más de 20 muestras a analizar En ocasiones, los ecosistemas microbianos en las muestras analizadas, son demasiados numerosas para contar (DNPC) y estos cultivos podría dar lugar a una subestimación o interpretación errónea y diversa al estado microbiano actual del ensayo.

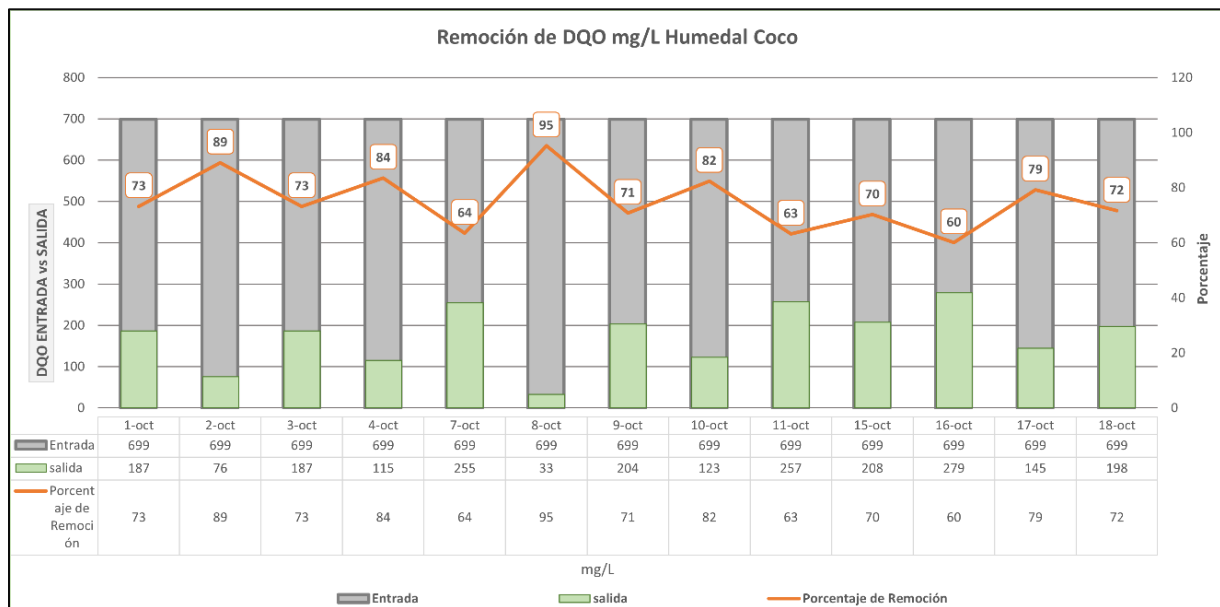
7 . Resultados y discusión.

Para los resultados se tuvo en cuenta los resultados del agua residual del alcantarillado de la universidad bloque D, debido a que esta agua residual es el agua de entrada de los humedales, que fue analizada por el laboratorio Hidrolab, dando los siguientes resultados en DQO 699 mg/L, Nitrógeno Total 218 mg/L y Fosforo Total 3.1 mg/L para poder comparar los índices de remoción.

Resultados prototipo Humedal Coco

DQO

Tabla 1. DQO- Salida humedal coco

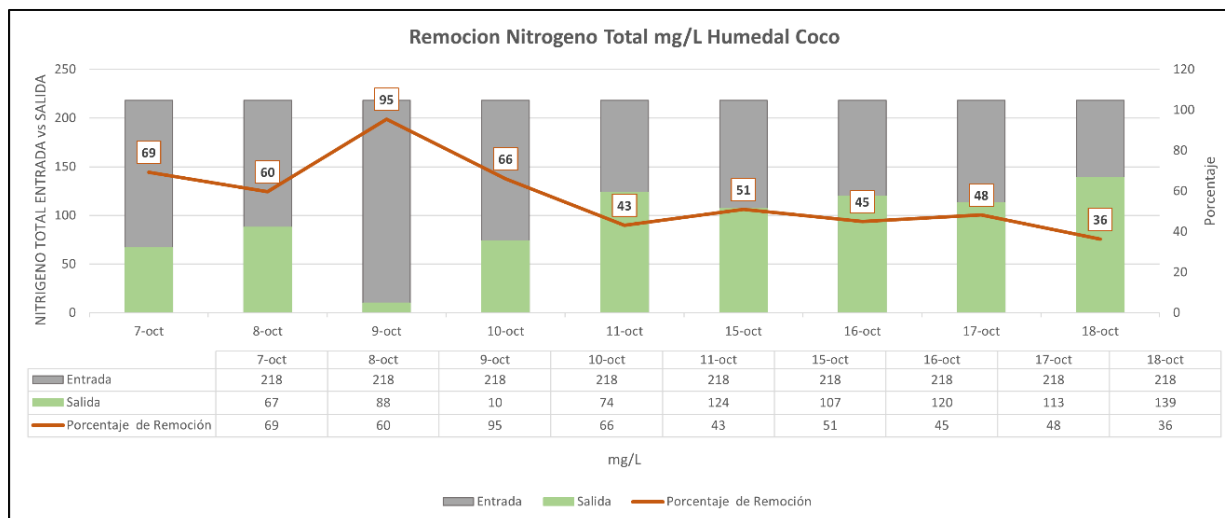


Fuente: Elaboración propia, 2024

En el humedal de coco la remoción de DQO presento rangos de remoción que estuvieron entre un mínimo de 60% al máximo de 95%, estos datos son los equivalentes a una eficiencia promedio de 74.5%, con un promedio de salida de 174.3 mg/L.

Nitrógeno Total

Tabla 2. Nitrógeno Total- Salida Humedal Coco.

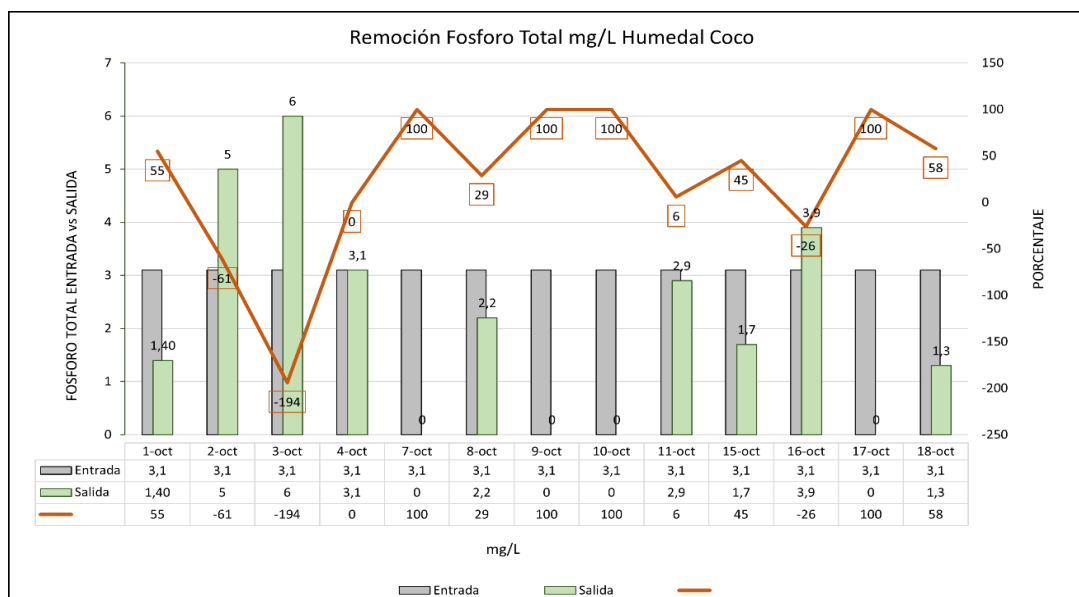


Fuente: Elaboración propia, 2024

En el humedal de coco la remoción de Nitrógeno presentó rangos de remoción que estuvieron entre mínimo 36% al máximo de 95%, estos datos son los equivalentes a una eficiencia promedio de 57 %, con un promedio de salida de 93.5 mg/L.

Fosforo Total

Tabla 3. Fosforo - Salida Humedal Coco



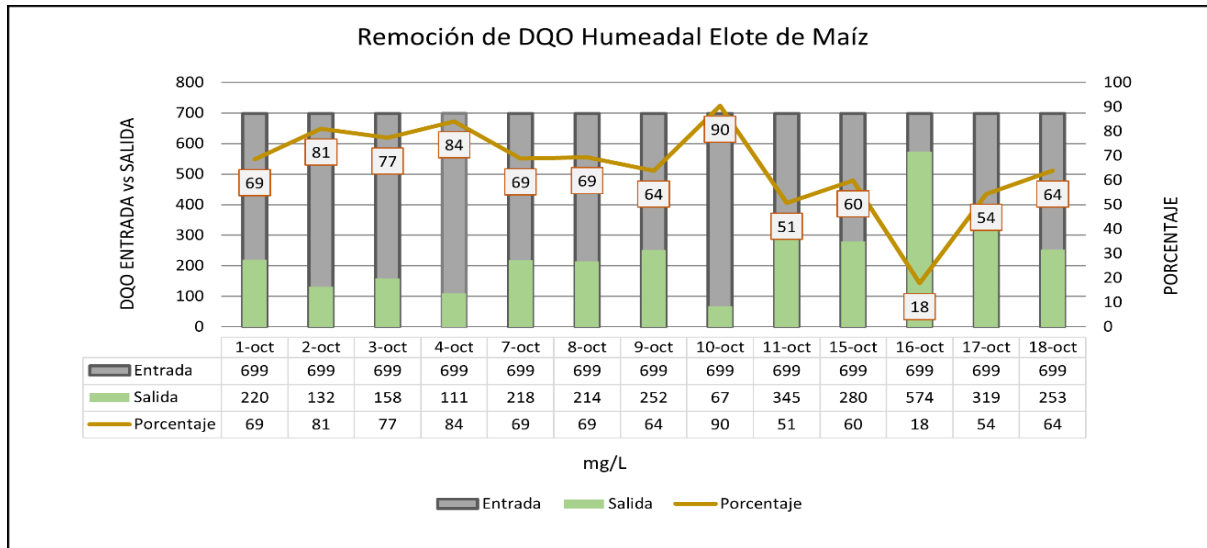
Fuente: Elaboración propia, 2024

En el humedal de coco la remoción de Fosforo presento rangos de remoción que estuvieron entre un rango negativo de aumento de fosforo en el Humedal equivalente al 94 % más del contenido inicial y un rango máximo de remoción de 100%, estos datos son los equivalentes a una eficiencia promedio de 24%, con un promedio de salida de 2.1 mg/L.

Resultados Prototipo elote de maíz

DQO

Tabla 4. DQO- Humedal Elote de maíz

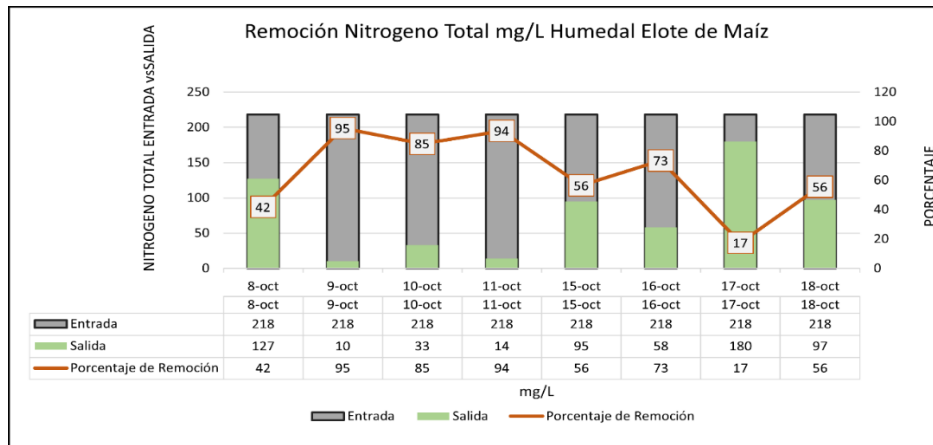


Fuente: Elaboración propia, 2024

En el humedal de elote de maíz la remoción de DQO presento rangos de remoción que estuvieron entre un mínimo de 18% al máximo de 90%, estos datos son los equivalentes a una eficiencia promedio de 65.3%, con un promedio de salida de 241.7 mg/L.

Nitrógeno Total

Tabla 5. Nitrógeno Total- Salida Humedal elote de maíz

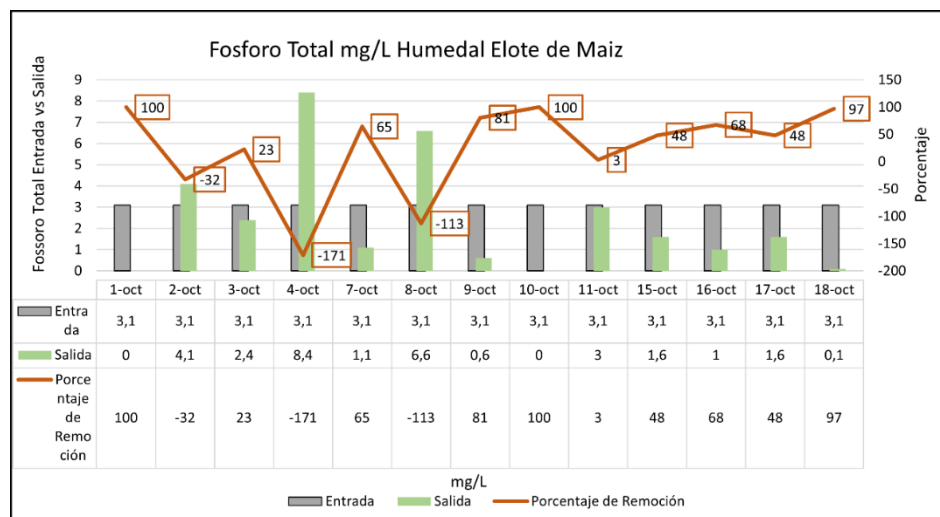


Fuente: Elaboración propia, 2024

El humedal de elote de maíz la remoción de Nitrógeno Total presento promedios que estuvieron entre un mínimo de 17% al máximo de 95%, estos datos son los equivalentes a una eficiencia promedio de 57.5%, con un promedio de salida de 68.2 mg/L.

Fosforo Total

Tabla 6. Fosforo Total- Salida humedal elote de maíz



Fuente: Elaboración propia, 2024

El humedal de elote de maíz la remoción de DQO presento rangos de remoción que estuvieron en un rango negativo de aumento de fosforo en el Humedal equivalente al 71% más del contenido inicial y un rango de remoción con un máximo del 100%, estos datos son los equivalentes a una eficiencia promedio de 24.3%, con un promedio de salida de 2.3 mg/L.

Tabla 7. Tabla comparación de resultados

Resultados Laboratorio					
Parámetro	Hidrolab	Humedal fibra de coco	Promedio	Humedal elote de maíz	Promedio
DQO	699 mg/L	174.3 mg/l	74.5%	241.7 mg/L	65.3%
Nitrógeno Total	218 mg/L	93.5 mg/ l	57%	68.2 mg/L	57.5%
Fosforo Total	3.1 mg/L	2.1 mg/L	24%	2.3 mg/L	24.3%

Fuente: Elaboración propia, 2024

Las remociones presentadas del DQO, son significativas, lo que se registró en promedio en el humedal de coco de 174.3 mg/L, estuvo más acorde a resultados esperados si lo comparamos con los valores máximos permisibles para vertimiento de aguas residuales que nos menciona la Resolución 631 del 2015 para agua domésticas, en Nitrógeno Total los dos Humedales presentaron una remoción promedio de 57% y Fosforo Total las dos presentaron remociones del 24%, que comparados con la Resolución 631 del 2015, requiere de un análisis y reporte. Por otro lado, en Decreto 1076 del 2015, en sus Art 2.2.3.3.2.5 y 2.2.3.3.2.7 en el punto 2, nos especifica el uso que se puede dar al agua en ciertos sectores como la agricultura donde se puede emplear en otras actividades conexas o complementarias y en el sector pecuario se pueden dar uso para para fines recreativos, en la utilización de contacto secundario, como en los deportes náuticos y la pesca.

Tabla 8. Resultados de microorganismos

Muestra Microorganismos				
N° MUESTRAS	TIPO DE MUESTRA	Agua Residual de Entrada	Salida Humedal coco	Salida Humedal Maíz

	Fecha	DILUCIONES			DILUCIONES		DILUCIONES	
		-1	-2	-5	-1	-2	-1	-2
1	11/10/2024	DNPC	78	1	10	25	67	73
2		DNPC	94	1	107	21	DNPC	117
3		DNPC	84	1	99	29	DNPC	56
1	14/10/2024	DNPC	300	1	5	1	16	1
2		DNPC	125	1	7	1	15	1
3		DNPC	300	1	2	1	11	1
1	16/10/2024	DNPC	300	1	DNPC	104	DNPC	34
2		DNPC	439	1	DNPC	167	DNPC	29
3		DNPC	286	1	DNPC	189	DNPC	31
PROMEDIO		6500	222,889	1	38,333	59,778	27,250	38,111
UFC/100 mL		65	2,229	0,000	0,383	0,598	0,273	0,381
Porcentaje		6.500 %	222.9 %	0%	38%	59.8 %	27.%	38%
Porcentaje de Reducción					99%	73%	99%	83%

Fuente: Elaboración propia, 2024

De acuerdo a los resultados obtenidos en el recuento microbiológico las aguas servidas del bloque académico provenientes son altas en materia orgánica, y presencia de microorganismos patógenos e identificación de Enterobacterias como la presencia coliformes fecales como son las bacterias de *Escherichia. Coli*, se evidenció un crecimiento microbiano por una visualización concentrada celular en el agar selectivo por tal razón el resultado de la dilución a la -1 ha sido positiva. Muy densificadas en su crecimiento microbiano por tal razón se da la connotación de demasiado numerosa para contar (DNPC) y se le da un número mayor a seis mil quinientas colonias (>6.500) dando como resultado efectivo un alto porcentaje de material fecal en las aguas que se iban a tratar (Agua de Entrada), En los humedales de maíz y coco se obtuvieron resultados de los

microorganismos totales viables en la toma de datos, demostrando en las siembras de acuerdo a sus diferentes diluciones la presencia de bacterias que están presentes en las heces humanas y la materia orgánica. Con valores porcentuales en las muestras mayores a los reglamentarios en la normatividad nacional dando resultados a la dilución -2 mayores al 73 % y 83 % a la unidad de medida con el factor de dilución estas grandes concentraciones encontradas de *E. Coli*, presentes en el agua de salida de los prototipos pilotos de los humedales subsuperficiales cumplen solamente en el Decreto 1076 de 2015 en su artículo 2.2.3.3.9.8 en los criterios de calidad para fines recreativos mediante contacto secundario donde el del valor máximo permisible es de 5000 microorganismos/100 ml.

8. Conclusiones

En la evaluación de este tipo de tratamiento mediante diversos sustratos permite identificar que hay una remoción significativa en parámetros físico, químicos y bacteriológicos. Obteniendo la eficiencia en rangos casi similares, pero más marcados en la DQO, en el humedal de fibra de coco con un 74.5 % a diferencia del humedal de elote de maíz en un 65.3% valores favorables para el vertimiento de aguas residuales tratadas y para el uso en algunas actividades anteriormente mencionadas en resultados y discusiones.

Los Humedales subsuperficiales son sistemas sencillos que requieren de obras no complejas y de fácil manejo, siendo una excelente opción para el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales o urbanas con baja densidad poblacional, que permite incentivar la integración comunitaria, la educación ambiental con beneficios adicionales como espacios recreativos o educativos, promoviendo la biodiversidad y el paisaje local.

La Viabilidad de los Humedales subsuperficiales es una opción amigable con el medio ambiente y se ve respaldada por la notable mejora en la tasa de eliminación de la DQO que es uno de los factores de remoción más prominente en el sistemas de tratamiento, esta es una medición que permite evaluar la cantidad de materia orgánica disponible y materia inorgánica susceptible a la oxidación de un agente oxidante, controlar este tipo de indicador es fundamental dentro de las normativas para el tratamiento y la descarga de aguas residuales.

El tratamiento de aguas residuales puede considerarse un servicio ecosistémico, especialmente cuando se implementan sistemas naturales para su tratamiento. Estos ecosistemas pueden desempeñar un papel fundamental en la depuración del agua a través de procesos naturales, mediante la biodegradación que se desarrolla en los humedales construidos, debido a que se utilizan plantas y microorganismos para tratar aguas residuales, proporcionando beneficios adicionales como la mejora de la biodiversidad y la protección de la calidad del agua en ecosistemas cercanos. Además, este método puede contribuir a la conservación del agua, reducir la contaminación y ayudar a mitigar el impacto de las actividades humanas en el medio ambiente. Por lo tanto, el tratamiento de aguas residuales puede ser visto no solo como una necesidad técnica, sino también como una forma de aprovechar los servicios que los ecosistemas naturales pueden ofrecer.

Las macrofitas canna *indica* sembradas en el sistema presentaron un mayor desarrollo en el momento que el humedal presento cambio de agua potable por agua residual paso de un tamaño de 37 cm a 55 cm con aumento de tallos de 4 a 8 y mayor floración de las plantas en un periodo de tiempo de un mes.

9. Recomendaciones

El uso de este tipo de sistemas es amigable con el ambiente, de fácil adecuación y su manejo permite que sea desarrollado en comunidades o zonas rurales.

Es recomendable un proceso de esterilización mejorado de los sustratos para evitar olores y lograr aumentar su tiempo de uso.

Es necesario que el agua residual a tratar proceda de un sistema que no sea combinado debido a que las redes de alcantarillado pluvial contienen gran cantidad de arenas que obstruyen o saturan el sistema con residuos.

Reducir o evitar que el agua a tratar no contenga papel higiénico debido a que este genera mayor turbidez del agua.

El sistema de tratamiento requiere de un proceso físico para reducir los sólidos de tamaños considerables y evitar el estancamiento del agua en los tanques debido a las altas temperaturas que aumentan la generación de olores.

Para poder mejorar el rendimiento en la reducción de microorganismos se podría adicionar un sistema adicional que sea ambientalmente amigable y que permita ampliar el reusó de este tipo de aguas tratadas por humedales subsuperficiales.

El tiempo de retención hidráulica puede ser más extenso para optimizar la eficiencia de

remoción de agentes patógenos y disminución de los contaminantes fisicoquímicos como de materia orgánica generando una evidencia más notable en los porcentajes de remoción de acuerdo al tiempo de exposición y rizoremediación que nos brinda la vegetación pues incluso con tiempos como el propuesto se obtuvo remociones en concordancia al decreto 1076 de 2015.

10. Lista de referencias

- Abbasi, H. N., Xie, J., Hussain, S. I., & Lu, X. (2019). Nutrient removal in hybrid constructed wetlands: Spatial-seasonal variation and the effect of vegetation. *Water Science and Technology*, 79(10), 1985-1994. <https://doi.org/10.2166/wst.2019.196>
- Acosta, R. yanza, J. (2018). Análisis de la fibra de coco como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la curtiembre Moyolsa, ubicada en la parroquia Pishilata de la ciudad de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/27450>
- Addo-Bankas, O., Zhao, Y., Wei, T., & Stefanakis, A. (2024a). From past to present: Tracing the evolution of treatment wetlands and prospects ahead. *Journal of Water Process Engineering*, 60, 105151. 10.1016/j.jwpe.2024.105151. <https://www-sciencedirect-com.ucundinamarca.basesdedatosezproxy.com/science/article/pii/S2214714424003830#section-cited-by>
- Almuktar, S. A. A. A. N., Abed, S. N., & Scholz, M. (2018). Wetlands for wastewater treatment and subsequent recycling of treated effluent: a review. *Environmental science and pollution research international*, 25(24), 23595–23623. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2629-3>
- Brown, D. S., & Reed, S. C. (1994). Inventory of constructed wetlands in the United States. *Water Science and Technology*, 29(4), 309-318.
- Caicedo L, (2021). Diseño de un sistema para el tratamiento de aguas residuales fundamentado en procesos de rizofiltración y lechos orgánicos filtrantes capaces de disminuir el contenido de grasas y aceites presentes en una muestra de agua residual procedente de una sucursal de la empresa mimos S.A. <https://repositorio.udistrital.edu.co/items/2f3d2146-2942-4abe-829a-d19c359fb43f>
- CAR (2022). Estado Ptar Municipales Pdf. <https://www.car.gov.co/uploadsfiles/626f49cc00498.pdf>
- Corral, A; Morales G, Y; Pazos, L; Ramírez V, A; Martínez, R; Muñoz , J.

- (2012). Cuantificación de bacterias cultivables mediante el método de "Goteo en Placa por Sellado (o estampado) Masivo. *Revista Colombiana de Biotecnología Dic 2012, Volumen 14 N° 2 Paginas 147 - 156*
- Crombet, S. Abalos, A. & Et al (2019). Determinación de los parámetros ambientales de mayor incidencia en las aguas residuales de la comunidad universitaria Antonio Maceo. *Revista Cubana de Química, 31(1), 137-153.*
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212019000100137&lng=es&tlng=es
- Decreto 1076 de 2015. Decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Decreto-1076-de-2015.pdf>
- Du Plessis, A. (2022). Persistent degradation: Global water quality challenges and required actions. *One Earth, 5(2), 129–131.* 10.1016/j.oneear.2022.01.005
- Echeverría, &. Machicado, I. & et al. (2019). Aguas residuales domésticas tratadas mediante reactores anaerobicos desconectados y filtros de grava como recurso para ser utilizado en agricultura. *investigación & desarrollo, 19 (1), 63-72.*
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s2518-44312019000100005&lng=es&tlng=en.](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s2518-44312019000100005&lng=es&tlng=en)
- Edition, F. (2011). Guidelines for drinking-water quality. *WHO chronicle, 38(4), 104-8*
- FAO/ONU-Agua (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura/ONU-Agua). (2021) Progreso del Cambio en la Eficiencia del Uso del Agua: Estado Mundial y Necesidades de Aceleración del Indicador 6.4.1 de los ODS, 2021
- Fernández J. (2004). Humedales Artificiales para la Depuración. Capítulo 6. Pp 1-12
- Fonder, N., & Headley, T. (2011). Systematic classification, nomenclature and reporting for constructed treatment wetlands. *Water and nutrient management in natural and constructed wetlands, 191-219.*
https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Systematic+classification,+nomenclature+and+reporting+for+constructed+treatment+wetlands&author=Fonder,+N.&author=Headley,+T.&publication_year=2010&pages=191%E2%80%93219
- Hoben, H. J., & Somasegaran, P. (1982). Comparison of the Pour,

- Spread, and Drop Plate Methods for Enumeration of Rhizobium spp. in Inoculants Made from Presterilized Peat. *Applied and environmental microbiology*, 44(5), 1246–1247. <https://doi.org/10.1128/aem.44.5.1246-1247.1982>
- ICMSF. [Ottawa]., I. C. on M. S. for F. Microorganismos de los Alimentos 1: Su significado y Métodos de Enumeración. Editor. Acribia (2002).
- Kadlec, R. H., & Wallace, S. (2008). *Treatment wetlands*. CRC press.
- Koncagul, E. Connor, R (2023). Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2023: alianzas y cooperación por el agua; datos, cifras y ejemplos de acción – UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/ark/48223/pf0000384659_spa
- Leiva, A. M., Núñez, R., Gómez, G., López, D., & Vidal, G. (2018). Performance of ornamental plants in monoculture and polyculture horizontal subsurface flow constructed wetlands for treating wastewater. *Ecological Engineering*, 120, 116-125. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.05.023>
- Lizarazo Becerra, J y Orjuela Gutiérrez, M. (2013). *Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia*.
- Marín, JL. (2018). Humedales construidos en México para el tratamiento de aguas residuales, producción de plantas ornamentales y reusó del agua. Agro productividad, <https://api.core.ac.uk/oai/oai:ojs.pkp.sfu.ca: article/1028>
- Marín, JL, Zitácuaro, I & Et al. (2023). Análisis bibliométrico de humedales artificiales con plantas con flores ornamentales: la importancia de la tecnología verde. *Procesos*, 11 (4), 1253. MDPI AG. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.3390/pr11041253>
- Mariño, CE. (2021). Evaluación de la eficiencia de desinfección de los humedales artificiales de la estación depuradora de aguas residuales de Carrícola (Valencia). Universitat Politècnica de Valencia. <http://hdl.handle.net/10251/177674>
- Meléndez, F. A., Descalzo, E. N. E., Pérez, J. E. L., Castillo, R. A. Z., & López, M. A. Y. (2022). DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISAS CLARAS PARA REUSO COMO AGUA DE REGADÍO. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 88(1), Article 1. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v88i1.375>

Min ambiente (2015). Resolución 631 de 2015. <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-631-de-2015/>

Poor, C., Burrill, K., & Jarvis, M. (2022, August). Development of a Low-Cost Constructed Wetlands Experiment. In *2022 ASEE Annual Conference & Exposition*.

Sandoval, L., Zamora-Castro, S. A., Vidal-Álvarez, M., & Marín-Muñoz, J. L. (2019). Role of Wetland Plants and Use of Ornamental Flowering Plants in Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Review. *Applied Sciences*, 9(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/app9040685>

Scanlon, BR; Fakhreddine, S.; Reedy, RC; Yang, Q.; Malito, JG (2022). Factores que influyen en la variabilidad espaciotemporal de la calidad del agua potable en los Estados Unidos. *Environ. Sci. Technol.* 56 , 12965–12974

Shukla, A., Parde, D., Gupta, V., Vijay, R., & Kumar, R. (2022). A review on effective design processes of constructed wetlands. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(12), 12749-12774.

Singh, N. & Anand, S. B. T.-R. M. in F. S. Analytical Methods | Microbiological. in Reference Module in Food Sciences 1–8 (Elsevier, 2020).
doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.23005-9>

Resolución 1207 de 2014. Se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/7.-Anexo-7-Resolucion-1207-de-2014.pdf>

Resolución 1256 de 2021. se reglamenta el uso de las aguas residuales y se adoptan otras disposiciones. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/12/Resolucion-1256-de-2021.pdf>

Rodriguez, M. et al (2020). Constructed Wetlands in Latin America and the Caribbean: A Review of Experiences during the Last Decade" *Water* 12, no. 6: 1744. <https://doi.org/10.3390/w12061744>

Vargas, A. Calderón, J. & Et al. (2020). Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 28(2), 315- 322. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052020000200315>.

- Triviño-Pineda, J. S., & Sánchez Ramírez, J. E. (2023). Wastewater treatment systems in colombia: A systematic review of advanced oxidation processes for the removal of microbial agents. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8, 100470. 10.1016/j.cscee.2023.100470
- Veliz Lorenzo, E., Llanes Ocaña, J. G., Asela Fernández, L., & Bataller Venta, M. (2009). Reúso de aguas residuales domesticas para riego agrícola. Valoración crítica. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 40(1), 35-44.
- Vymazal J., & Kröpfelová, L. (2009). Removal of organics in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow: a review of the field experience. *Science of the total environment*, 407(13), 3911-3922. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896970800867X>
- Wang Q, et al. (2018). Humedales artificiales: una revisión sobre el papel de la pérdida radial de oxígeno en la rizosfera por micrófitos. *Agua*, 10(6), <https://doi.org/10.3390/w10060678>

Apéndices

Apéndice A. Resultados de Laboratorio Hidrolab



Informe de Análisis 250974/2024.0

Cotización: C5599/2024.1



(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: 10/05/2024 14:59

Identificación del Cliente	
Cliente: SALUD EN TUS MANOS LTDA	NIT: 900251519-1
Dirección: CARRERA 11 No. 19-47 - Girardot - Cundinamarca - Colombia	
Contacto: Andrea Palomino	Teléfono: 3043996823

N° Muestra: 250974-1/2024.0 - Id: 1165192 - ARD - Agua Residual - Muestreo Compuesto 12 H	
Matriz: Agua residual	
Término de muestreo: 23/04/2024 19:00	Fecha de Recepción: 24/04/2024 16:03
Punto de muestreo: -	Dirección de muestreo: Cra 19 No. 24 - 209
Muestreado por: Cliente	Departamento: Cundinamarca
Ciudad: Girardot	Tipo de muestreo: Compuesto 12 h

Resultados Analíticos				
Análisis Acreditados				
Parámetro	Resultado	LQ	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Demanda Bioquímica de Oxígeno	439 mg/L	2 mg/L	SM 5210 B, 4500-O G	24/04/2024 16:30
Demanda Química de Oxígeno	699 mg/L	2 mg/L	SM 5220 D	25/04/2024 13:30
Determinación de Coliformes totales	1,2E+8 NMP/100 mL	1,0 NMP/100 mL	SM 9223 B	24/04/2024 16:30
Determinación de Escherichia coli	8,2E+7 NMP/100 mL	1,0 NMP/100 mL	SM 9223 B	24/04/2024 16:15
Fósforo	3,1 mg P/L	1 mg P/L	SM 4500 P B, C	25/04/2024 15:20
Nitrato	7,3 mg N/L	0,3 mg N/L	SM 4500 NO3 D	25/04/2024 15:36
Nitró	< 0,01 mg N/L	0,01 mg N/L	SM 4500 NO2 B	24/04/2024 16:30
Nitrógeno amoniacal	59,4 mg N/L	1 mg N/L	SM 4500 NH3 B, C	25/04/2024 11:46
Nitrógeno total Kjeldahl	211 mg N/L	5 mg N/L	SM 4500 Norg C Modificado, 4500 NH3 B, C	25/04/2024 13:47
Sólidos suspendidos totales	119 mg/L	5 mg/L	SM 2540 D	25/04/2024 09:47

Análisis No Acreditados				
Parámetro	Resultado	LQ	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Nitrógeno total	218 mg N/L	5 mg N/L	---	02/05/2024 08:30

Notas

Hidrolab declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió.
Resultados válidos únicamente para la muestra analizada. Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.
LQ: Límite de cuantificación.
Acreditado por IDEAM- Resolución N° 2242 del 10 Octubre de 2022.

Apéndice B. Imágenes de toma de datos

