



UNICESAR
UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA

AMBIENTAL Y SANITARIA



Ingeniería
Ambiental y Sanitaria

**EVALUACIÓN EN LA REMOCIÓN DE METALES PRESENTES EN LIXIVIADOS
A TRAVÉS DE LA ESPECIE ELCHHORNIA CRASSIPESMART EN EL RELLENO
SANITARIO LOS CORAZONES DEL MUNICIPIO DE VALLEDUPAR.**

AUTORES

DERLYS MAYESSY DAZA CASTRILLON

ANABEL JUNCO CASTRILLON

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLÓGICAS

**DEPARTAMENTO DEL PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
SANITARIA**

VALLEDUPAR – CESAR

2022 – I



**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



**EVALUACIÓN EN LA REMOCIÓN DE METALES PRESENTES EN LIXIVIADOS
A TRAVÉS DE LA ESPECIE ELCHHORNIA CRASSIPESMART EN EL RELLENO
SANITARIO LOS CORAZONES DEL MUNICIPIO DE VALLEDUPAR.**

AUTORES

DERLYS MAYESSY DAZA CASTRILLON

ANABEL JUNCO CASTRILLON

DIRECTOR

JOSÉ MAURICIO PÉREZ ROYERO

CO-DIRECTORA

KARINA PAOLA TORRES CERVERA

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLÓGICAS

**DEPARTAMENTO DEL PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
SANITARIA**

VALLEDUPAR – CESAR

2022-I

Dedicatoria

Dedico este trabajo principalmente a DIOS, por haberme dado la vida, sabiduría y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi madre, Carmen Rocio Castrillón Aguilera por sacrificarse de tal manera por sus cuatros hijos, brindarnos educación, apoyo cada día sin importar las diferencias de opiniones y los más importante darnos su amor incondicional, gracias por estar ahí, este logro es tuyo mami.

A mi padre, Abel José Junco Martínez que, a pesar de la distancia, siempre ha estado para nosotros y sé que este momento es tan especial para ti como para mí.

A mis hermanos, por ser un apoyo fundamental en todo este proceso, por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuestos ayudarme en cualquier momento.

Por último, pero no menos importante, a todas estas personas, estén o no todavía en mi vida, pero que de una forma u otra contribuyeron a la finalización de mis estudios.

¡Muchas Gracias A Todos!

Anabel Junco Castrillón



Dedicatoria

A DIOS primero que todo. A mis queridos padres Antonio Daza y Disneyrs Castrillón por su apoyo incondicional, por la dedicación brindada en todas las etapas de mi vida, gracias por la confianza puesta en mí, darme amor y las guías necesarias para forjarme en camino correcto.

A mis hermanas, Liz, Yocelith y Yerlys, a mi hija Marypaz Ovalles y mis sobrinas por ser una fuente de inspiración para seguir superándome cada día más.

Amigos y compañeros de siempre, Anabel Junco, Adel Junco, Jesús Acosta, María Díaz Y María López quien no solamente estuvieron apoyándome durante toda mi etapa universitaria sino en cada instante de mi vida brindándome su amistad sincera.

Finalmente, agradezco a todas esas personas que de alguna manera me colaboraron en todo este proceso tanto universitario como en mi vida personal.

Derlys Daza Castrillón



Agradecimientos

En primer lugar, damos gracias a DIOS por darnos la oportunidad de culminar esta etapa de la vida y llegar hasta este momento tan importante.

Agradecemos especialmente a los ingenieros José Mauricio Pérez Royero y Karina Paola Torres Cervera por ser nuestros directores de proyecto y habernos brindado su ayuda y conocimiento ya que gracias a su guía fue posible este proyecto.

A los señores Luis Fernando Arias y Gabriel Carvajal por su ayuda desinteresada en todo este proceso sin su colaboración hubiera sido difícil.

Agradecemos profundamente a todos los demás docentes de la Universidad popular del Cesar que han estado presentes en todas las etapas de crecimiento y formación profesional. Gracias por compartir desinteresadamente su experiencia y conocimiento, lo que nos ha permitido completar con éxito esta fase y estar orgullosos de nuestra facultad y alma mater.

Anabel Junco Castrillón

Derlys Daza Castrillón



RESUMEN

Los lixiviados de los rellenos sanitarios son sustancias normales del resultado de la operación de estos, sin embargo, estas requieren de atención dado sus características fisicoquímicas que pueden llegar a contaminar el medio ambiente y afectar la salud humana. La metodología de estudio fue de tipo cuantitativo y el nivel de investigación experimental, se diseñó y construyó un humedal artificial en el cual después de cuatro semanas de adaptación se procedió con la caracterización del efluente con el fin de determinar la eficiencia del sistema evaluado. Dentro de los resultados se encontró que los principales parámetros no cumplían con la resolución 0631 del 2015 excepto para el caso de los metales pesados que sí estaban dentro de lo permitido. Una vez se puso en funcionamiento el humedal artificial se encontraron eficiencias de hasta el 95% en el caso del nitrógeno amoniacal y total, de 69% para DBO y DQO. En el caso de la eficiencia de remoción de metales pesados por parte de la especie (*Elchhornia Crassipesmart*) los resultados anteriores permiten evidenciar que los metales pesados Níquel y Zinc, lograron porcentajes de remoción con una eficiencia del 22,5% y del Zinc, con una eficiencia menor del 3,8%. En el caso de los metales Cadmio y Plomo, no hubo remoción de estos en el efluente, pues las concentraciones antes y después determinadas permanecieron en la misma proporción. Así mismo, se identificó que los metales no están superando las concentraciones permitidas por la resolución 0631 de 2015.

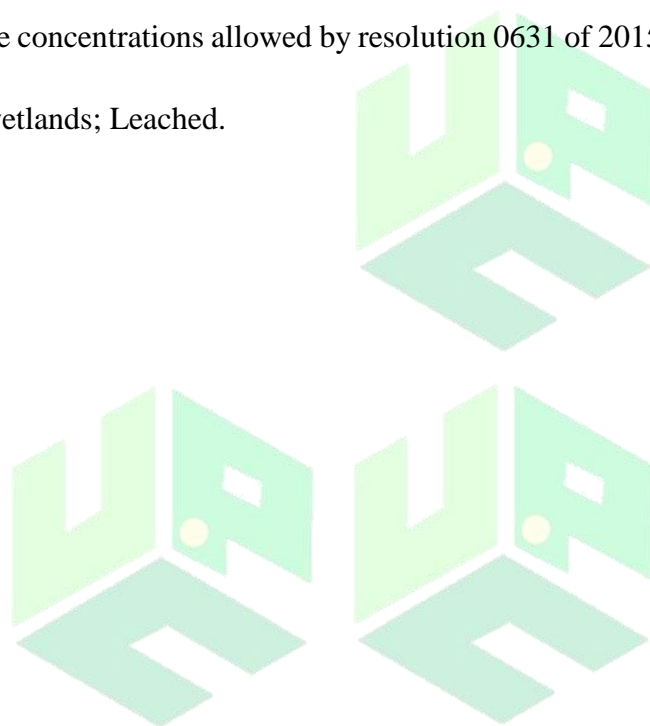
Palabras clave: Contaminación; Humedales artificiales; Lixiviados.



ABSTRACT

Leachates from landfills are normal substances resulting from their operation, however, they require attention given their physicochemical characteristics that can contaminate the environment and affect human health. The study methodology was quantitative, and the level of experimental research was designed and built an artificial wetland in which after four weeks of adaptation proceeded with the characterization of the effluent in order to determine the efficiency of the evaluated system. Among the results, it was found that the main parameters did not comply with resolution 0631 of 2015m, except for the case of heavy metals, which were within what is allowed. Once the artificial wetland was put into operation, efficiencies of up to 95% were found in the case of ammonia and total nitrogen, of 69% for BOD and COD. It is concluded that the artificial wetlands with the elchhornia crassipes smart species are efficient for the treatment of leachates from the Los Corazones de Valledupar sanitary landfill. In the case of the efficiency of removal of heavy metals by the species (Elchhornia Crassipes smart), the previous results show that the heavy metals Nickel and Zinc, achieved removal percentages with an efficiency of 22.5% and of Zinc, with an efficiency less than 3.8%. In the case of the metals Cadmium and Lead, there was no removal of these in the effluent, since the concentrations before and after determined remained in the same proportion. Likewise, it was identified that metals are not exceeding the concentrations allowed by resolution 0631 of 2015.

Keywords: Pollution; Artificial wetlands; Leached.



Contenido

	Pág.
RESUMEN	VI
ABSTRACT.....	VII
INTRODUCCIÓN	1
1. TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	4
4. OBJETIVOS	5
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	5
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
5. MARCO REFERENCIAL.....	6
5.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	6
5.2. MARCO TEÓRICO.....	8
5.2.1. Metales Pesados	9
5.2.2. Lixiviados	9
5.2.3. Composición De Los Lixiviados En Un Relleno Sanitario	9
5.2.4. Fitorremediación	10
5.2.4.1. Tipos De Fitorremediación.....	10
5.2.5. Jacinto De Agua Como Agente Fitorremediador.....	11
5.2.6. Humedales Artificiales.....	12
5.2.7. Ventajas De Los Humedales	12
5.2.8. Desventajas De Los Humedales	12
5.2.9. Componente De Un Humedal Artificial	13
5.2.10. Tipos De Humedales Artificiales.....	14

5.3. MARCO CONCEPTUAL	17
5.4. MARCO CONTEXTUAL	18
5.4.1. Área De Estudio	20
5.5. MARCO LEGAL.....	20
6. MARCO METODOLÓGICO.....	25
6.1 LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN	25
6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	25
6.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN	25
6.4 POBLACIÓN DE ESTUDIO	25
6.5 MUESTRA POBLACIONAL	25
6.6 DESARROLLO METODOLÓGICO	25
6.6.1 Etapa 1. Analizar las condiciones actuales de los parámetros físicos, químicos y de metales presente en los lixiviados generados en el relleno sanitario.	25
6.6.2 Etapa 2. Diseñar un humedal de flujo subsuperficial horizontal a escala laboratorio con la especie (Elchhornia Crassipesmart).....	29
6.6.3 Etapa 3. Determinar la eficiencia de remoción de metales presentes en los lixiviados mediante el tratamiento con la especie (Elchhornia Crassipesmart).....	32
7. . RESULTADOS Y ANÁLISIS	33
7.1 ANALISIS DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y DE METALES PRESENTE EN LOS LIXIVIADOS GENERADOS EN EL RELLENO SANITARIO.	33
7.2 DISEÑO DE UN HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL A ESCALA LABORATORIO CON LA ESPECIE (ELCHHORNIA CRASSIPESMART). 37	
7.3 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE METALES PRESENTES EN LOS LIXIVIADOS MEDIANTE EL TRATAMIENTO CON LA ESPECIE (ELCHHORNIA CRASSIPESMART).	44

8. CONCLUSIONES	50
9. RECOMENDACIONES.....	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53



INTRODUCCIÓN

Los humedales artificiales se pueden definir como sistemas biológicos confinados mediante algún tipo de impermeabilización, que surgen a partir de la simulación de los mecanismos propios de los humedales naturales para la depuración de las aguas, donde se combinan procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren al interactuar las aguas con el suelo, las plantas, los microorganismos y la atmósfera. dando lugar a la aparición de procesos de sedimentación, filtración, adsorción, degradación biológica, fotosíntesis, fotooxiación y toma de nutrientes por parte de la vegetación. (Mena, 2010).

Estos métodos suelen ser menos costosos y sofisticados en cuanto a operación y mantenimiento que los convencionales. Aunque dichos procesos requieren mayores extensiones de terreno en comparación con los de tipo intensivo, suelen ser igualmente eficaces en la eliminación de materia orgánica e incluso más efectivos en la remoción de elementos patógenos y nutrientes. Por otra parte, el consumo energético suele ser mínimo y su costo de mantenimiento muy bajo, requiriendo también personal menos especializado. (Delgadillo et al., 2010).

Los lixiviados pueden ser definidos como el líquido generado por la descomposición de un residuo sólido que contiene cierto porcentaje de humedad o como el fluido resultante del contacto entre un residuo sólido y el agua, que, a su vez, queda con características fisicoquímicas similares a las del residuo sólido (Giraldo, 2014). La importancia de comprender el grado de contaminación del lixiviado y de su impacto en el ambiente, radica en caracterizarlo de manera precisa para conocer su composición en términos de parámetros o variables que pueden generar un impacto negativo.

En este caso de estudio, se presenta la aplicación de un humedal artificial para el tratamiento del efluente de lixiviados del relleno sanitario los corazones, como tecnología de bajo costo, utilizando la especie *elchhornia crassipes* smart por ser fácilmente adaptables a las condiciones climáticas de la zona de estudio y su gran eficacia en la absorción de nutrientes, se pudo concluir a partir de los resultados que es eficiente la utilización de este humedal dado que se encontraron eficiencias de hasta el 95% en el caso del nitrógeno amoniacal y total, de 69% para DBO y DQO.

1. TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN

**EVALUACIÓN EN LA REMOCIÓN DE METALES PRESENTES EN
LIXIVIADOS A TRAVÉS DE LA ESPECIE ELCHHORNIA CRASSIPESMART EN EL
RELLENO SANITARIO LOS CORAZONES DEL MUNICIPIO DE VALLEDUPAR.**

2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los rellenos sanitarios son uno de los métodos más conocidos para la disposición de los residuos sólidos, incluso hoy en día es uno de los más utilizados en el mundo ya que han demostrado ser económicos en términos de aprovechamiento y disposición final de los residuos (Renou et al., 2008). Sin embargo, a partir de la operación y/o funcionamiento del relleno sanitario se producen los lixiviados, siendo estos el resultado de la percolación de líquidos (precipitación) a través de los desechos durante procesos de estabilización, es decir, líquidos que brotan hacia la superficie o se infiltran hacia el terreno donde se encuentra instalado un vertedero de residuos (Méndez et al., 2009); estos contaminantes líquidos presentan altas concentraciones de demanda química de oxígeno (DQO), carbono orgánico total, así como de sólidos totales, metales pesados, nitrógeno amoniacal, cloruros, fenoles, bifenilos policlorados, dioxinas entre otros, de manera que estos se hallan estrechamente relacionados con la contaminación de afluentes cercanos, o bien a la infiltración a las capas inferiores de terreno y la contaminación de mantos acuíferos (Jerez, 2013).

Concretamente el problema de los metales pesados es que no pueden ser degradables y, una vez depositados, permanecerán en el medio acuático prácticamente sin ningún cambio cualitativo. La gran importancia de este grupo de elementos sobre el medio ambiente radica en su resistencia a la biodegradación, su tendencia a la bioacumulación en los organismos y, en ciertos casos, a su elevada toxicidad a bajas concentraciones, constituyendo, por tanto, un riesgo muy destacado para la flora y la fauna (El Mai, 2013).

Siendo más específicos y teniendo en cuenta los metales de estudio, el cadmio afecta negativamente los procesos de respiración y fotosíntesis, el transporte de agua, la absorción de potasio, hierro y manganeso. La presencia de formas iónicas libres de Cd en el citoplasma es tóxica. Por otra parte, el níquel puede causar alergias dérmicas, incluso cáncer de las vías respiratorias y en la fauna puede tener efectos adversos graves. La toxicidad de Pb en las plantas está asociada a reducción de la tasa de germinación y crecimiento radicular, reducción de la tasa fotosintética y bajo rendimiento en la producción de biomasa; en los humanos, el efecto nocivo del Pb se ha asociado con daños neurológicos, especialmente por sus efectos negativos en el aprendizaje de los niños. Su acumulación se observa principalmente en los huesos. (Sánchez, 2010). En las plantas, el Zn influye sobre los procesos fotosintéticos, interviene en el crecimiento y la fisiología de la planta, actúa inhibiendo la fijación de CO₂, el transporte de

los hidratos de carbono en el floema y altera la permeabilidad de la membrana celular (Casierra & Poveda, 2005).

De acuerdo con información suministrada por Aseo del Norte S.A y citado por Trujillo, Quintero y Vega (2020) los lixiviados del vertimiento final del relleno sanitario los corazones presentan valores de DBO5, DQO, nitrógeno amoniacal, SST, sulfatos con concentraciones por encima de lo estipulado en la resolución 0631 del 2015. Además, de acuerdo con reportaje del diario El Pílon en el 2017 se presentó una emergencia debido a que los vertimientos de lixiviados del relleno sanitario estarían llegando al arroyo Aguas Blancitas, que atraviesa el corregimiento Los Corazones, lo cual representó un impacto negativo para la vida acuática del ecosistema en mención.

Consecuente con lo anterior, surge la urgente necesidad de poder aplicar un tratamiento con la especie *elchornia crassipesmart* que tiene como beneficio remover ciertos parámetros fisicoquímicos y metales para estos lixiviados. A continuación, se plantea la siguiente pregunta de investigación.

¿Cuál es la capacidad de remoción de metales presentes en lixiviados a través de la especie *elchornia crassipesmart* en el relleno sanitario los corazones del municipio de Valledupar?

3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La depuración de lixiviados a través de los distintos sistemas de tratamiento convencionales involucra un alto costo tanto en construcción como en operación y a pesar de esto, en muchos casos los porcentajes de remoción de contaminantes son deficientes (Guevarra et al., 2014), es decir que siguen los lixiviados constituyéndose como un problema significativo por las consecuencias que genera, por tal motivo es imperativo buscar soluciones mediante métodos de tratamiento no convencionales que sean eficientes, de bajo costo y amigables con el medio ambiente.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado surge la fitorremediación como un tipo de tratamiento que aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo. Estas fitotecnologías ofrecen numerosas ventajas en relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad, por ejemplo, su amplia aplicabilidad y bajo costo (Delgadillo et al., 2011). Además, no requiere personal especializado para su manejo ni consumo de energía, es poco perjudicial para el ambiente, no produce contaminantes secundarios y por lo mismo no hay necesidad de lugares para desecho, tiene una alta probabilidad de ser aceptada por el público, ya que es estéticamente agradable, evita la excavación y el tráfico pesado. (Núñez et al., 2004).

Por último, la realización de este estudio tiene un impacto significativo por la intención de preservar las condiciones ambientales de los cuerpos de agua y suelos aledaños al relleno sanitario los corazones, pero, además, permitirá que la empresa que regula o administra el relleno sanitario pueda cumplir totalmente con las concentraciones en los parámetros que exige la normatividad ambiental vigente (resolución 0631 del 2015) evitando sanciones legales interpuestas por las autoridades ambientales competentes.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la remoción de metales presentes en lixiviados a través de la especie elchhornia crassipesmart en el relleno sanitario los corazones del municipio de Valledupar.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analizar las condiciones actuales de los parámetros físicos, químicos y de metales (Níquel, Cadmio, Zinc Y Plomo) presente en los lixiviados generados en el relleno sanitario.

Diseñar un humedal de flujo subsuperficial horizontal a escala laboratorio con la especie (Elchhornia Crassipesmart)

Determinar la eficiencia de remoción de metales presentes en los lixiviados mediante el tratamiento con la especie (Elchhornia Crassipesmart).

5. MARCO REFERENCIAL

Algunos de los estudios relacionados con la presente investigación se reseñan seguidamente, con el propósito de conformar un cuerpo de saberes previos que den cuenta del estado del arte en cuanto al tratamiento de los lixiviados a través de la fitorremediación

5.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Trujillo, Quintero y Vega (2019) realizaron una investigación titulada tratabilidad de los lixiviados del relleno sanitario los corazones de la ciudad de Valledupar mediante el uso de carbón activado se diseñaron y construyeron dos reactores, uno continuo y discontinuo, analizando variables como dosis, tiempo de contacto y PH, con el fin de comparar y obtener el mayor rendimiento en la remoción de carga orgánica (DQO) de los lixiviados en estudio Para reactores discontinuos con lixiviado crudo se obtuvieron resultados de un 67% de remoción de materia orgánica. Modificando el PH a 3, se obtuvieron resultados de un 80% de remoción de materia orgánica, obteniendo a su vez las mejores condiciones de remoción de DQO en el modelo de flujo discontinuo empleando dosis de 100g/l con tiempos de contacto de 90 minutos. Mientras que el reactor continuo utilizó con caudal de 6 ml/min, tiempo de retención hidráulico de 90 min, dosis utilizada de 640g de carbón activado, donde se ensayó con lixiviado crudo obteniéndose remociones de carga orgánica del 83%, ajustando el pH a 3 se obtuvo remociones del 97%.

Esta investigación se toma como referencia por dos razones, la primera porque los lixiviados tratados son del mismo relleno sanitario en el que se centra este estudio, y, la segunda razón es porque pese a que usar una tecnología de tratamiento diferente esto servirá para generar debate logrando así una discusión de resultados completa.

Díaz y Camacho (2017) realizaron una investigación titulada determinación de la eficiencia de remoción de dos humedales artificiales a través de los medios filtrantes (carbón activado bituminoso y de cascara de coco) y el junco para optar por el título de ingeniero ambiental y sanitario de la Universidad Popular del Cesar. Fue necesario diseñar y construir dos humedales artificiales; el Humedal con medio filtrante de carbón Bituminoso tuvo eficiencias de remoción de DBO5 (53 %), SST (71 %), DQO (62 %), Coliformes totales (95 %) y Coliformes fecales (97 %); la eficiencia del de carbón de concha de coco fue de DBO5 (46 %), SST (58 %), DQO (58 %), Coliformes totales (93 %) y Coliformes Fecales (92 %). El diseño experimental permitió concluir que el humedal con medio filtrante de carbón

bituminoso fue más eficiente para los parámetros DBO5 Y SST que el humedal con medio filtrante de concha de coco; mientras que para los parámetros DQO coliformes fecales y totales no hubo diferencia significativa entre los dos tratamientos.

Chávez, Pinzón y Casallas (2016) realizaron un estudio titulado fitorremediación como un proceso de descontaminación para lodos de lixiviado provenientes de rellenos sanitarios. En primer lugar, se tomaron muestras de lixiviado del relleno sanitario Doña Juana con el fin de determinar la presencia y concentración del cromo, plomo, mercurio y cadmio. Luego, se diseñaron y construyeron los reactores de fitorremediación utilizando dos especies vegetales como la yuca (*Manihot esculenta*) y el rábano (*Raphanus sativus*), este sistema estuvo operando durante cuatro meses, completado este tiempo se valoraron nuevamente las concentraciones de los metales en estudio. Los resultados fueron los siguientes: para la especie vegetal de yuca, el cadmio, cromo, plomo y mercurio tuvieron eficiencias de remoción del 30%, 10%, 50% y 25% respectivamente; en cambio, para la especie vegetal rabano, las eficiencias fueron 10% para cadmio, 40% para cromo, 20% para plomo y 10% para mercurio. Se pudo concluir que, aunque las dos especies son muy eficientes tratando los lixiviados, la especie vegetal de yuca presenta una más alta remoción en la concentración de los metales.

Este estudio se toma como referencia porque define las concentraciones de los metales pesados que también serán objeto de estudio en esta investigación, lo cual permitirá comparar la eficiencia de las especies vegetales de este estudio con el citado.

Arevalo et al., (2016) realizaron una investigación titulada análisis de la capacidad de depuración de *eichhornia crassipes*, *crysopogon zizanioides* y *typha latifolia*, respecto a parámetros fisicoquímicos de lixiviados del relleno sanitario el guayabal utilizando humedales artificiales. La evaluación del sistema consto de un periodo de 10 semanas, con un tiempo de retención de 5 días para cada uno de los sistemas, en los cuales se analizaron in situ los parámetros diarios pH, temperatura, TDS y conductividad; se tomaron muestras semanales para el análisis en el laboratorio de los parámetros acidez, alcalinidad, dureza, DBO5, solidos totales, solidos disueltos totales, solidos suspendidos volátiles, DQO, grasas y aceites, nitrógeno amoniacal, nitritos, sulfatos y fosfatos; muestras al inicio y final del proyecto para el análisis de los parámetros metales pesado, coliformes totales y fecales. Respecto a los resultados, al comprar la resolución 0631 del 2015 con los lixiviados, el pH, DBO, DQO, Grasa y aceites, sulfatos se encuentran por encima de la normatividad. Los porcentajes de remoción

del junco eichhornia crassipes fueron de acidez (88 mg/LCaCO₃), alcalinidad (80 mg/LCaCO₃), dureza (93 mg/LCaCO₃), DBO (20 mg O₂/L), DQO (30 mg O₂/L), Grasas y aceites (63 mg/l), nitrógeno amoniacal (82 mg/l), sulfatos (75 mg/L), coliforme fecales (70 UFC/100 ml) y coliforme totales (68 UFC/100 ml). Tras el periodo de monitoreo se determinó que la especie vegetal Typha latifolia alcanzó los valores máximos de remoción en la mayoría de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados; de manera semejante Crysopogon zizanioides tuvo remociones con una diferencia mínima inferior, mientras que el junco tuvo los porcentajes de remoción más bajo que las dos otras especies ya mencionadas.

Se tomó esta investigación como referencia por cuanto se utiliza la misma especie vegetal que la que se pretende usar en este estudio, de esta manera se podrá realizar una confrontación entre las eficiencias obtenidas por la misma.

Jerez (2013) realizó una investigación titulada Remoción de metales pesados en lixiviados mediante fitorremediación para optar por el título de Licenciado en Química de la Universidad Rodrigo Facio de Costa Rica. El primer paso fue la caracterización de los lixiviados, luego se sometieron tres plantas a las condiciones en las cuales debía operar con el lixiviado de esta manera el girasol (Helianthus annuus) y el marigold (Tagetes erecta) no toleran las condiciones, sin embargo, el frijol de gandul (Cajanus cajan) sí toleró por lo cual fue la especie vegetal escogida para los ensayos de remediación. Se realizaron pruebas de toxicidad y de hiperacumulación de cadmio, cobre, cromo, níquel y plomo utilizando esta especie. De estos metales, el primero resultó ser potencialmente tóxico, mientras que para los demás se obtuvieron resultados de acumulación en la planta de (3400 ± 100) mg/kg para el caso del cobre, (1000 ± 100) mg/kg para el cromo, (460 ± 40) mg/kg para el níquel, mientras que (1600 ± 100) mg/kg para el plomo. Los resultados mostraron que es posible disminuir entre (36,6 – 46,0) % de cromo y entre (31,6 – 46,7) % del plomo contenidos en el medio acuoso y el nitrógeno contenido en los lixiviados disminuyó en un 80,4%.

5.2. MARCO TEÓRICO

Referir los antecedentes nacionales e internacionales nos permite una perspectiva desde otras investigaciones que poseen un tema similar al que presentamos. En este sentido, referenciarlos constituye elaborar un sustento teórico que consiente crear una base de autores pertinentes al fenómeno que se estudia, coadyuvando los aportes previos con lo que ahora se consuman en este apartado.

5.2.1. Metales Pesados

En química, “metal pesado” se refiere a un tipo de elementos químicos, muchos de los cuales son tóxicos para los seres humanos, pues presentan mayor peligro ambiental debido a su uso extensivo, a su toxicidad y a su amplia distribución. Ninguno ha prevalecido aun en el medio ambiente en tal extensión como para constituir un peligro amplio. Sin embargo, se está descubriendo que cada uno de ellos ocurre a niveles tóxicos en ciertos lugares. Los metales difieren de los compuestos orgánicos tóxicos en que son totalmente no degradables, con lo que se acumulan en los sistemas ambientales, de ahí su toxicidad. Los últimos sumideros de los metales pesados son los suelos y sedimentos. (Sandoval, 2019).

5.2.2. Lixiviados

La definición legal para Colombia de lixiviado es: “sustancia líquida, de color amarillo y naturaleza ácida que supura la basura o residuo orgánico, como uno de los productos derivados de su Sustancia líquida, como uno de los productos derivados de su descomposición.” (Ley 1259 de 2008). Los líquidos residuales producidos en un Relleno Sanitario están en función de múltiples factores relacionados con las condiciones climáticas, el diseño y operación del Relleno y la composición de la basura. El caudal generado varía de acuerdo con el estado de avance y el tipo de operación del Relleno y la composición también varía en el tiempo. (Romero et al., 2020).

5.2.3. Composición De Los Lixiviados En Un Relleno Sanitario

Según Gómez (2018), la composición de los lixiviados generados en un relleno sanitario, varía en función de la clase de residuos dispuestos, el grado de descomposición y la cantidad de estos. La fracción líquida que se genera por la degradación de los residuos sólidos en un relleno sanitario, contiene cierta concentración de contaminantes orgánicos e inorgánicos, los cuales se pueden catalogados de la siguiente manera:

- 1) Materia orgánica diluida: (demanda química de oxígeno, carbono orgánico total, ácidos grasos volátiles, ácidos húmicos y fúlvicos)
- 2) Macro orgánicos: (calcio, magnesio, sodio, potasio, amonio, hierro, manganeso; cloro sulfato, bicarbonatos)
- 3) Metales pesados: (cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel zinc)

4) Compuestos xenobióticos: (hidrocarburos aromáticos, fenoles, alifáticos clorados, pesticidas). otros compuestos presentes en los lixiviados, pero en bajas cargas son los sulfuros, arsenatos, boratos, selenatos, bario, litio y cobalto.

5.2.4. Fitorremediación

La fitorremediación es la técnica en la cual se hace uso de vegetación, mecanismos biológicos, químicos y mecánicos (operaciones unitarias) para poder estabilizar o reducir contaminación. Las plantas absorben esencialmente los contaminantes mientras crecen y viven. A menudo, se incineran las plantas etiquetadas para su disposición y sus cenizas son tratadas como residuos peligrosos (Hernández & Luna, 2016).

Los mismos autores afirman que las especies de plantas que se utilizan en esta técnica son seleccionadas basándose en factores, tales como: capacidad de extraer o degradar contaminantes, adaptación a los climas locales, cantidad de biomasa, estructura de profundidad radicular, compatibilidad con los suelos, tasa de crecimiento, facilidad de mantenimiento y siembra y por último la capacidad de absorber grandes cantidades de agua a través de sus raíces. Esta técnica puede ser aplicada para enfoques tales como: agua superficial, aguas subterráneas, suelos, lodos y sedimentos. Por lo cual, es cada vez más explotada para usos de tratamientos de agua y agua residual, y juega un papel importante para proyectos de infraestructura verde.

5.2.4.1. Tipos De Fitorremediación

Según Rojas y Suyón (2020), hay varios tipos de fitorremediación que se describen a continuación:

Fitoextracción: las plantas se utilizan para concentrar metales en las partes cosechadas (principalmente la parte aérea).

Rizofiltración: las raíces de las plantas se utilizan para adsorber, precipitar y concentrar metales pesados de efluentes líquidos contaminados.

Fitoestimulación: los exudados de la raíz se utilizan para promover el desarrollo de microorganismos degradantes (bacterias y hongos).

Fitoestabilización: las plantas tolerantes a metales se utilizan para reducir su movilidad y evitar el paso del aire.

Fitotransformación: Se divide en:

Fitodegradación: las plantas acuáticas y terrestres capturan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos no tóxicos o menos tóxicos.

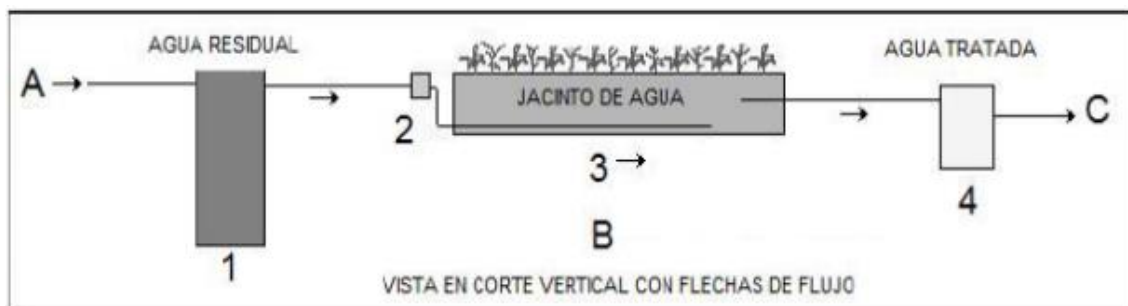
Fitovolatilización: las plantas capturan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera a través de la transpiración.

5.2.5. *Jacinto De Agua Como Agente Fitorremediador*

Un cultivo de jacinto de agua tiene una gran eficiencia en la fitorremediación de aguas residuales, este proceso tiene un costo menos al de purificación mediante sustancias químicas, el buchón de agua con una gran capacidad de absorción logra filtrar aguas contaminadas, los elementos que el lirio de agua absorbe con mayor eficiencia son el plomo, mercurio, detergentes y otras sustancias metálicas, incluso hidrocarburos. Su principal ventaja como instrumento descontaminado consiste en su reproducción rápida, tiene muy poca tolerancia al clima frío por lo que este tratamiento del agua tendrá mayor eficacia en lugares de clima cálido o templado. Estos sistemas no están explotados en todo el mundo y su utilización no es muy frecuente. (Porras, 2017).

Figura 1.

Esquema general de la eficiencia del (Jacinto de agua).



Fuente: Porras (2017)

Porras (2017), considera que el jacinto de agua tiene una alta adaptabilidad y productividad por consiguiente es utilizado en cuerpos de agua contaminados con materiales orgánicos, ricos en compuestos nitrogenados, fosfatados y de escasa circulación, tiene una productividad de hasta 199 toneladas de peso seco al año teniendo un ambiente con altos niveles de nutrientes, y otros estudios reflejan que puede tratar hasta 90 toneladas al año, siendo verano la época de mejor crecimiento. Muchos estudios en los últimos tiempos consideran al *Elchhornia Crassipesmart* por su eficiencia al momento de tratar aguas residuales. Se ha

demostrado que esta especie puede reducir de manera significativa la demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos, metales, contaminantes orgánicos como cloroformo y fenoles, y nitrógeno, la NASA ha realizado estudios del bichón teniendo resultados muy favorables para investigación en otros planetas.

5.2.6. Humedales Artificiales

Mena (2010), En concreto, una alternativa importante son los humedales artificiales que se pueden definir como sistemas biológicos confinados mediante tipo de impermeabilización, que surgen a partir de la simulación de los mecanismos propios de los humedales naturales para la depuración de las aguas, donde se combinan procesos físicos, químicos y biológicos, que ocurren al interactuar las aguas con el suelo, las plantas, los microorganismos y la atmósfera, dando lugar a la aparición de procesos de sedimentación, filtración, adsorción, degradación biológica, fotosíntesis, fotooxidación y toma de nutrientes por parte de la vegetación.

5.2.7. Ventajas De Los Humedales

- Proporcionan un tratamiento eficaz, eliminando de las aguas residuales un amplio espectro de contaminantes: materia orgánica, nutrientes, microorganismos patógenos, metales pesados, etc.
- Sus costes de inversión, operación y mantenimiento son significativamente menores que los de los sistemas convencionales de tratamiento.
- Proporcionan un tratamiento secundario y/o terciario produciendo un agua reutilizable en muchos casos.
- El aporte de oxígeno es espontáneo.
- No generan fangos.
- Aguantan bien las fluctuaciones de caudal o de carga contaminante.

5.2.8. Desventajas De Los Humedales

- En países con clima templado durante el invierno disminuye la efectividad de depuración de estos sistemas, sobre todo en la eliminación de nitrógeno.
- La eliminación de fósforo es baja y disminuye con el tiempo.
- Requieren grandes extensiones de terreno para alcanzar resultados satisfactorios.

- No pueden ser alimentados directamente con aguas residuales de altas cargas orgánicas o de sólidos suspendidos. Requieren pretratamientos, al menos, para eliminar un exceso de sólidos suspendidos que podría provocar la obturación del lecho en poco tiempo.

5.2.9. Componente De Un Humedal Artificial

Agua:

El agua es la fase móvil dentro del humedal, la encargada del transporte de los contaminantes y en la cual se van a producir la mayoría de las reacciones responsables de la depuración. Las condiciones hidrológicas afectan a muchos factores abióticos, incluyendo el estado oxidativo del lecho, la disponibilidad de los nutrientes y la salinidad. Estos factores abióticos, a su vez, determinan qué seres vivos van a desarrollarse en el humedal. (Mena, 2010).

Medio filtrante:

- Actúan como barrera primaria de tamizado
- Actúan como estructura soporte de las plantas y como superficie para el crecimiento y desarrollo de la masa microbiana.
- La permeabilidad del relleno afecta al movimiento del agua a través del humedal (Mena, 2010).
- Facilitan los mecanismos de adsorción e intercambio iónico entre el agua residual y los componentes minerales del suelo.
- Favorecen la precipitación química de contaminantes disueltos, por ejemplo, precipitación de fosfatos con calcio, aluminio o hierro contenido en el relleno. (Molle et al., 2003)

Vegetación:

- Las plantas contribuyen a estabilizar el cauce, influyen en la conductividad hidráulica del terreno, distribuyen y ralentizan la velocidad del agua, lo que favorece la sedimentación de los sólidos suspendidos y aumenta el tiempo de contacto entre el agua y la vegetación (Pettecrew & Kalff, 1992).
- Toman el carbono, nutrientes, y elementos de traza y los incorporan a los tejidos de la planta (Vymazal et al., 1998).
- Compactan el lecho dotándolo de estabilidad.

- La influencia de las raíces de las plantas es bastante grande. Alrededor de las raíces, existen gradientes de muchas de las especies químicas presentes en el agua (Kadlec & Knight, 1996).
- Éstos son atribuibles a la extracción de nutrientes y de otras sustancias por las plantas hacia su sistema de raíces. Esto agota las sustancias disueltas en el agua.

5.2.10. Tipos De Humedales Artificiales

Son muy diversas las clasificaciones que existen en la identificación de humedales, (Vizamal et al., 1998) sugiere una clasificación de acuerdo con la característica de vegetal predominante en los lechos así:

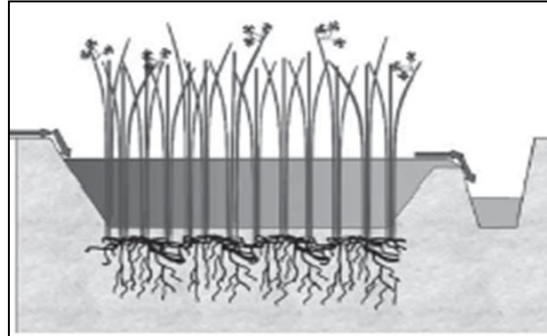
- Humedales contruidos, basados en saprófitas flotantes. Ej. Eichhornia crassipes, lemna minor.
- Humedales contruidos, basados en macrófitas de hojas flotantes. Ej.: Nymphaea alba, Potamogeton gramineus.
- Humedales contruidos, con macrofitas sumergidas. Ej.: Littorella uniflora, Potamogeton crispus.
- Humedales contruidos, con macrófitas emergentes. Ej.: Thypa latifolia, Phragmites australis, Vetiveria zizanoides.

Arias y Brix (2003) propone una subdivisión de estos humedales artificiales plantados con vegetación macrofitas emergentes, como son:

Sistema de flujo libre (Humedales de flujo superficial- HFS): en donde las plantas están enraizadas en el fondo del humedal y el flujo de agua se hace a través de las hojas y los tallos de las plantas.

Figura 2.

Humedal superficial de flujo libre

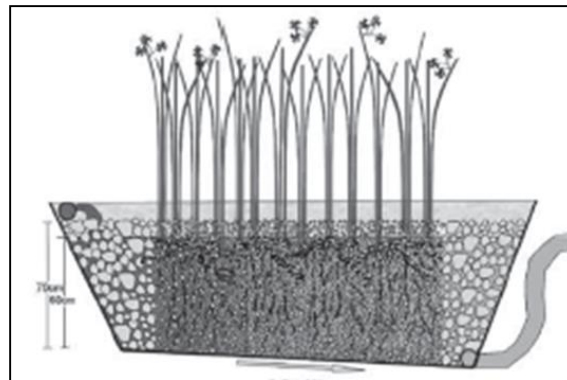


Fuente: (Delgadillo et al., 2010)

Sistema de flujo horizontal subsuperficial (Humedales de flujo subsuperficial- HFSS): en la cual la lámina de agua no es visible y el flujo atraviesa un lecho relleno con arena, grava o suelo, en donde crecen las plantas que solo tienen las raíces y rizomas en contacto con el agua. (Arias & Brix, 2003).

Figura 3.

Humedal Subsuperficial Horizontal.

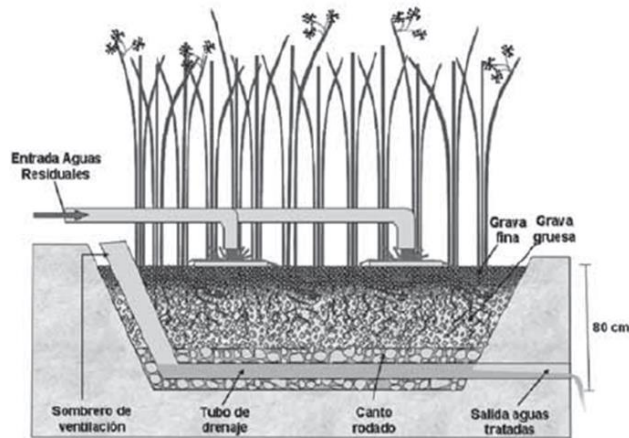


Fuente: (Delgadillo et al., 2010)

Sistema con flujo vertical (Humedales de flujo vertical- HFV): en estos la circulación del agua es de tipo vertical y se alimentan a pulsos, de manera que el medio granular no está permanentemente inundado. (Arias & Brix, 2003).

Figura 4.

Humedal Subsuperficial Vertical.

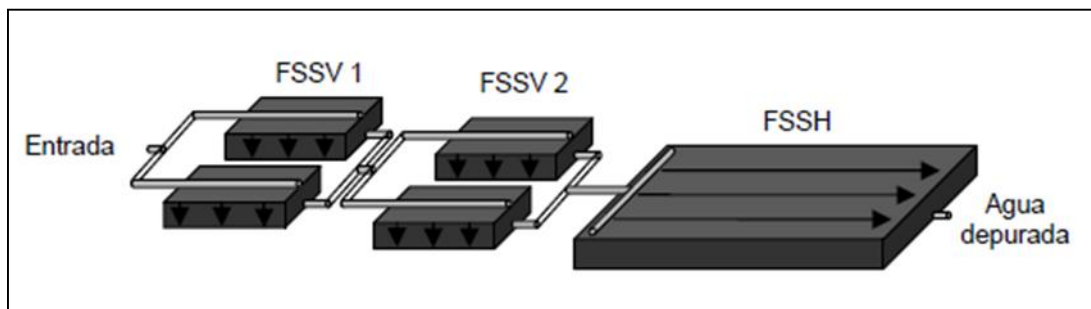


Fuente: (Delgadillo et al., 2010)

Sistemas híbridos: Este aprovecha las diferentes características que están presentes en los tipos de humedales artificiales, de flujo subsuperficial vertical y horizontal, dichos medios se combinan para formar los sistemas híbridos. En ambas configuraciones se trata de aprovechar las diferentes condiciones oxidativas que están presentes en los humedales. Mientras que en los humedales de flujo subsuperficial vertical predominan los procesos aerobios (degradación y nitrificación), debido al mayor contacto aire-agua en las zonas insaturadas del lecho; en los humedales de flujo subsuperficial horizontal predominan los procesos anóxicos (desnitrificación) y anaerobios (reducción del sulfato y fermentación) debido al menor contacto aire-agua al estar el lecho saturado de agua, por lo tanto, esta alternativa logra favorecer la eliminación de algunos contaminantes, en especial, la de nitrógeno. (Arias & Brix, 2003).

Figura 5.

Humedal Híbrido.



Fuente: (Mena, 2010)

5.3. MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se presentan los conceptos más relevantes sobre el tema de estudio por medio de los cuales se ubica al lector que desconoce algunos términos.

Contaminante: Son sustancias tóxicas que se encuentran en un medio al cual no pertenecen o que lo hace a niveles que pueden causar efectos adversos para la salud o el medio ambiente. Estos provienen de: vertidos y residuos industriales, plaguicidas, residuos de fármacos y hormonas en alimentos. (Hernández & Luna ,2016).

Sustancias químicas inorgánicas: En este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua. (Poveda, 2014).

Relleno sanitario: Es un área de terreno seleccionada técnicamente, para la confinación o disposición final controlada de los residuos sólidos, la cual emplea principios de ingeniería, con el objetivo de fijar una barrera entre el medio ambiente y los desechos generados. Esto sitios no deben ser focos de riesgos para la salud pública, y deben mitigar y controlar los impactos ambientales que se puedan presentar sobre los recursos naturales. (Gómez,2018).

Lixiviados: Son el resultado de la percolación e interacción de las aguas con los desechos almacenados en rellenos sanitarios y representan un peligro potencial al medio ambiente. (Novelo et al., 2008).

Fitorremediación: “La fitorremediación es un conjunto de tecnologías que reducen in situ o ex situ la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas”. De esta manera, se utiliza las plantas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes, encontrándose una gran diversidad de especies que se emplean para este fin, algunas de ellas reciben el nombre de hiperacumuladoras debido a su gran capacidad para acumular metales pesados. (Sandoval, 2019).

Bioindicadores: Son organismos que pueden ser empleados para conocer las cualidades de los ecosistemas, debido a que están muy relacionados con determinadas

condiciones ambientales, la presencia de estos organismos informa sobre la integridad de los ecosistemas y su estado de conservación. (Hernández & Luna, 2016).

5.4. MARCO CONTEXTUAL

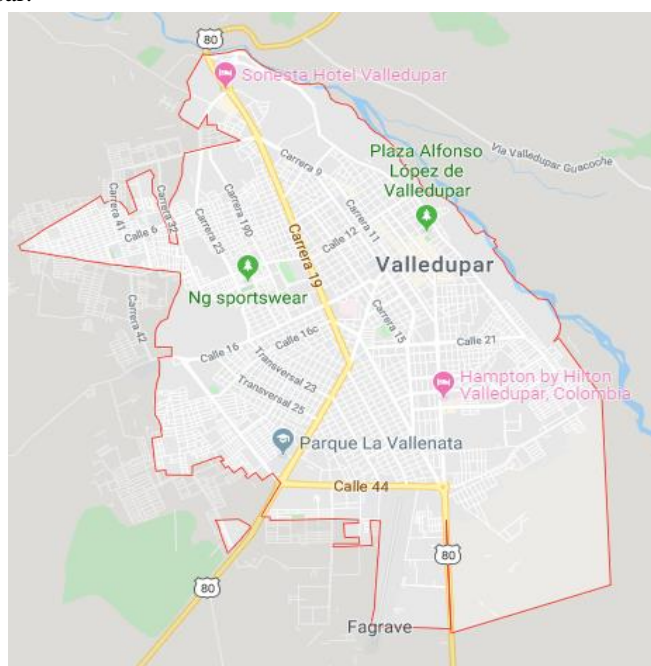
A continuación, se presenta el lugar en donde se desarrolló el presente proceso investigativo:

Valledupar es la capital del departamento del Cesar, Colombia. Está ubicada al nororiente de la Costa Caribe colombiana, a orillas del río Guatapurí, en el valle del río Cesar formado por la Sierra Nevada de Santa Marta y la serranía del Perijá.

La ciudad es un importante centro para la producción agrícola, agroindustrial y ganadera en la región comprendida entre el norte del departamento del Cesar y el sur del departamento de La Guajira. También es uno de los principales epicentros musicales, culturales y folclóricos de Colombia por ser la cuna del vallenato, género musical de mayor popularidad en el país y actualmente símbolo de la música colombiana. Anualmente atrae a miles de visitantes de Colombia y del exterior durante el Festival de la Leyenda Vallenata, máximo evento del vallenato.

Figura 6.

Ubicación de Valledupar, Cesar.



Fuente: Tomada y adaptada de Google Maps, 2020.

Extensión total: 4.493 Km²

Extensión área urbana: El casco urbano tiene una longitud norte-sur de 8.3 km y este-oeste de 6.2 km

Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): la ciudad se encuentra a una altitud que oscila entre los 220 m. al norte y 150 m. a sur, siendo la altitud media de 168 m.

Temperatura media: la temperatura Media Anual es de 28,4 °C, con máximas y mínimas de 22°C y 34°C respectivamente, la temperatura máxima histórica registrada es de 41.5°C y la mínima de 16°C. El mes más caluroso es abril con un promedio de 30°C y el más fresco octubre.

Vegetación: El valle del río Cesar pertenece a la clasificación climática Bosque Seco Tropical, estando cubierto por un bosque claro muy intervenido donde se alternan árboles dispersos y pastos artificiales para el sostenimiento de la importante cabaña bovina existente en sus campos. Las especies más representativas de la región, que corresponde a bosque seco tropical, están representadas por los géneros Cassia, Tabebuia, Crescentia e Inga entre otras con nombres comunes como acacias, cañaguates, guanábanos, cedros, ceibas y una importante variedad de especies foráneas muy adaptadas ya al medio local como los mangos, eucaliptos y cítricos.

También es importante la presencia de árboles frutales en zonas públicas como parques, andenes y separadores de avenidas, en este caso por iniciativa de la municipalidad. El árbol más común es el mango seguido de cañahuate, ceibas, robles, totumos, acacias, mamones, cotoprix, uvitos, cardamomos y un importante corredor vial de cauchos.

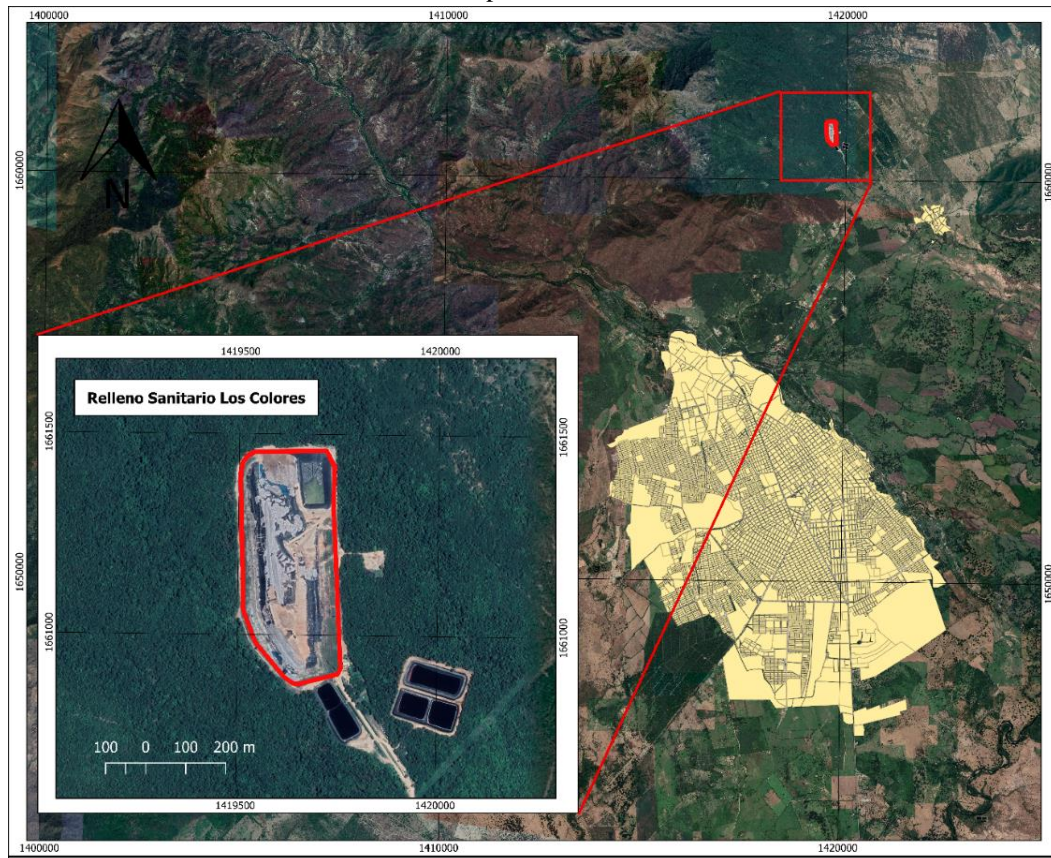
Fauna: La fauna silvestre en la actualidad se encuentra muy afectada, los felinos y mamíferos como el tigrillo y los venados son actualmente una rareza sobresaliendo casi exclusivamente los reptiles representados por las iguanas, lagartijas y algunas serpientes como boas, falsas corales, y mapaná. En cuanto a las aves sobresalen algunas rapaces como la lechuza y los gavilanes y otras como palomas, tierrelitas, pericos y colibríes.

5.4.1. Área De Estudio

El relleno sanitario Los Corazones se encuentra ubicado en el municipio de Valledupar, departamento de Cesar a los $10^{\circ}32'57.1''N$ y $73^{\circ}14'45.1''W$ (ver figura 7), a seis kilómetros del casco urbano de la capital departamental, sobre la vía que conduce a Patillal y posee un área de ciento (120) hectáreas; limita en la parte sur con el río Guatapurí, al occidente la carretera que de Valledupar conduce a Patillal, al norte con el arroyo El Pájaro y hacia el oriente con La Vega (Trujillo et al, 2019). Este relleno sanitario es combinado (tipo trinchera y área) y en él se disponen los residuos sólidos de municipios como Agustín Codazzi, La Paz, La Jagua de Ibirico, Manaure, San Diego, Valledupar, entre otros.

Figura 7.

Ubicación del relleno sanitario los corazones de Valledupar.



Fuente: Tomada y Adaptada de Google maps.

5.5. MARCO LEGAL

A continuación, se presenta la normatividad aplicable a la temática de estudio, lo cual permitirá conocer el marco legal en cuestión que debe cumplir el relleno sanitario con relación a los lixiviados.

Marco legal aplicable al estudio.

Norma	Artículos	Aplicabilidad
<p>Constitución política de Colombia 1991</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> <p>Artículo 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.</p>	<p>Se toma como referencia dado que a través del mismo se ve como la norma de normas propende por la protección del medio ambiente.</p>

<p>Ley 99 de 1993</p> <p>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 SINA, y se dictan otras disposiciones.</p>	<p>Crea el Ministerio del Medio Ambiente y Organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Reforma el sector público encargado de la gestión ambiental. Organiza el Sistema Nacional Ambiental y exige la Planificación de la gestión ambiental de proyectos. La aplicabilidad de esta norma en este estudio tiene que ver con los principios generales ambientales que rigen el país. Dentro de estos el principio 10 busca La acción para la protección y recuperación ambiental del país es una tarea conjunta y coordinada entre el Estado, la comunidad, las organizaciones no gubernamentales y el sector privado. El Estado apoyará e incentivará la conformación de organismos no gubernamentales para la protección ambiental y podrá delegar en ellos algunas de sus funciones.</p>	<p>Se tiene en cuenta ya que a través de esta ley se puede ver las funciones y objetivos de las autoridades competentes encargadas de vigilar la actividad de los rellenos sanitarios.</p>
<p>Decreto 2811 de 1974</p> <p>Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de</p>	<p>En el decreto 2811 de 1974, se hace especial énfasis en materia de suelos en Colombia los siguientes artículos:</p>	<p>Este decreto es importante ya que a través de este se puede ver los recursos</p>

<p>Protección al Medio Ambiente.</p>	<p>Artículo 8: Se consideran factores que deterioran el ambiente entre otros:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La contaminación del aire, de las aguas, del suelo y de los demás recursos naturales renovables. - La degradación, la erosión y el revenimiento de suelos y tierras. - Las alteraciones nocivas de la topografía. <p>Artículos 178 al 180: se relacionan los principios para el uso y el aprovechamiento del suelo.</p> <p>Artículos 182 al 186: Relacionado con el uso y conservación de los suelos.</p> <p>Artículos 324 al 326: Referencia los distritos de conservación del suelo.</p>	<p>naturales que se ven perjudicados por la actividad de los rellenos sanitarios.</p>
<p>Decreto 3930 del 2010.</p> <p>Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI- Parte 11I- Libro 11 del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones"</p>	<p>Capítulo IV: Vertimientos.</p> <p>Establece en el artículo 24 las prohibiciones, es decir lugares donde no se admiten vertimientos. Y en el capítulo VII. Refiere el proceso para el permiso de vertimiento de determinada actividad</p>	<p>Se toma en cuenta porque establece los lugares donde se pueden realizar vertimientos, entendiendo que los rellenos son lugares donde se debe verter.</p>

Resolución 0631 del 2015		
Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.	En el artículo 14 menciona la concentración de parámetros fisicoquímicos que deben cumplir los sistemas de tratamientos y disposición final de residuos.	Se tiene en cuenta porque permitirá comparar la concentración de los lixiviados con dicha norma y así también determinar si por medio del sistema de humedal se cumple con la norma.

Fuente: Tomada y adaptada del Ministerio de ambiente, 2020.

6. MARCO METODOLÓGICO

6.1 LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN

La línea de investigación de la facultad corresponde a sostenibilidad y gestión ambiental y la Sublínea de investigación Gestión integral de los residuos sólidos y líquidos enfocada en el área temática: Manejo integral de los residuos líquidos.

6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), un estudio es cuantitativo porque utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías. Además, refleja la necesidad de medir y estimar magnitudes de los fenómenos o problemas de investigación. El presente estudio fue enfoque cuantitativo porque las variables de estudio se midieron numéricamente mediante un instrumento y se expresaron en tablas con frecuencias absolutas y acumuladas y gráficos.

6.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El diseño de esta investigación fue experimental, este nivel de investigación es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente). (Arias, 2006).

6.4 POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población correspondió a los lixiviados del relleno sanitario los corazones ubicado en Valledupar, Cesar.

6.5 MUESTRA POBLACIONAL

Las muestras fueron tomadas en la salida de los lixiviados del relleno sanitario, y también a la salida del humedal artificial para cada uno de los parámetros de estudio.

6.6 DESARROLLO METODOLÓGICO

6.6.1 *Etapas 1. Analizar las condiciones actuales de los parámetros físicos, químicos y de metales presente en los lixiviados generados en el relleno sanitario.*

Actividad 1.1. Caracterización de los lixiviados

Toma de muestras:

Descripción: La toma de muestras de lixiviados fue puntual y se realizó por medio de la metodología para la toma de muestra de aguas residuales establecida por el IDEAM.

A continuación, se detallan los puntos más importantes para la toma de muestras:

- Los recipientes fueron de plásticos y estaban previamente lavado con agua destilada. Asimismo, estaban rotulados para evitar confusiones.
- Una vez en el sitio de muestreo se colocó un balde (previamente purgado con agua destilada) debajo de la descarga y retiramos una vez que ya teníamos el volumen considerado, luego con mucho cuidado vertimos el agua del balde al recipiente de un litro.
- Se posicionaron las botellas en vertical dentro de la nevera (cava de icopor) y agregue hielo suficiente para refrigerar.
- Las muestras de agua fueron transportadas el mismo día hasta las instalaciones de los laboratorios.

Los parámetros de estudio se describen en la siguiente tabla:

Tabla 2.

Parámetros fisicoquímicos y metales.

Parámetros	Unidad	Método
		Potenciométrico
Ph	Unidades	SM 4500 H+ B
Conductividad	μS/cm.	ASTM D4308-13
Alcalinidad	ppm	ppm Titulométrico

SM 2320 B

trímetro SM

Dureza

CaCO₃/L.

2340 C

ASTM D4929-17

Cloruros

mg/L

Ácidos grasos
volátiles (AGV)

mg/L

mg O₂/L Reflujo
cerrado SM 5220 D

DBO₅

mg O₂/L

mg O₂/L

DQO

mg O₂/L

Incubación 5 días
SM 5210 B

Carbono Orgánico

mg/L

Total (COT)

mg /L

Sólidos Totales Y
Disueltos (ST y SDT)

mg /L

Gravimétrico SM
2540 D

		mg NH ₄ /L
Nitrógeno total y amoniacal	mg NH ₄ /L	Titulométrico SM 4500 C
Níquel	mg/L	mg NI/L Absorción atómica llama, SM 3111
Cadmio	mg Cd/L	mg Cd/L Absorción atómica llama, SM 3111
Zinc	mg Zn/L	mg Zn/L Absorción atómica llama, SM 3111
Plomo	mg/L	Mg Pb/L Absorción atómica llama, SM 3111

Fuente: IDEAM, 2015.

Una vez caracterizados se procedió a comparar los valores con las concentraciones permitidas en la resolución 0631 del 2015.

6.6.2 Etapa 2. Diseñar un humedal de flujo subsuperficial horizontal a escala laboratorio con la especie (*Elchhornia Crassipesmart*).

Actividad 2.1. Diseño del humedal artificial

Descripción: Con el fin de diseñar humedales construidos de flujo vertical, se consideró que estos se comportan como reactores de flujo pistón ideales en los cuales los contaminantes son degradados siguientes modelos cinéticos de primer orden. (García & Corzo, 2008). Además, los humedales debido a su principio funcionan con la ayuda de la gravedad, por tanto, el diseño del humedal a nivel piloto se realizó con una pendiente de 0,07 m, establecida de acuerdo con los criterios de pérdida de carga mencionados por (Sánchez, 2010).

Cálculo del área superficial

$$As = w \cdot L$$

Para determinar las dimensiones se utilizó la relación L:W = 2:1.

Constante de reacción de primer orden se calcula mediante la ecuación:

$$Kt = 1,104 \times 1,06^{T2-20}$$

T2: Temperatura media del sitio.

Porosidad del medio filtrante

Para escoger el valor de la porosidad se tuvo en cuenta el criterio de (Sanders, 1998). la grava tiene una porosidad entre 25 a 40%.

Cálculo para determinar el caudal

Se utilizó la ley de Darcy la cual describe el régimen de flujo en un medio poroso y generalmente, es aceptada para diseñar humedales de flujo subsuperficial.

$$Q = \frac{As * Kt * h * n}{Ln\left(\frac{C0}{C}\right)}$$

Donde:

As: área superficial (m²)

Kt: constante de reacción de primer orden.

h: altura del humedal (La profundidad del medio en estos humedales FS tiene un rango de 0.3 a 0.9 metros, siendo el valor más común el de 0.6 metros) (EPA, 2000).

n: porosidad.

Co: concentración de DBO inicial

C: concentración de DBO final.

Cálculo del tiempo de retención hidráulico:

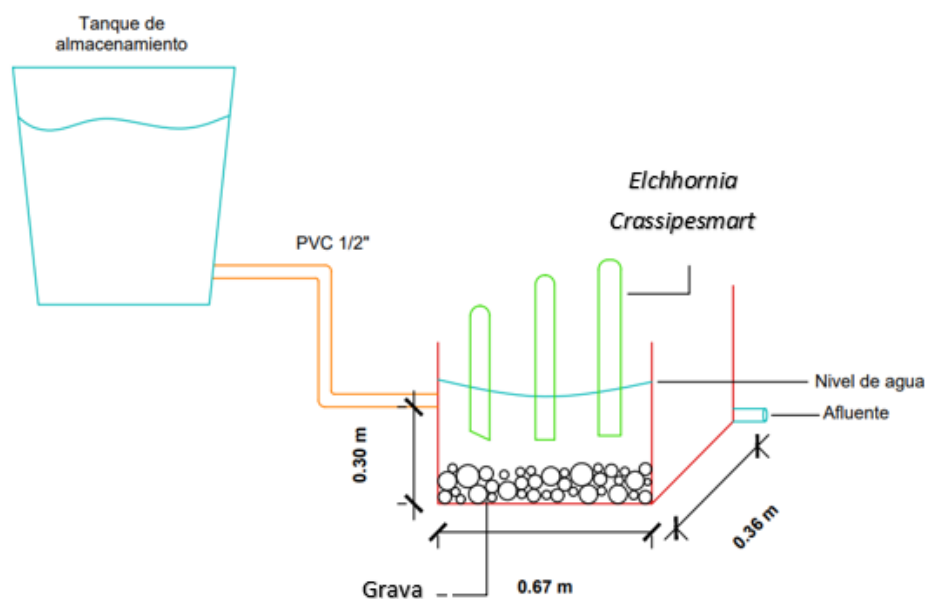
$$TRH = \frac{As * h * n}{Q}$$

Actividad 2.2. Construcción del humedal artificial

Descripción: El material usado para los humedales fueron recipientes de polipropileno comercial, contó con un sistema de tuberías de polipropileno que conducen agua de un tanque de almacenamiento (con capacidad de 50 litros) hasta la entrada de cada humedal y la salida, la cual tuvo un diámetro de pulgada y medio, el flujo de los humedales se realizó por medio de válvulas.

Figura 8.

Diseño del humedal artificial



Fuente: Tomada Y Adaptada De Google. 2020

Actividad 2.3. Adaptación de la especie (*Elchhornia Crassipesmart*).

Descripción: Antes del diseño y construcción de los humedales se procedió a realizar una adaptación de las especies, de esta manera esta adaptación se realizó en tres momentos distribuidos en un mes, de la siguiente manera:

- Primera semana: En el humedal por una semana se sembraron las especies con el agua de donde provienen las mismas.
- Segunda semana: En esta semana las plantas estuvieron con un 50% de agua de donde provienen las plantas y el otro 50% corresponde a los lixiviados generados en el relleno sanitario y,
- Tercera y cuarta semana: En este caso las especies del humedal estuvieron trabajando con el 100% del agua proveniente del relleno sanitario (lixiviado).

Es importante mencionar que, durante este periodo, se tomaron fotos con el fin de observar los cambios, la coloración de las hojas, así como el crecimiento y aparición de nuevas hojas los cuales fueron indicativos claves que se tuvieron en cuenta para poder conocer el proceso de adaptación.

6.6.3 Etapa 3. Determinar la eficiencia de remoción de metales presentes en los lixiviados mediante el tratamiento con la especie (*Elchhornia Crassipesmart*).

Actividad 3.1. Caracterización del efluente del humedal

Descripción: Se repitieron los pasos de la etapa 1 actividad 1.1. y una vez caracterizados se procedió a comparar los valores con las concentraciones permitidas en la resolución 0631 del 2015.

Actividad 3.2 Eficiencia del tratamiento

Descripción: El cálculo para la eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos y de metales después del tratamiento de fitorremediación se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$CR(\%) = \frac{C_o - C_f}{C_o} * 100$$

Donde, Co y Cf son las concentraciones de las aguas residuales antes y después del proceso de fitorremediación, respectivamente, en mg/L.

7. . RESULTADOS Y ANÁLISIS

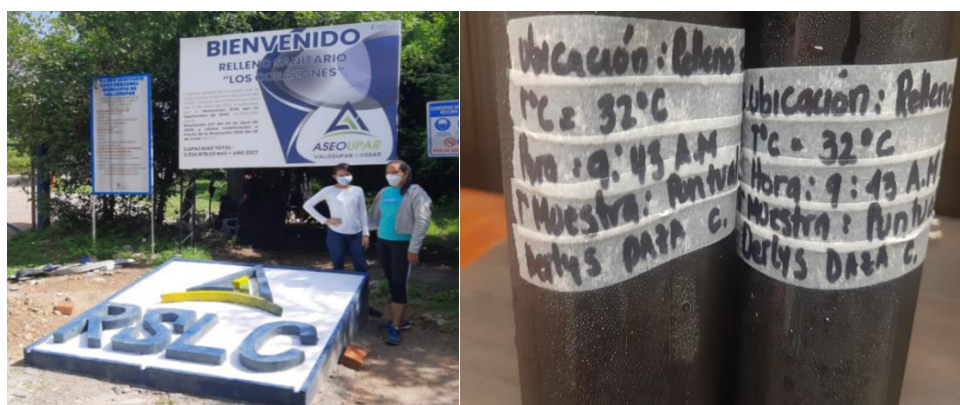
7.1 ANALISIS DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y DE METALES PRESENTE EN LOS LIXIVIADOS GENERADOS EN EL RELLENO SANITARIO.

7.1.1 Caracterización de los lixiviados

En primer lugar, se realizó la toma de muestra puntual de los lixiviados el día 23 de agosto del 2021 a las 9:43 a.m., por lo cual fue necesario el traslado hasta el relleno sanitario los corazones como se evidencia en la figura 9.

Figura 9.

Recolección de muestras de lixiviados.



Fuente: Autores, 2021.

Es importante resaltar que esta toma de muestras se realizó siguiendo el protocolo establecido por el IDEAM de manera que como se observa en la figura 9, los recipientes fueron plásticos, y se lavaron previamente con agua destilada, asimismo la muestra se tomó directamente de la zona de descarga para posteriormente transportarla hasta el lugar del montaje como se muestra a continuación:

Figura 10.

Transporte de las muestras al laboratorio.



Fuente: Autores, 2021.

Es menester mencionar que dos litros de agua se enviaron a la Universidad de Córdoba para la determinación de la concentración de unos parámetros, y otros dos litros fueron llevados al laboratorio Bioindalamb ubicado en Valledupar en donde se analizaron los parámetros Ácidos grasos volátiles (AGV), Carbono Orgánico Total y Sólidos Suspendidos Totales. A continuación, en la tabla 3, se evidencia los resultados de la caracterización inicial de los lixiviados:

Tabla 3.

Resultados de la caracterización inicial de los lixiviados

Parámetros	Resultado	Res. 0631/2015
pH	7,47	6.00 – 9.00
Conductividad	12420.0	---
Alcalinidad	5280.00	Análisis y Reporte
Dureza	1330.00	Análisis y Reporte
Cloruros	1459.12	500,00

Ácidos grasos volátiles (AGV)	213	50,00
DBO5	2965.84	800,00
DQO	4993.29	2000,00
Carbono Orgánico		
	1096	---
Total (COT)		
Sólidos Totales	10668.00	---
Sólidos Disueltos	9734.00	---
Sólidos Suspendidos Totales	16.6	400,00
Nitrógeno Amoniacal	523.04	Análisis y Reporte
Nitrógeno Total	596.96	Análisis y Reporte
Níquel	0,258	0,50
Cadmio	< (0.050)	0,05
Zinc	0.618	3,00
Plomo	< (0.100)	0,20

Fuente: Autores, 2021

En cuanto al pH, se encuentra dentro del rango permitido por la resolución 0631 del 2015, además, el valor es similar al reportado por el estudio de Trujillo et al., (2019), el cual fue de 7,98. Por otro lado, teniendo en cuenta estos valores, el lixiviado se clasifica como un lixiviado de tipo III o viejo según Nájera et al., (2009). Así mismo, es importante resaltar que el resultado de esta variable indica la tendencia de su alcalinidad, lo cual resulta favorable para el funcionamiento de la tecnología de los humedales, al disminuir su interferencia dentro del ciclo del nitrógeno, como lo indica Giraldo, E. (2014). Además, Velásquez et al. (S.f) expresan

que esta tendencia hacia la alcalinidad mejora el desarrollo de bacterias que pueden estar presentes en el sistema y que promueven la depuración de contaminantes.

En lo que refiere a la conductividad, la cual es una medida indirecta de la productividad ya que relaciona todos los iones presentes en el agua, por lo tanto, está íntimamente relacionada con los sólidos disueltos totales que representan la concentración de sustancias o minerales disueltos en las aguas naturales. La conductividad mide la capacidad del agua para transferir corriente eléctrica, la cual se incrementa principalmente con el contenido de iones disueltos y la temperatura (Núñez y Reyes, 2016), el resultado fue de 12420.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el cual fue menor al reportado en el estudio de Trujillo et al., (2019) el cual fue de 18680 0 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Por otro lado, la alcalinidad de los lixiviados de este estudio fue de 5280.00 ppm, cuyo valor fue menor, aunque se asemeja al estudio de Trujillo et al., (2019), el cual reportó un valor de 5950 ppm. Mientras que la dureza tuvo un valor de 1330.00 CaCO_3/L , de acuerdo con Roldán (2003) las aguas con bajas durezas como se presentan en época de verano se denominan aguas blandas y biológicamente hablando son poco productivas, mientras que aquellas aguas duras, como las de temporada de invierno, son muy productivas por la variedad de especies de flora y fauna que pueden presentar, aunque son menos productivas en términos de biomasa.

En lo que respecta, a los cloruros, el valor reportado fue de 1459.12 mg/L, la norma permite 500,00 por lo cual se encuentra un incumplimiento de este parámetro, la misma situación es observada en el estudio de Trujillo et al., (2019), cuyo valor encontrado fue de 2229,2 mg/L. Siguiendo el orden, los ácidos grasos volátiles, tuvieron un valor de 213 mg/Lm encontrándose por encima de lo permitido por la norma, y en el estudio de Trujillo aunque el valor fue menos (368 mg/L), también se encuentra por encima de lo permitido.

Uno de los parámetros que más desfasado o por encima de la norma se encuentra es le DBO y DQO, para el caso del primer parámetro lo permitido por la norma es 800,00 mg O_2/L encontrándose con un valor de 2965.84 mg O_2/L , igualmente en el caso de la DQO el valor reportado fue de 4993.29 mg O_2/L , y lo permitido por la resolución 0631 del 2015 era de 2000,00 mg O_2/L , de acuerdo con Qarani et al., (2010), se pueden supervisar los cambios en la biodegradabilidad del lixiviado mediante el control de la relación DBO_5/DQO . Para rellenos sanitarios jóvenes las relaciones estarán en el rango de 0.5 o más. Las relaciones en el rango de 0.4 a 0.6 se toman como indicador de que la materia orgánica en los lixiviados es fácilmente

biodegradable, teniendo en cuenta lo antes visto, en este estudio el índice de biodegradabilidad fue de 0,6 por lo cual la materia orgánica en los lixiviados es fácilmente biodegradable, además, los lixiviados son jóvenes. Estos resultados coinciden con el estudio presentado por Trujillo et al., (2019), en el cual también se concluye que la caracterización del relleno sanitario Los Corazones se muestran lixiviados con elevadas concentraciones de materia orgánica e índices de biodegradabilidad (DBO5/DQO) superiores a 0,4 que corresponden a lixiviados jóvenes.

En el caso de los SST se reportó un valor de 16.6 mg /L ubicándose por fuera de lo permitido por la norma, llama la atención que el valor reportado por Trujillo et al., (2019), el cual se realizó para los mismos lixiviados haya sido de 17884 mg /L, aunque también este por fuera de la norma, de acuerdo con la EPA (2000), para los humedales, el alto contenido de SST puede generar obstrucciones en el material de soporte que puede afectar su funcionamiento; no obstante, pese al contenido de SST medidos, durante la operación de los humedales no se evidenció que se estuvieran presentando problemas de funcionamiento asociados a una alta concentración de SST, por lo cual se puede afirmar que para las condiciones de estudio y las características de los humedales, la concentración de SST no presentó una incidencia significativa sobre su desempeño.

De manera general, los metales pesados se encuentran dentro de lo permitido por la normatividad que es la resolución 0631 del 2015, por lo cual los lixiviados del relleno sanitario los corazones no representan un riesgo para los ecosistemas, esto cabe aclarar que son para los metales pesados analizados los cuales fueron níquel, cadmio, zinc y plomo; estos valores también coinciden con el estudio realizado por (Trujillo et al., 2019).

7.2 DISEÑO DE UN HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL A ESCALA LABORATORIO CON LA ESPECIE (ELCHHORNIA CRASSIPESMART).

7.2.1 Diseño del humedal artificial

Con el fin de diseñar el humedal artificial propuesto en la investigación, se consideró que estos se comportan como reactores de flujo pistón ideales en los cuales los contaminantes son degradados siguiendo modelos cinéticos de primer orden, tomando como base las investigaciones de (García & Corzo, 2008). Así mismo, los humedales debido a su principio funcionan con la ayuda de la gravedad, por tanto, el diseño de humedales a nivel piloto se

realizó con una pendiente de 0,07 m, establecida de acuerdo con los criterios de pérdida de carga mencionados por (Sánchez, 2010).

A continuación, se mencionan cada una de las características necesarias del diseño del humedal artificial.

Pendiente: 0,07 m (Sánchez, 2010).

Cálculo del área superficial

$$A_s = 0,67 \text{ m} * 0,36 \text{ m} = 0,24 \text{ m}^2$$

Para determinar las dimensiones se utilizó la relación L: W = 2:1.

Ancho (w): 0,67 m

Largo (L): 0,36 m

Constante de reacción de primer orden se calcula mediante la ecuación:

$$Kt = 1,104 \times 1,06^{32-20} = 2,22$$

T2: Temperatura media del sitio.

Porosidad del medio filtrante

Para escoger el valor de la porosidad se tuvo en cuenta el criterio de Sanders (1998) la grava tiene una porosidad entre 25 a 40%.

Cálculo para determinar el caudal

Se utilizó la ley de Darcy la cual describe el régimen de flujo en un medio poroso y generalmente, es aceptada para diseñar humedales de flujo subsuperficial.

$$Q = \frac{0,24 \text{ m}^2 * 2,22 * 0,6 \text{ m} * 0,3}{\ln\left(\frac{2965.84 \text{ mg O}_2/\text{L}}{593.168 \text{ mg O}_2/\text{L}}\right)} = \frac{0,060 \text{ m}^3}{d}$$

Donde:

As: área superficial (m²)

Kt: constante de reacción de primer orden.

h: altura del humedal (La profundidad del medio en estos humedales FS tiene un rango de 0.3 a 0.9 metros, siendo el valor más común el de 0.6 metros) (EPA, 2000).

n: porosidad.

Co: concentración de DBO inicial

C: concentración de DBO final.

Cálculo del tiempo de retención hidráulico:

$$TRH = \frac{0,24 \text{ m}^2 * 0,6 \text{ m} * 0,3}{0,060 \text{ m}^3/\text{d}} = 0,72 \text{ d} = 17,28 \text{ hr}$$

7.2.2 Construcción del humedal artificial

Para su construcción el material usado fueron recipientes de polipropileno comercial, así mismo, contó con un sistema de tuberías de polipropileno que conducen agua de un tanque de almacenamiento (con capacidad de 50 litros) hasta la entrada de cada humedal y la salida, la cual tuvo un diámetro de pulgada y medio, el flujo de los humedales se realizó por medio de válvulas.

A continuación, se muestra el proceso de construcción del humedal con los materiales mencionados en el apartado de la metodología y teniendo en cuanta las dimensiones del diseño.

Figura 11.

Construcción de los humedales.



Fuente: Autores, 2021.

Asimismo, en la figura 12, se evidencia el acople del tanque de almacenamiento con el humedal artificial:

Figura 12.

Acople del humedal con el tanque de almacenamiento.



Fuente: Autores, 2021.

7.2.3 Adaptación de la especie

En primer lugar, conviene resaltar que la especie se obtuvo del río Cesar por la parte del puente salguero vía Valledupar - La Paz, es decir, se tomó de su medio natural, se tuvo en cuenta las condiciones iniciales y ambientales del lugar de origen de la planta, además, la especie era pequeña con el fin de tener mayor durabilidad y posibilidad de crecimiento; las condiciones iniciales y ambientales de la especie se mencionan a continuación:

Tabla 4

Condiciones iniciales y ambientales de la especie (*Elchhornia Crassipesmart*)

Característica	Descripción
Temperatura ambiente	30°C
Humedad relativa	60%
Longitud total de la especie	15cm
Semillas	1-7 semillas
Flores	No poseen flores

Fuente: Autor, 2021

Con el fin de lograr el proceso de adaptación que se describe a continuación:

La adaptación de la especie (*Elchhornia Crassipesmart*) tuvo una duración de 7 días (una semana), y se llevó a cabo el 18 de agosto, en esta se sembraron especies con el agua de donde provenían como se observa en la siguiente figura:

Figura 13.

Adaptación humedal primera semana.



Fuente: Autores, 2021

Siguiendo con la segunda semana de adaptación la cual se realizó del 24 al 31 de agosto, se procedió a llenar los humedales con el 50% de lixiviados y el 50% restante con agua de donde provienen las plantas, donde se observó una buena adaptación, no presentaron problemas de sobrevivencia como se muestra a continuación.

Figura 14.

Segunda semana de adaptación.



Fuente: Autores, 2021.

Incluso durante este tiempo de adaptación se observó un crecimiento de las plantas como se muestra a continuación, la cual se produjo en la tercera semana en donde el humedal trabajó con el 100% de lixiviado:

Figura 15.

Tercera semana de adaptación.



Fuente: Autores, 2021.

Finalmente, en la cuarta semana al igual que en la tercera se observó que todas las especies sobrevivieron, logrando así una adaptación a las nuevas condiciones a las que fueron expuestas, teniendo en cuenta esto se procedió con el periodo de operación propiamente dicho.

7.3 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE METALES PRESENTES EN LOS LIXIVIADOS MEDIANTE EL TRATAMIENTO CON LA ESPECIE (ELCHHORNIA CRASSIPESMART).

7.3.1 Caracterización del efluente y eficiencia del humedal

Para la caracterización del efluente se realizó el mismo procedimiento de la fase número uno, donde se tomaron muestra de agua obtenidas del efluente y se procedió a determinar los parámetros fisicoquímicos de estas. Por otra parte, se determinaron los metales pesados propuestos en la investigación: Níquel, Cadmio, Zinc, Plomo. Una vez caracterizados se procedió a comparar los valores con las concentraciones permitidas en la resolución 0631 del 2015.

Tabla 5.

Caracterización y eficiencia del humedal.

Parámetros	Resultado	Res. 0631/2015	Eficiencia
pH	8,49	6.00 – 9.00	
Conductividad	6764.00		46%
Alcalinidad	2055.00	Análisis y Reporte	61%
Dureza	740.00	Análisis y Reporte	44%
Cloruros	1316.85	500,00	10%
Ácidos grasos volátiles (AGV)		50,00	
DBO5	912.25	800,00	69%

DQO	1528.66	2000,00	69%
Carbono Orgánico			
Total (COT)			
Sólidos Totales	6282.0		41%
Sólidos Disueltos	5746.00		41%
Sólidos Suspendidos Totales		400,00	
Nitrógeno Amoniacal	26.32	Análisis y Reporte	95%
Nitrógeno Total	32.20	Análisis y Reporte	95%
Níquel	< 0.2	0,50	22,5%
Cadmio	< (0.050)	0,05	
Zinc	0.5944	3,00	3.8%
Plomo	< (0.100)	0,20	

Fuente: Autores, 2021

De acuerdo con la tabla 5, se evidencia un aumento del pH, dado que inicialmente este tuvo una concentración de 7,47 y en el caso del efluente se encuentra ubicado en 8,49 aunque es importante resaltar que los resultados oscilan en el margen permitido por la resolución 0631 del 2015. Asimismo, los parámetros con mejor eficiencia fueron nitrógeno amoniacal y total con un 95%, seguido de la carga orgánica representadas por la DBO y DQO con valor de eficiencia del 69%, el parámetro con menor eficiencia fue el cloruro con el 10%, igualmente es importante mencionar que se encontraron eficiencias significativas en la conductividad, alcalinidad, dureza y los sólidos.

Por lo tanto, el parámetro del pH estuvo en negativo, con un resultado de 8,49 lo cual se encuentra en semejanza con el estudio de Cáceres y Torres (2020), en donde en la primera semana en el humedal con lentejillas se observó un aumento en el parámetro de pH pasando de 7,38 U de pH a 7,43. El mismo comportamiento se encontró en el humedal con Junco en donde en la primera semana hubo un aumento en la concentración de este parámetro. (Cáceres y Torres, 2020). También es importante mencionar de acuerdo con el criterio de Giraldo (2004) quien expresa que los humedales con tendencia alcalinas favorecen su funcionamiento al disminuir su interferencia dentro del ciclo del nitrógeno, además, Velásquez et al., (S.f) expresan que esa tendencia a la alcalinidad mejora el desarrolla de bacterias que pueden estar presentes en el sistema y que promueven la depuración de contaminantes, esta tendencia a la alcalinidad se observa en este estudio.

Además, los resultados de este estudio en cuanto a DBO y DQO muestran similitud con el criterio de Martelo y Lara (2012), el cual asevera que la eficiencia del uso de macrófitos flotantes alcanza reducciones de DBO5 en el orden de 95%, en el caso de los sólidos suspendidos se registran disminuciones con valores que se encuentran en el rango de 21% y 91% lo cual se encuentra dentro de los valores de deficiencia reportados en este estudio. en el caso del nitrógeno la explicación a este comportamiento se debe básicamente a que el buchón de agua es una especie que a nivel radicular posee un mecanismo que actúa a través de formaciones de complejos entre el metal pesado con los aminoácidos presentes dentro de la célula. Por consiguiente, ésta planta actúa como biofiltro para la depuración de las aguas y también acelera la volatilización del agua por evapotranspiración, ya que sus hojas permanecen abiertas diariamente, alcanzando así una alta eficiencia de remoción de nitrógeno total (Molina, 2016), además, de acuerdo con Jayaweera y kastruyarichchi, 2009 citado por Porras (2017), el buchón de agua tiene una efectividad de hasta el 100% para el tratamiento de aguas residuales con nitrógeno y fosforo tomándose un tiempo de 6 a 9 semanas, las plantas con 6 semanas de desarrollo son ideales para la utilización en humedales donde predomine el fosforo, nitrógeno, hierro y aluminio.

También, en el estudio de Porras (2017), la eficiencia de los humedales con el buchón de agua fue de 89% de remoción, porcentaje similar se encontró en el estudio de Hernández y Luna (2016), en donde se reportó un valor de 90% de manera que estos hallazgos tienen una similitud con este estudio en donde el porcentaje fue del 95%, de acuerdo con Hernández y

Luna (2016), esto se debe a la presencia de bacterias asociadas a la planta, ya que el nitrógeno se elimina por fenómenos de nitrificación-desnitrificación y amonificación bacteriana. Motivo por el cual dicha asociación planta –bacteria, es de vital importancia en el proceso de purificación del agua y permiten robustecer su papel biológico en la remoción de contaminante.

7.3.1.1 Eficiencia de remoción de metales pesados del efluente por la especie Jacinto de agua

Para la determinación de la eficiencia de remoción de metales pesados en el efluente se tuvo en cuenta los valores iniciales de concentración de metales pesados de la primera caracterización, y los valores finales de concentración obtenidos en la caracterización final. Los resultados se evidencian a continuación expresados en porcentaje de eficiencia de remoción por cada metal:

Tabla 6

Eficiencia de remoción de metales pesados

Metal	Caracterización inicial	Caracterización Final	Eficiencia de remoción
Níquel	0,258	< 0.2	22,5%
Cadmio	< (0.050)	<(0.050)	0%
Zinc	0.618	0.5944	3.8%
Plomo	< (0.100)	<(0.100)	0%

Fuente: Autor, 2021

La tabla previa permite evidenciar que la especie (*Elchhornia Crassipesmart*) realizó remoción de los metales pesados en mayor proporción por el metal níquel, con una eficiencia del 22,5% del efluente, y del Zinc, con una eficiencia menor del 3,8%. En el caso de los metales Cadmio y Plomo, no hubo remoción de estos en el efluente, pues las concentraciones antes y después determinadas permanecieron en la misma proporción, o bien, al ser estas tan bajas, teniendo concentración en el caso del Cadmio < (0.050), y el caso del Plomo < (0.100), su remoción no será significativa o nula.

En el caso de las concentraciones obtenidas en la caracterización inicial y final se pudo evidenciar que ninguna de estas supera los niveles máximos permisibles por la Res. 0631/2015, sin embargo, el tratamiento propuesto por la especie permite mantener los niveles bajos, además de ofrecer una alternativa de tratamiento para esta planta, la cual es considerada una de las mayores invasoras acuáticas, y que hoy en día representa una problemática ambiental para la ciénaga de la Zapatosa. A continuación, se pueden observar las concentraciones iniciales y finales de cada metal identificado comparado con la normatividad.

Tabla 7

Comparación de las concentraciones de metales pesados con la normatividad ambiental

Metal	Caracterización inicial	Caracterización Final	Res 0631 de 2015	Cumplimiento de la normatividad
Níquel	0,258	< 0.2	0,50	Cumple
Cadmio	< (0.050)	< (0.050)	0,05	Cumple
Zinc	0.618	0.5944	3,00	Cumple
Plomo	< (0.100)	< (0.100)	0,20	Cumple

Fuente: Autor, 2021

Con referencia a los resultados nos permiten evidenciar la eficiencia de remoción de los metales pesados Níquel y Zinc, por parte de la especie (*Elchhornia Crassipesmart*) con porcentajes de remoción en mayor proporción del metal níquel, con una eficiencia del 22,5% y del Zinc, con una eficiencia menor del 3,8%. En el caso de los metales Cadmio y Plomo, no hubo remoción de estos en el efluente, pues las concentraciones antes y después determinadas permanecieron en la misma proporción. Así mismo, se identificó que los metales objeto de estudio no están superando las concentraciones permitidas por la resolución 0631 de 2015, en ninguna de las caracterizaciones realizadas.

En cuanto a esto se puede mencionar que la especie (*Elchhornia Crassipesmart*) presenta remociones significativas solo en el metal Níquel con un 22,5% de eficiencia. Aparte, es importante, puesto que, permite vislumbrar el potencial de la especie para la retención de

metales, y así mismo, ofrecer una nueva estrategia sostenible como lo es la remoción de metales pesados y, por ende, reducir el impacto ambiental asociado a la invasión de esta, la cual es considerada una de las especies acuáticas más invasoras del mundo, según el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible en el año 2018.

8. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se puede deducir las siguientes conclusiones, dando cumplimiento a los objetivos previstos.

En primer lugar, la caracterización de los lixiviados mostró valores altos con relación a la materia orgánica (1096 mg/L), nitrógeno total (596.96 mg/L) y amoniacal (523.04 mg/L) y en menor medida incluso cumpliendo con la normatividad los parámetros de metales pesados, de manera que el lixiviado se clasificó como joven y con una relación DBO/BQO mayor a 0,6 por tanto tiene una buena biodegradabilidad. Asimismo, parámetros como el cloruro (1459.12 mg/L), alcalinidad (5280.00 ppm) y conductividad (12420.09 μ S/cm) se encuentran por encima de los valores permitidos por la normatividad que es la resolución 0631 del 2015, de manera general se puede concluir a partir de estos valores que los lixiviados son una fuente de contaminación que podría afectar y/o impactar gravemente los ecosistemas. Además, los metales pesados (níquel, cadmio, zinc y plomo) se encuentran dentro de lo permitido por la normatividad que es la resolución 0631 del 2015.

En cuanto al diseño del humedal este se realizó teniendo en cuenta todos los lineamientos establecidos por autores de referencia, obteniendo un humedal con 0,67 m de ancho, 0,36 m de largo, una pendiente de 0,07 m y un área superficial de 0,24 m², el caudal fue de 0,060 m³ y se trabajó con un tiempo de retención de 17,28 hr. Luego de este diseño el periodo de adaptación mostró resultados positivos obteniendo una aparente adaptación a partir de la segunda semana, la cual fue más notoria en la tercera y cuarta semana en donde la especie empezó a crecer y se observaron tallos nuevos.

En lo que respecta a la concentración final de los parámetros, es decir el afluente del humedal se encontraron eficiencias del 69% para el caso de la materia orgánica representada por DBO y DQO, así como del 95% para nitrógeno total y amoniacal, asimismo en el níquel se observó una ligera disminución representada por el 22,5% y un 3,8% de eficiencia para el metal zinc; en menor medida los sólidos tuvieron valores del 41%, la alcalinidad del 61% y conductividad del 46%.

En el caso de la eficiencia de remoción de metales pesados objetos de estudio por parte de la especie (*Elchhornia Crassipesmart*) los resultados antes vistos permiten evidenciar que los metales pesados Níquel y Zinc, lograron porcentajes de remoción en mayor proporción del

metal níquel, con una eficiencia del 22,5% y del Zinc, con una eficiencia menor del 3,8%. En el caso de los metales Cadmio y Plomo, no hubo remoción de estos en el efluente, pues las concentraciones antes y después determinadas permanecieron en la misma proporción. Así mismo, se identificó que los metales objeto de estudio no están superando las concentraciones permitidas por la resolución 0631 de 2015, en ninguna de las caracterizaciones realizadas.

En lo que respecta a la eficiencia del tratamiento cabe resaltar que es fundamental el tiempo de adaptación de la especie ya que si hay una buena adaptación de esta a las condiciones sometidas garantizara unos resultados positivo.

Asimismo, es importante, puesto que, permite vislumbrar el potencial de la especie para la retención de metales, y así mismo, ofrecer una nueva estrategia sostenible como lo es la remoción de metales pesados y, por ende, reducir el impacto ambiental asociado a la invasión de esta, la cual es considerada una de las especies acuáticas más invasoras del mundo, según el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible en el año 2018.

Finalmente, este estudio tuvo un gran aporte para nosotros como ingenieros ambiental y sanitarios dado que permitió conocer una problemática de estudio y proponer una solución a la misma a partir de su sistema de tratamiento no convencional y/o natural con el cual se puede complementar los procesos tradicionales e aras de lograr un mejor rendimiento lo que se traduce en una mejor protección y conservación de la flora y fauna.

9. RECOMENDACIONES

En el caso de las recomendaciones se pueden mencionar las siguientes:

Ampliar las investigaciones y/o estudios sobre la temática en donde se pueden comparar las eficiencias con otras especies bajo las condiciones de humedales artificiales, esto con la finalidad de evaluar el comportamiento de distintas especies, así como la remoción de parámetros fisicoquímicos y metales pesados.

Evaluar la eficiencia de remoción de metales pesados diferentes a los estudiados en la investigación en referencia, con la finalidad de observar el comportamiento de los demás y determinar que metal pesado posee una eficiencia de remoción mayor con la especie estudiada, de esta manera se pueden determinar distintas alternativas sostenibles de humedales artificiales.

Incentivar la dotación de equipos y reactivos necesarios para la realización de laboratorios de agua en las instalaciones de la Universidad Popular del Cesar.

Ampliar el número de muestras con el fin de observar un comportamiento más completo en estos sistemas, donde se puedan identificar promedios de remoción y así mismo, que condiciones son más favorables para alcanzar una mayor eficiencia de acuerdo con cada metal estudiado.

Utilizar la especie cuando está se encuentra pequeña con el fin de tener mayor durabilidad, adaptación y posibilidad de crecimiento durante el proceso de remoción.

Monitorear el pH en el desarrollo de los experimentos, dado que la planta a condiciones alcalinas no funciona muy bien. En caso de que este sea muy alcalino, se recomienda utilizar ácido acético para lograr neutralizarlo, y de esta manera aumentar la eficiencia de remoción.

No remover la lenteja de agua que se encuentra en la raíz de la planta dado que estas sirven para su aireación y favorece la remoción de metales pesados en el efluente.

En la eficiencia de tratamiento debemos tener en cuenta que todo depende del tiempo y adaptación de la especie.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, C., & Brix, H. (2003). artificiales para el tratamiento de aguas residuales Abstract, 17–24.
- Arias, F. (2006). El Proyecto de investigación. 6ta edición. Editorial Espisteme. Recuperado de: [\(PDF\) EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN 6a EDICIÓN \(researchgate.net\)](#)
- Arévalo, A., Vélez, S., Hernández, Y., Ramon, A., & Medina, A. (2016). Análisis de la capacidad de depuración de Eichhornia crassipes, Crysopogon zizanioides y Typha latifolia, respecto a parámetros fisicoquímicos de lixiviados del relleno sanitario el Guayabal utilizando humedales artificiales. Revista Ambiental agua, aire y suelo, Colombia, Colombia.
- Chávez, A., Pinzón, F y Casallas, N. (2016) Fitorremediación como un proceso de descontaminación para lodos de lixiviado provenientes de rellenos sanitarios. Semilleros. 3 (5), p. 87-92
- Casierra-Posada, Fánor, & Poveda, Jeimy. (2005). La toxicidad por exceso de Mn y Zn disminuye la producción de materia seca, los pigmentos foliares y la calidad del fruto en fresa (Fragaria sp. cv. Camarosa). Agronomía Colombiana, 23(2), 283-289. Retrieved October 24, 2021.
- Camacho, H y Díaz, L. (2017). Determinación de la eficiencia de remoción de dos humedales artificiales a través de los medios filtrantes (carbón activado bituminoso y de cascara de coco) y el junco. (Tesis de pregrado). Universidad Popular del Cesar.
- Delgadillo, A., González, C., Prieto, F, Villagómez, J y Acevedo, O (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. Tropical and Subtropical Agroecosystems. Vol. 14. P. 597- 612.
- EPA (2000). https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/cs_00_023.pdf

EPA. (2000). United States Environmental Protection Agency. Manual of Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. EPA/625/R- 99/010. September 2000. <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL>. Pg. 75, 165p.

El Pilón. (2017). Advierten sobre posible contaminación de fuentes hídricas desde el relleno sanitario Los Corazones. Recuperado de: [Advierten sobre posible contaminación de fuentes hídricas desde el relleno sanitario Los Corazones - El Pilón | Noticias de Valledupar, El Vallenato y el Caribe Colombiano \(elpilon.com.co\)](#)

García J. y Corzo A. (2008). Depuración con Humedales Construidos. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España.

Guevarra, A Guanoluisa, L y De La Torre, E (2014) Diseño de Sistemas de Tratamiento de Lixiviados del Relleno Sanitario El Inga mediante Electrocoagulación y Fitorremediación. REVISTA EPN, VOL. 34, NO. 1, pp. 1 – 8.

Giraldo, E. (2014). Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: avances recientes. Revista de ingeniería, 0(14), 44-55. doi:10.16924/riua. v0i14.538

Gómez Vásquez, E. (2018). Afectaciones Ambientales De Los Lixiviados Generados En Los Rellenos Sanitarios Sobre El Recurso Agua (Doctoral dissertation, Universidad Industrial de Santander, Escuela De Química).

Hernández Puerta, N., & Luna Galvis, J. S. (2016). Prueba piloto para la evaluación de la eficiencia de las plantas fitorremediadoras del humedal Las Tinguas, en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Hafida el Mai (2013). Técnicas de preconcentración en el análisis de metales traza. Fraccionamiento químico en el control de la contaminación metálica de la bahía de Tánger.

Jerez, J (2013) Remoción de metales pesados en lixiviados mediante fitorremediación (Tesis de pregrado). Ciudad Universitaria Rodrigo Facio. Costa Rica.

Kadlec, R.H. y Knight, R.L. Treatment Wetlands. CRC Press LLC. 1996, Boca Ratón, Nueva Cork, USA.

- Martelo, J y Lara, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniería y ciencia*. Vol. 8. No. 5. 221 – 243.
- Méndez, R; Castillo, E; Sauri, M; Quintal, C; Giancoman, G; Jiménez, B. (2009). Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 25 (3).
- Mena, J. (2010). Depuración de aguas residuales con humedales artificiales : Ventajas de los sistemas híbridos. *Congreso Nacional de Medio Ambiente*, 1–25.
- Molle, P., Liénard, A., Grasmick, A., & Iwema, A. (2003). Phosphorus retention in subsurface constructed wetlands : investigations focused on calcareous materials and their chemical reactions.
- Molina. (2016). Diseño de un humedal artificial con macrófitos para la depuración y reducción de los lixiviados provenientes de las piscinas de lixiviados del parque tecnológico ambiental Las Bateas, en el municipio de Aguachica, Cesar. Ocaña: Universidad Francisco de Paula Santander
- Nájera, H., Castañón J., Figueroa, J. y Rojas-Valencia, M. (septiembre, 2009). Caracterización y tratamiento fisicoquímico de lixiviados maduros producidos en el sitio de disposición final de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Trabajo presentado en II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos de Red de Ingeniería en Saneamiento Ambiental, Barranquilla, Colombia.
- Novelo, R. M., López, A. N., Peraza, V. C., Borges, E. C., & Riancho, M. S. (2008). Remoción de materia orgánica y metales pesados de lixiviados por flotación con aire disuelto. *Ingeniería*, 12(1), 13-19.
- Núñez, R., Meas, Y., Ortega, R y Olguín, E (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. Recuperado de: https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf
- Núñez, E y Reyes, E. (2016). Determinación de los índices de calidad del agua del río Cesar en el tramo corregimiento Guacochito-corregimiento los calabazos en el departamento del Cesar. (Tesis de pregrado). Universidad Francisco de Paula Santander.
- Pettecrew, E. L., & Kalf, J. (1992). Water Flow and Clay Retention in Submerged Macrophyte

- Porras Pardo, C. N. (2017). Estudio del buchón de agua (*Eichornia Crassipes*) para el tratamiento de aguas residuales.
- Poveda, R. A. (2014). Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizadas en el Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua (Bachelor's thesis).
- QARANI S., ABDUL H., SUFFIANI M., BASHIR M. y UMAR M., (2010), Leachate characterization in semi-aerobic and anaerobic sanitary landfills: A comparative study, *Journal of Environmental Management*.
- Sanders, L. (1998). *A manual of field hydrogeology*. Prentice-hall. 381 p.
- Sandoval Vilchez, J. D. (2019). Eficiencia del jacinto de agua *eichhornia crassipes* y lenteja de agua *lemna minor* l. en la remoción de cadmio en aguas residuales.
- Sánchez, M. (2010). Contaminación por metales pesados en el botadero de basuras de moravia en Medellín: transferencia a flora y fauna y evaluación del potencial fitorremediador de especies nativas e introducidas. (Tesis de pregrado). Universidad Javeriana. Recuperado de: [cien38.pdf](#)
- Renou S., Givaudan J., Poulain S., Dirassouyan F. Y Moulin P., (2008), Landfill leachate treatment: Review and opportunity, *Journal of hazardous materials*, Vol. 150, p. 468-493.
- Romero, O. E. T., Tovar, A. L. Q., & Suarez, J. C. V. (2020). Tratabilidad de los lixiviados del relleno sanitario los corazones de la ciudad de Valledupar mediante el uso de carbón activado. *RIAA*, 11(1), 2.
- Rojas, P., Suyon, P. (2020). Eficiencia de fitorremediación con jacinto de agua (*eichhornia crassipes*) para disminuir concentraciones de arsénico en aguas del centro poblado cruz del medano - morrope – 2019. (tesis de pregrado). Universidad de Lambayeque.
- Trujillo Romero, O. E., Quintero Tovar, A. L., & Vega Suarez, J. C. (2020). Tratabilidad de los lixiviados del relleno sanitario los corazones de la ciudad de Valledupar mediante

el uso de carbón activado. Revista De Investigación Agraria Y Ambiental, 11(1), 77 - 90.


Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P. F., Green, M. B., & Haberl, R. (1998). Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe.

Velásquez, Rojas, V., Monge y Londoño (s.f). Alternativa de tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios en plantas de aguas residuales urbanas. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico2005/orta.pdf>

ANEXOS

Anexo 1

Resultados de parámetros fisicoquímicos y metales (Laboratorio de la Universidad de Córdoba).

 NIT 891080091-3	UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA	CÓDIGO: FLA-036
	INFORME DE RESULTADOS	07-10-20
	LABORATORIO DE AGUAS	VERSIÓN: N° 09


INFORME N° 113

Fecha: 21/09/21

CLIENTE: DERLYS DAZA CASTRILLON	DIRECCIÓN MZ E CASA 3 URBANIZACIÓN OGB - VALLEDUPAR
TELÉFONO 3046772772	NIT/CC # 1065605764
INTERESADO DERLYS DAZA CASTRILLON	

MUESTRA			MUESTREO								
TIPO DE MUESTRA	CÓDIGO DEL LABORATORIO	FECHA DE RECIBIDO	PLAN DE MUESTREO N°	FECHA	LUGAR DONDE SE REALIZA LA ACTIVIDAD	PUNTO	HORA	TOMADA POR:	CONDICIONES AMBIENTALES Y DE PRESERVACIÓN	NÚMERO DE ALÍCUOTAS	NÚMERO DE MUESTRAS
Agua Residual	240821-01	24/08/21	NA	NA	Valledupar	Relleno Sanitario - Los Corazones	NA	CLIENTE	NA	1	1
PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	FECHA DE EJECUCIÓN	RESULTADO							
pH	Unidades de pH	SM 4500-H+ B	24/08/2201	7.47							
Conductividad Eléctrica	µS/cm	SM 2510 B	24/08/2201	12420.00							
Alcalinidad	mg/L	SM 2320 B	24/08/2201	5280.00							
DBO5	mg/L	SM 5210 B	24/08/2201	2965.84							
DQO	mg/L	SM 5220 C	30/08/2021	4993.29							
Dureza total	mg/L	SM 2340 C	30/08/2021	1330.00							
Sólidos Totales	mg/L	SM 2540 B	30/08/2021	10668.00							
Sólidos Disueltos	mg/L	SM 2540 C	30/08/2021	9734.00							
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	SM 4500-NH3 B,C	30/08/2021	523.04							
Nitrógeno Total	mg/L	SM 4500-NORG C, 4500-NH3 C	30/08/2021	596.96							
Níquel*	mg/L	SM 3030 E, SM 3111 B	11/09/2021	0,258							
Cadmio	mg/L	SM 3030-G; SM 3111-B	31/08/2021	<(0.050)							
Zinc	mg/L	SM 3030-G; SM 3111-B	31/08/2021	0.618							
Plomo	mg/L	SM 3030-G; SM 3111-B	31/08/2021	<(0.100)							
Cloruros	mg/L	SM 4500-Cl- B	30/08/2021	1459.12							

OBSERVACIONES: *Análisis subcontratados a laboratorio Chemilab (Chemical Laboratory)

 NIT 891080031-3	UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA	CÓDIGO: FLA-036
	INFORME DE RESULTADOS	07-10-20
	LABORATORIO DE AGUAS	VERSIÓN: N° 09

INFORME N° 123
Fecha: 06/10/21

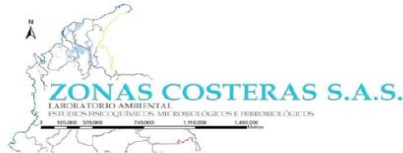
CLIENTE: DERLYS DAZA CASTRILLON	DIRECCIÓN: MZ E CASA 3 URBANIZACIÓN OGB - VALLEDUPAR
TELÉFONO: 3046772772	NIT/CC #: 1065605764
INTERESADO: DERLYS DAZA CASTRILLON	

MUESTRA			MUESTREO								
TIPO DE MUESTRA	CÓDIGO DEL LABORATORIO	FECHA DE RECIBIDO	PLAN DE MUESTREO N°	FECHA	LUGAR DONDE SE REALIZA LA ACTIVIDAD	PUNTO	HORA	TOMADA POR:	CONDICIONES AMBIENTALES Y DE PRESERVACIÓN	NÚMERO DE ALÍCUOTAS	NÚMERO DE MUESTRAS
Agua Residual	140921-01	14/09/21	NA	NA	Valledupar	Salida Relleno Sanitario - Los Corazones	NA	CLIENTE	NA	1	1
PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	FECHA DE EJECUCIÓN	RESULTADO							
pH	Unidades de pH	SM 4500-H+ B	14/09/2021	8.49							
Conductividad Eléctrica	µS/cm	SM 2510 B	14/09/2021	6764.00							
Alcalinidad	mg/L	SM 2320 B	15/09/2021	2055.00							
DBO5	mg/L	SM 5210 B	14/09/2021	912.25							
DQO	mg/L	SM 5220 C	15/09/2021	1528.66							
Dureza total	mg/L	SM 2340 C	15/09/2021	740.00							
Sólidos Totales	mg/L	SM 2540 B	23/09/2021	6282.0							
Sólidos Disueltos	mg/L	SM 2540 C	23/09/2021	5746.00							
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	SM 4500-NH3 B,C	29/09/2021	26.32							
Nitrógeno Total	mg/L	SM 4500-NORG C, 4500-NH3 C	21/09/2021	32.20							
Níquel*	mg/L	SM 3030 E, SM 3111 B	24/09/2021	<0.2							
Cadmio	mg/L	SM 3030-G; SM 3111-B	23/09/2021	<(0.050)							
Zinc	mg/L	SM 3030-G; SM 3111-B	24/09/2021	0.5944							
Plomo	mg/L	SM 3030-G; SM 3111-B	24/09/2021	<(0.100)							
Cloruros	mg/L	SM 4500-Cl- B	15/09/2021	1316.85							

OBSERVACIONES: *Análisis subcontratados a laboratorio Chemilab (Chemical Laboratory)

Anexo 2.

Resultados de parámetros fisicoquímicos (Laboratorio Bioindalamb).



INFORME DE ENSAYOS 2021-0515

Ciente: ANABEL JUNCO CASTRILLÓN
Solicitante: Sra. Anabel Junco Castrillón
Dirección: Carrera 27 # 45-71
Ciudad: Valledupar – Cesar

NIT/C.C.: 1.065.839.889
Teléfono: 304 6120287
Correo E.: juncocastrillon27@gmail.com

ID Lab	ID de muestra	Tipo de muestra	Lugar de muestreo	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
5004-1	MUESTRA DE AGÜA RESIDUAL ANABEL JUNCO CASTRILLON	ARnD	RELLENO SANITARIO	2021-08-23	09:43

Plan de muestreo:	Muestras entregadas por el cliente:	Fecha de recepción:	2021-08-23	Inicio de ensayos:	2021-08-23	Finalización de ensayos:	2021-09-23
Proc. de muestreo:	No aplica	Fecha de reporte de informe de ensayos:	2021-09-23				

ENSAYO	METODO DE REFERENCIA	UNIDAD	VALOR DE REFERENCIA	LDM	LCM	RESULTA 5004-1
Carbono Orgánico Total			No aplica	No aplica	No aplica	1096
Sólidos Suspendedos Totales	SM 2540 D/Gravimétrico-Secado 103°C – 105°C	mg /L	No aplica	No aplica	6,0	16,6
Grasas y Aceites	SM 5520 D / Extracción Soxhlet	Mg/L	No aplica	3,0	10,0	213

LDM: Límite de detección del método es la menor cantidad del mensurado que puede ser detectada en la matriz sujeta a ensayo.
LCM: Límite de cuantificación del método, en la menor cantidad a partir de la cual se puede determinar el mensurado con exactitud y precisión aceptadas bajo las condiciones del laboratorio, en la matriz sujeta a ensayo.

Aprobo:


Campo Elias Caselles
Director de Areas Técnicas

ZONAS COSTERAS S.A.S.
NIT. 900.584.424-1

Las condiciones ambientales durante el ensayo se encuentran registrados en el laboratorio, disponibles cuando sean requeridos por el cliente. Los resultados reportados son válidos solo para las muestras ensayadas. Prohibido reproducir este informe parcialmente, excepto en su totalidad, bajo la aprobación estricta del laboratorio.


INFORME DE ENSAYOS 2021-0583

Cliete: ANABEL JUNCO CASTRILLÓN
Solicitante: Sra. Anabel Junco Castrillón
Dirección: Carrera 27 # 45-71
Ciudad: Valledupar – Cesar

NIT/C.C.: 1.065.839.889
Teléfono: 304 6120287
Correo E.: juncoastrillon27@gmail.com

ID Lab	ID de muestra	Tipo de muestra	Lugar de muestreo	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
5004-1	MUESTRA DE AGUA RESIDUAL ANABEL JUNCO CASTRILLON	ARnD	RELLENO SANITARIO	2021-09-13	10:36

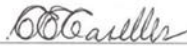
Plan de muestreo:	Muestras entregadas por el cliente	Fecha de recepción:	2021-09-13	Inicio de ensayos	2021-09-13	Finalización de ensayos	2021-10-08
Proc. de muestreo:	No aplica	Fecha de reporte de informe de ensayos:	2021-10-08				

ENSAYO	MÉTODO DE REFERENCIA	UNIDAD	VALOR DE REFERENCIA	LDM	LCM	RESULTADOS
						5004-1
Carbono Orgánico Total	COT STM/Fotométrico	mg COT/L	<5	No aplica	0,01	1160
Sólidos Suspendidos Totales	SM 2540 D/Gravimétrico-Secado 103°C – 105°C	mg /L	No aplica	No aplica	6,0	20,3
Grasas y Aceites	SM 5520 D / Extracción Soxhlet	Mg/L	No aplica	3,0	10,0	250

LDM: Límite de detección del método es la menor cantidad del mensurado que puede ser detectada en la matriz sujeta a ensayo.

LCM: Límite de cuantificación del método, en la menor cantidad a partir de la cual se puede determinar el mensurado con exactitud y precisión aceptadas bajo las condiciones del laboratorio, en la matriz sujeta a ensayo.

Aprobó:



Campo Elías Caselles
 Director de Áreas Técnicas

ZONAS COSTERAS S.A.S.
 NIT. 900.584.424-1

Las condiciones ambientales durante el ensayo se encuentran registrados en el laboratorio, disponibles cuando sean requeridos por el cliente. Los resultados reportados son válidos solo para las muestras ensayadas. Prohibido reproducir este informe parcialmente, excepto en su totalidad, bajo la aprobación estricta del laboratorio.