

Eficiencia del pasto vetiver (*chrysopogon zizanioides*) en la remoción de metales pesados de los lixiviados del relleno sanitario La Guaratara del municipio de Granada – Meta

Tatiana Landinez Vargas

Erika Julieth Cubides Forero

Director:

Sergio Suarez Palacios

Ingeniero ambiental

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA)

Programa Tecnología en Saneamiento Ambiental

Acacías - Meta

2018

Eficiencia del pasto vetiver (*chrysopogon zizanioides*) en la remoción de metales pesados de los lixiviados del relleno sanitario La Guaratara del municipio de Granada – Meta

Tatiana Landinez Vargas

Erika Julieth Cubides Forero

**Trabajo de grado para optar al título:
“Tecnólogo en Saneamiento Ambiental”**

Director

Sergio Suarez Palacios

Ingeniero ambiental

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA)

Programa Tecnología en Saneamiento Ambiental

Acacías - Meta

2018

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del jurado

Agradecimientos

Le agradezco a DIOS por haberme brindado una vida llena de aprendizajes, porque gracias a su bendición hoy estoy aquí haciendo realidad una de mis metas alcanzadas.

A mi padre Tito Cubides y a mi madre Tania Forero, porque sin su esfuerzo y dedicación esto no hubiese sido posible. Por brindarme cada día su amor, por animarme cuando me sentía no poder más y por ser mi motor para triunfar para que se sientan orgullosos. Sobre todo, por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A Tatiana Landinez por ser mi amiga y acompañarme completamente en este proceso. Por sus traspasadas junto a mí, porque juntas hemos recorrido este camino, hemos luchado, compartido éxitos, risas, llanto, pero sobre todo por el ánimo que nos brindamos de la una a la otra.

Al Ingeniero Sergio Suarez por compartir su conocimiento y ayuda incondicional, quién nos orientó durante el desarrollo de este proyecto para que este logro hoy se haga realidad.

Erika Cubides

Agradecimientos

Le doy gracias a Dios, por cada detalle y momento durante la realización de este proyecto, gracias por ser la base de mi moral, por cada día en el que me permitió despertar no solo con vida, sino que también me permitió continuar con salud, fuerzas y empeño para poder culminar con éxitos este proyecto.

A mis padres Floriberto Landinez Pardo y Luz Miriam Vargas, por ser mis principales motores de mis sueños, por la formación y educación que con mucho esfuerzo e ímpetu lograron enseñarme, por haberme forjado como la persona que soy, y sobre todo por su apoyo incondicional que permitió que este sueño hoy se haga realidad.

A mis hermanas por ser mis mejores amigas, y sobre todo por permitirme hacer parte de sus vidas, las amo a todas y cada una de ellas, Mónica, Heidy, Mindrea y Diana; a pesar de nuestras diferencias siempre están presentes en mi vida.

A mi compañera y amiga Erika Cubides por su amistad incondicional, por estar siempre presente en cada etapa de este proceso, y sobre todo por estar ahí de una manera incondicional cuando más la necesito.

A mi amigo Carlos Gonzales, por todo el apoyo que me brindo, por su comprensión, por empujarme a continuar con este proceso cuando sentía no poder más, por toda la ayuda que me brindo a lo largo de la carrera, y sobre todo por impulsarme a emprender este sueño que hoy se está haciendo realidad.

Al ingeniero Sergio Suarez, por estar involucrado en cada paso de este proyecto, por su paciencia, por compartir sus conocimientos que fueron de gran ayuda para que hoy este proyecto culmine con éxito.

Tatiana Landinez

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a DIOS, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud y sabiduría para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor. A mis padres quien con mucho cariño, amor y ejemplo han hecho de mí una persona con valores. A mi gran amiga y compañera Tatiana por ser mi compañía durante este proceso. A todos y cada uno de ellos les dedico cada una de estas páginas.

Erika Cubides

Dedicatoria

Dedico este proyecto principalmente a Dios, ya que, gracias a él, he logrado terminar mi carrera, por darme vida y salud para alcanzar mis metas como persona y como profesional.

A mis padres, porque siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo de una manera incondicional y alentándome en mis momentos más difíciles. Porque creyeron en mí, porque en gran parte gracias a ustedes hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre han estado presentes en cada etapa de mi vida. El hecho de saber que se iban a sentir orgullosos de mí, por haber alcanzado esta meta fue lo que me hizo ir hasta el final, por eso estas páginas son para ustedes, por lo que valen, porque los admiro y por todo lo que han hecho por mi durante todos estos años de mi existencia.

Tatiana Landinez

Contenido

Resumen.....	14
Abstract.....	15
1. introducción.....	16
2. Definición del problema	18
3. Objetivos	22
3.1 General.....	22
3.2 Específicos	22
4. Justificación.....	23
5. Marco referencial.....	25
5.1 Marco geográfico	25
5.2 Marco conceptual.....	27
5.2.1 Relleno sanitario.....	27
5.2.2 Lixiviado.....	27
5.2.3 Metales pesados.....	27
5.2.4 Hidropónico.....	31
5.2.5 Pasto Vetiver.....	32
5.3 Marco teórico	32

6. Metodología	40
7. Resultados.....	46
7.1 Determinación inicial de parámetros	46
7.2 Seguimiento continuo al proceso de remoción de metales pesados con el cultivo hidropónico	47
7.2.1 Calculo de la tasa de evaporación y absorción.	48
7.2.2 Calculo del volumen del lixiviado absorbido (Vabs) por la planta (Vetiver).	50
7.2.3 Calculo del volumen de lixiviado absorbido por metro cuadrado del área cubierta con pasto vetiver.....	50
7.3. Análisis comparativo de los parámetros estudiados, antes y después de utilizar el sistema de tratamiento Vetiver.....	53
7.3.1 Porcentaje de remoción de Aluminio.	54
7.3.2 Porcentaje de remoción de Arsénico.	55
7.3.3 Porcentaje de remoción de Cadmio.....	56
7.3.4 Porcentaje de remoción de Zinc.....	57
7.3.5 Porcentaje de incremento Plomo.....	58
7.3.6 Porcentaje de incremento Plata.	59
7.3.7 Porcentaje de incremento de Mercurio.....	60
7.3.8 Porcentaje de incremento Níquel.....	61
7.3.9 Porcentaje de incremento Manganeso.....	62
7.3.10 Porcentaje de incremento Cromo.	63
7.3.11 Porcentaje de incremento Cobalto.	64

7.3.12 Porcentaje de incremento Cobre.....	65
8. Discusión	66
9. Conclusiones	73
10. Recomendaciones	75
Bibliografía	77

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. localización relleno sanitario la guaratara	26
Ilustración 2. localización del lote	26
Ilustración 3. construcción área montaje piloto	41
Ilustración 4. construcción área montaje piloto	41
Ilustración 5. lixiviado	42
Ilustración 6. agua.....	42
Ilustración 7. recipiente.....	42
Ilustración 8. montaje malla y vetiver.....	42
Ilustración 9. adaptación de bomba	42
Ilustración 8. montaje malla y vetiver.....	42
Ilustración 11. color del lixiviado al inicio	47
Ilustración 12. color del lixiviado al final	47
Ilustración 13. volumen inicial del lixiviado	47
Ilustración 14. volumen final del lixiviado.....	47
Ilustración 15. raíz del vetiver al inicio	51
Ilustración 16. raíz del vetiver al final	51
Ilustración 17. pasto vetiver al inicio	51
Ilustración 18. pasto vetiver a los 5 días	51
Ilustración 19. pasto vetiver a los 17 días	52
Ilustración 20. pasto vetiver a los 23 días	52
Ilustración 21. hongo macroscópicamente.....	52
Ilustración 22. hongo microscópicamente	52

Indice de tablas

Tabla 1	46
Tabla 2	53

Índice de gráficas

Gráfica 1. Volumen inicial y final del lixiviado	48
Gráfica 2. Concentración de Aluminio vs días	54
Gráfica 3. Concentración Arsénico vs días	55
Gráfica 4. Concentración de Cadmio vs días	56
Gráfica 5. Concentración de Zinc vs días	57
Gráfica 6. Concentración de Plomo vs días	58
Gráfica 7. Concentración de Plata vs días	59
Gráfica 8. Concentración de Mercurio vs días.....	60
Gráfica 9. Concentración de Níquel vs días.....	61
Gráfica 10. Concentración de Manganeso vs días	62
Gráfica 11. Concentración de Cromo vs días	63
Gráfica 12. Concentración de Cobalto vs días.....	64
Gráfica 13. Concentración de Cobre vs días.....	65

Resumen

Para llevar a cabo este estudio se construyó un sistema piloto bajo condiciones hidropónicas, utilizando 1 caneca con capacidad de 30 litros con el montaje de flotadores y Vetiver, en la cual se agregaron 18 litros del efluente de la piscina de almacenamiento de lixiviados del relleno sanitario y 2 litros de agua, este tuvo una duración y retención de 40 días.

Se realizó un análisis de laboratorio antes del tratamiento, para determinar el contenido de metales pesados presentes en el lixiviado; luego del contacto de estos con las raíces, a los 40 días se procedió a una toma final, con el fin de evaluar la eficiencia del Pasto Vetiver en la remoción de aluminio, arsénico, cadmio, cobre, cobalto, cromo, manganeso, mercurio, níquel, plata, plomo y zinc; tratando de encontrar una restauración de dichos parámetros hasta alcanzar una remoción del 80% de los metales pesados presentes en el lixiviado.

Con la implementación del sistema se obtuvieron resultados significativos como la reducción de la concentración de los metales aluminio, arsénico, cadmio y zinc. Del mismo modo se presentaron cambios organolépticos positivos en el color y olor del lixiviado, así como también una disminución del volumen de este.

PALABRAS CLAVE: Hidropónico, lixiviado, metales pesados, relleno sanitario, vetiver.

Abstract

To carry out this study, a pilot system was built under hydroponic conditions, using 1 canister with a capacity of 30 liters with the assembly of floats and Vetiver, in which 18 liters of the effluent from the leachate storage pool of the sanitary landfill were added. and 2 liters of water, this had a duration and retention of 40 days.

A laboratory analysis was carried out before the treatment, to determine the content of heavy metals present in the leachate; after the contact of these with the roots, at 40 days a final intake was taken, in order to evaluate the efficiency of the Vetiver Grass in the removal of aluminum, arsenic, cadmium, copper, cobalt, chromium, manganese, mercury, nickel, silver, lead and zinc; trying to find a restoration of these parameters until reaching a removal of 80% of the heavy metals present in the leachate.

With the implementation of the system, significant results were obtained such as the reduction of the concentration of the metals aluminum, arsenic, cadmium and zinc. In the same way, positive organoleptic changes in the color and odor of the leachate were presented, as well as a decrease in the volume of this.

KEYWORDS: Hydroponics, leachate, heavy metals, landfill, vetiver.

1. Introducción

El desarrollo poblacional ocasiona un aumento en la generación de elevadas cantidades de residuos sólidos. Una de las alternativas de disposición final de estos desechos son los rellenos sanitarios, estos son sitios seleccionados adecuadamente para depositar todos los residuos generados por la actividad humana. (Baig et al, 1999) citado por Cristancho Diana (2013) afirma “Como resultado de la descomposición de los residuos sólidos que allí se depositan se genera un lixiviado con características muy variables en términos de caudal y composición, pero altamente contaminante p.6.”

Los lixiviados son los líquidos producidos en el proceso de percolación por los diferentes tipos de residuos, en los cuales se pueden presentar grandes cantidades de sustancias con altos contenidos de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y de sustancias tóxicas como metales pesados, a su vez son considerados como el principal contaminante producido en los rellenos sanitarios, ya que estos producen un gran impacto ambiental en el momento que estos líquidos se filtran al subsuelo contaminando las aguas subterráneas y superficiales, tiene también efectos negativos sobre la salud humana, cultivos y actividades productivas que se generen en su zona de influencia.

Granada Meta y 10 Municipios más (Cubarral, Guamal, El Dorado, San Martín, Fuente de Oro, Lejanías, Mesetas, Puerto Lleras, Vista Hermosa y San Juan de Arama) producen aproximadamente 91,77 toneladas diarias de residuos sólidos que están siendo dispuestos en el Relleno Sanitario la Guaratara, en un predio de 10 hectáreas ubicado en la vereda alto irique (Guaratara, 2018). El lixiviado que genera el relleno sanitario la Guaratara se recolecta mediante un sistema de filtros colocados al final de la celda en funcionamiento del relleno, de ahí pasa a la

piscina de oxidación en la cual se realiza el proceso de recirculación, está piscina en ocasiones se rebosa produciendo derrames de lixiviados, como resultado, estos pueden filtrarse en el suelo, contaminando acuíferos y cauces de agua subterránea, produciendo un impacto de contaminación inminente a los recursos naturales presentes en la zona y al municipio.

El presente trabajo tiene por objetivo evaluar la eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*) como una alternativa de tratamiento natural para la remoción de metales pesados provenientes del relleno sanitario la Guaratara del Municipio de Granada Meta. Este se realizó mediante el diseño de un sistema de planta piloto bajo condiciones hidropónicas, se utilizó como unidad experimental el líquido lixiviado proveniente del relleno sanitario la Guaratara del Municipio de Granada meta; el sistema de tratamiento utilizado consistió en tomar 20 litros del efluente de la piscina de almacenamiento de lixiviados del relleno sanitario más 2 litros de agua de los cuales se tomaron 4 Litros para la respectiva toma de muestras iniciales lo que quiere decir que el sistema arranco con 18 Litros, para disponerlo en una caneca con capacidad de 30 Litros con el montaje de flotadores y Vetiver, al sistema se le instaló una bomba que permitió recircular el lixiviado para lograr oxigenarlo y así evitar la proliferación de larvas.

Con la implementación del sistema se obtuvieron resultados significativos como la reducción de la concentración de los metales aluminio, arsénico, cadmio y zinc. Del mismo modo se presentaron cambios organolépticos positivos en el color y olor del lixiviado, así como también una disminución del volumen de este.

Por otro lado, se presentaron resultados negativos como lo fue el incremento de la concentración de los metales plomo, plata, níquel, manganeso, cromo, cobalto, mercurio y cobre, asimismo se presentó un crecimiento lento en la raíz de la planta, y a simple vista, no son observados cambios notables en su crecimiento.

2. Definición del problema

En el relleno sanitario La Guaratara del municipio de Granada (Meta) se está presentando una grave problemática ambiental, a causa del mal manejo de los lixiviados que son emanados por la descomposición de residuos sólidos domiciliarios, urbanos, industriales entre otros; lo cual está ayudando a la producción de bacterias altamente tóxicas y dispersión de olores nauseabundos que son provocados durante horas del día y parte de la noche, traídos por el viento en dirección hacia el sector urbano, afectando seriamente los barrios contiguos tales como, el Paraíso alto y bajo, el Caney, el Montoya Pava y veredas aledañas, así como también, el Hospital Departamental y colegios tales como, Brisas de Irique (mega colegio) y el Adventista.

De igual manera, el relleno sanitario no cuenta con un sistema adecuado para el manejo y tratamiento apropiado de lixiviados; únicamente se realiza recirculación en una piscina, está en ocasiones se rebosa produciendo derrames de lixiviados, como resultado, estos pueden filtrarse en el suelo, contaminando acuíferos y cauces de agua subterránea.

Los lixiviados al entrar en contacto con aguas superficiales, hacen que incrementen el número de microorganismos aeróbicos (bacterias) que demandan un porcentaje alto de oxígeno en el agua, impidiendo el crecimiento adecuado de seres vivos en el cuerpo acuático al cual se está vertiendo el lixiviado. Cuando se agota el oxígeno, se originan malos olores, aumenta la turbidez del agua y se modifican las condiciones naturales del entorno. A consecuencia de estos problemas se favorece la proliferación de insectos (moscas, mosquitos, zancudos y cucarachas), portadores de diversas enfermedades que pueden afectar la salud del hombre, así como también se producen efectos adversos en la flora y la fauna silvestre que van desde la bioacumulación de algunas de ellas, hasta la muerte por intoxicación aguda en numerosas especies; y que en forma

acumulativa se convierten en impactos significativos al estilo de vida de las comunidades aledañas, a la salud pública, y al paisaje natural.

En el caso de las aguas subterráneas, el lixiviado se infiltra a través del terreno hasta llegar a los acuíferos, generando de esta forma la degradación de la calidad del suelo y del agua, provocando un serio peligro para la salud de los habitantes de la zona cuando el agua es utilizada para el consumo humano, debido a que los lixiviados están compuestos por metales pesados, estos al ser ingeridos pueden generar efectos adversos en la salud que pueden ir desde daños gastrointestinales, afecciones neurológicas, hasta la muerte. Entre los efectos más significativos podemos mencionar irritaciones severas en el estómago, color amarillento de los dientes, irritación gastrointestinal, ulcera gastroduodenal, hepatitis, nefritis, diarrea, pérdida de apetito, anemia, dolores abdominales, daño en los riñones y cerebro, teratogénesis, mutagénesis y carcinogénesis, entre otros.

Los lixiviados emanados por los residuos sólidos depositados en los rellenos sanitarios como pilas, residuos de pintura, equipos electrónicos, baterías, plásticos, entre otros; están compuestos de metales pesados tales como el mercurio, plomo y cadmio; estos al descomponerse generan emisiones de gases tales como el metano, dióxido de carbono, ácido sulfhídrico, que contribuyen al deterioro de la capa de ozono, al efecto invernadero y a la lluvia ácida; originando graves problemas al medio ambiente como aumento de la temperatura, reducción de la superficie de glaciares, afectación de los ecosistemas, pérdida del fitoplancton, acidificación en fuentes hídricas, etc., viéndose también afectada la salud de la población circundante por enfermedades como el asma, bronquitis, cáncer de piel, entre otras más. Integral (2000) citado por Sánchez María (2010) afirma:

En un ejemplo, que la problemática asociada con los rellenos sanitarios y los

metales pesados es el sitio conocido como el Morro de Basuras de Moravia, ubicado en la parte central de la ciudad de Medellín, en donde se realizó un estudio en el cual se observó la presencia de algunos gases tóxicos y el contenido de metales pesados en lixiviados producidos en el cerro. En dicho estudio se reportaron concentraciones muy elevadas de los siguientes metales pesados: Cr, Pb, Cd y Ni, corroborando el alto nivel de contaminación presente en el morro de basuras (p. 6).

También hay autores que afirman que:

En el relleno sanitario de Morelia, se estudió la potencial migración de los lixiviados hacia el agua subterránea; mediante un análisis geoquímico del agua del acuífero se encontraron altas concentraciones de metales como cadmio, plomo y arsénico sobrepasando los límites establecidos por las normas mexicanas (Israde, Buenrostro, Carrillo, 2005, p.25)

La comunidad aledaña al relleno sanitario se encuentra expuesta a olores ofensivos traídos por la dirección del viento, asociados a la trasmisión de bacterias y, por ende, enfermedades virales, alergias o enfermedades de tipo zoonótico. Asimismo, se encuentra expuesta a la presencia de roedores, insectos, artrópodos y aves, que generan problemas de salud pública. Por otro lado, muchas de estas familias se abastecen con agua de aljibes, lo que representa un grave problema, debido a que los lixiviados se pueden infiltran a través del terreno afectando los acuíferos de la zona, esta agua al ser ingerida por los habitantes puede generar efectos adversos en la salud que pueden ir desde daños gastrointestinales, afecciones neurológicas, hasta la muerte.

Esta problemática es el resultado de la falta de equipamientos técnicamente planificados que ayuden a depurar el lixiviado de una manera rápida y eficaz, así como la falta de inversión

económica para cubrir los elevados costos de operación y mantenimiento del tratamiento convencional y tecnológico; hecho que sugiere la necesidad de evaluar y desarrollar un sistema natural, para el tratamiento adecuado de estos, que además sea económicamente sostenible, sencillo de operar y mantener.

3. Objetivos

3.1 General

Evaluar la eficiencia del pasto Vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*) en la remoción de metales pesados de los lixiviados del relleno sanitario La Guaratara del Municipio de Granada – Meta, a través de un sistema piloto de siembra de tipo hidropónico.

3.2 Específicos

Determinar el valor inicial de los parámetros relacionados con los metales pesados en los lixiviados provenientes del relleno sanitario La Guaratara, a través de un análisis de laboratorio emitido por una entidad certificada, con el fin de dar inicio a la prueba piloto de siembra de tipo hidropónica.

Realizar un seguimiento continuo al proceso de remoción de metales pesados con el cultivo hidropónico, a partir de una programación específica, para evaluar cambios organolépticos y físicos que se puedan presentar en dichos lixiviados.

Analizar de forma comparativa los parámetros estudiados presentes en los lixiviados, antes y después de utilizar el sistema de tratamiento, haciendo uso de la estadística descriptiva y analizando los datos de forma detallada, con el fin de determinar si el pasto vetiver cumple con la función de remover parte de los metales pesados presentes en los lixiviados.

4. Justificación

Los lixiviados provenientes de los rellenos sanitarios son de gran preocupación para todas las ciudades, dado que estos frecuentemente están altamente contaminados con metales pesados, y con contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos. Por eso, este proyecto se plantea con el fin de darle un tratamiento adecuado a los lixiviados procedentes del relleno sanitario La Guaratara del municipio de Granada – Meta, haciendo uso del Pasto Vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*) como alternativa de tratamiento natural para la remoción de metales pesados; con el fin de minimizar la contaminación en la biodiversidad de los ecosistemas presentes en la zona, eliminar los olores traídos por el viento y contrarrestar la proliferación de vectores portadores de enfermedades (moscas, mosquitos, zancudos y cucarachas) que afectan la salud de la comunidad aledaña.

Por otro lado, este proyecto busca mejorar la calidad de las fuentes hídricas y del suelo, lo cual ayudará a contrarrestar enfermedades gastrointestinales, eliminando a su vez malos olores, turbidez del agua, y los efectos adversos en la flora y fauna silvestre que van desde la bioacumulación de algunas de ellas, hasta la muerte por intoxicación aguda en numerosas especies. Además, se verán beneficiados los agricultores de la zona, ya que sus terrenos serán más fértiles y de este modo tendrán un mejor rendimiento en las cosechas y unos productos de mejor calidad.

De igual forma, se reducirán las emisiones de gases tales como el metano, dióxido de carbono, ácido sulfhídrico, lo cual ayudara a mitigar el aumento de la temperatura, la reducción de la superficie de glaciares, la afectación de los ecosistemas, la pérdida del fitoplancton, la acidificación en fuentes hídricas, etc., viéndose de esta manera beneficiado el medio ambiente y

por otro lado la población circundante, ya que, también se reducirán las enfermedades que afectan la salud.

Por último, este proyecto servirá como base para aquellas ciudades y municipios de Colombia, que no cuenten con el presupuesto necesario para adquirir equipos técnicamente planificados para el tratamiento de metales pesados presentes en lixiviados, y que quieran implementar este tipo de sistemas de tratamiento en los rellenos sanitarios, ya que esta es una alternativa de tratamiento natural, amigable con el medio ambiente, económicamente sostenible en cuanto a sus bajos costos de operación y mantenimiento, además, esta tecnología presenta costos de inversión inicial substancialmente menores que las alternativas convencionales. Este proyecto brinda a su vez un objeto de estudio a futuras investigaciones basado en un ejercicio práctico.

5. Marco referencial

5.1 Marco geográfico

Este trabajo, se desarrolló a escala piloto, utilizando como unidad experimental el efluente de la piscina de los lixiviados del relleno sanitario La Guaratara, localizado en la región del Ariari, en el área rural del Municipio de Granada, Departamento del Meta. La “Planta de tratamiento de residuos sólidos La Guaratara”, está ubicada en la Vereda Alto Iriqué; a 3,5 km del casco urbano. Esta región corresponde a la zona de vida de Bosque Húmedo Tropical, el cual se caracteriza por presentar temperaturas entre 24°C y 30°C, y precipitaciones promedias anuales entre 2.000 y 4.000 mm. Coordenadas: Norte: 888150 y Este: 1053050, Altura: 367 msnm.

El relleno sanitario tiene un total de 11 celdas de las cuales 10 ya se encuentran clausuradas. La zona de disposición final cuenta con un área de 10 hectáreas, distribuida para los siguientes usos almacenamiento de materiales, acopio y transformación de residuos orgánicos, zona de clausura, zona de pesaje, zona de lixiviados, zona de proyección, zona para vía de acceso y zona verde. El lixiviado del relleno se maneja evitando su filtración en el terreno mediante el uso de una membrana sintética de alta densidad (impermeable). El lixiviado se recolecta a través de un sistema de filtros colocados en el fondo de las celdas y en las plataformas de base de disposición final, desde allí es trasladado a los tanques de almacenamiento y por último a la piscina de oxidación donde se realiza el proceso de recirculación.



El sistema de tratamiento piloto se llevó a cabo en un lote ubicado en la dirección Manzana z1 lote N° 4 barrio Sabanas de Irique del Municipio de Granada- Meta. Cuyas medidas es de 14 metros de fondo por 7 metros de frente, este lote no estaba habitado, se encontraba totalmente limpio sin presencia de residuos que podrían afectar la construcción del sistema. Este tiene una latitud: 3.548399 y una longitud: -73.69647.



5.2 Marco conceptual

5.2.1 Relleno sanitario.

Es el lugar técnicamente seleccionado, diseñado y operado para la disposición final controlada de residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando y controlando los impactos ambientales y utilizando principios de ingeniería, para la confinación y aislamiento de los residuos sólidos en un área mínima, con compactación de residuos, cobertura diaria de los mismos, control de gases y lixiviados, y cobertura final (Decreto 838, 2005).

5.2.2 Lixiviado.

Es el líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de los residuos sólidos bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas y/o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación (Pontificia Universidad Javeriana, 2012, p. 3).

5.2.3 Metales pesados.

Por metales pesados se entiende a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas, y que no se puedan degradar por medios naturales, además que son peligrosos porque tienden a bioacumularse en el organismo (Metcalf & Eddy, 1995).

5.2.3.1 Aluminio.

Numero atómico 13, cuyo símbolo es Al. Aluminio de 99,00% o mayor pureza tiene muchas aplicaciones, especialmente en los campos eléctricos y químicos. Estos grados de aluminio se caracterizan por una excelente resistencia a la

corrosión, alta conductividad térmica y eléctrica, bajas propiedades mecánicas, y excelente trabajabilidad. (Maffia, E.2013, p.5).

5.2.3.2 Arsénico.

Número atómico es 33, símbolo **As**, se distribuye ampliamente en la naturaleza, peso atómico 74. Tiene 17 nucleídos radiactivos. La forma metálica es conductor térmico y eléctrico fácil de romper y de baja ductilidad. En la naturaleza se encuentra como mineral de cobalto, aunque regularmente está en la superficie de las rocas. (Barrio, N. s.f, p.11).

5.2.3.1 Cadmio.

El cadmio (número atómico 48), símbolo **Cd**. Es liberado a la atmósfera por medio de volcanes, arrastre de partículas o emisiones biogénicas, combustión fósil y por actividades antropogénicas. De acuerdo a los contenidos normales de cadmio en el suelo alrededor del mundo, se puede determinar que el rango de ocurrencia de este metal está entre 0.07 y 1.1 mg/kg y se considera que los valores mayores a 0.5 mg/kg son el producto de actividades antropogénicas World Health Organization, (2007) citado por Sánchez María (2010, p.20).

5.2.3.2 Cobre.

Cobre cuyo símbolo es **Cu**, es un elemento químico de número atómico 29. Es un metal de transición, de color rojizo y de resplandor metálico que, junto con la plata y el oro es parte de la llamada familia del cobre. El cobre se caracteriza por ser uno de los mejores conductores de la electricidad. Debido a su alta

conductividad eléctrica, ductilidad y maleabilidad, se ha convertido en el material más utilizado para la fabricación de cables eléctricos y otros componentes eléctricos y electrónicos (Zhang, Y. 2015, p.3).

5.2.3.3 Mercurio.

Este elemento (número atómico 80), símbolo **Hg**. Las emisiones naturales de mercurio provienen de la litosfera, la evaporación la superficie 15 oceánica y la actividad geotérmica. A escala global, las principales actividades antropogénicas que incrementan la concentración de Hg son el consumo de combustibles fósiles y la explotación de oro. World Health Organization, (2007) citado por Sánchez María (2010, p.14, 15).

5.2.3.4 Níquel.

Este elemento (número atómico 28) y símbolo **Ni**, es esencial en la nutrición mineral de plantas. Los compuestos de níquel son importantes en la industria, especialmente en los procesos de la producción de baterías de cadmio y níquel, en la fabricación de equipo electrónico y maquinaria industrial y armamento. (Denkhaus y Salnikow, 2002) citado por Sánchez María (2010, p.21)

5.2.3.5 Plomo.

El plomo (número atómico 82) y símbolo **Pb**, es considerado uno de los metales pesados de mayor toxicidad. Las emisiones naturales de plomo se ocasionan por las sales del mar, volcanes e incendios forestales, entre otros. El consumo de combustibles fósiles, incineración de basura, la producción de hierro,

acero y cemento se consideran las principales causas antropogénicas de emisión de Pb. Una vez que el Pb se deposita en el suelo, es inmovilizado por el componente orgánico de tal forma que la cantidad disponible para las plantas es baja y se encuentra en los primeros 5 cm superficiales. (Sharma y Dubey, 2005). Citado por Sánchez María (2010, p.17)

5.2.3.6 Zinc.

Elemento químico de símbolo **Zn**, número atómico 30, Es un metal maleable, dúctil y de color gris Los usos más importantes del zinc los constituyen las aleaciones y el recubrimiento protector de otros metales.

Los compuestos de zinc se encuentran en forma natural en el aire, el suelo y el agua, y están presentes en todas las comidas. El zinc es un elemento esencial en la comida que necesita el cuerpo en dosis bajas. El no consumir suficiente zinc en la dieta puede provocar una salud pobre y una respuesta inmune baja. El zinc también puede ser dañino si se ingiere mucho. (Ramírez, 1999) citado por Luna José (2009, p.5)

5.2.3.7 Plata.

Elemento químico, símbolo **Ag**, número atómico 47. Es un metal lustroso de color blanco-grisáceo. Desde el punto de vista químico, es uno de los metales pesados y nobles. La plata, que posee las más altas conductividades térmica y eléctrica de todos los metales. (Aguayo, C. 2015, p.18).

5.2.3.8 Cobalto.

Símbolo químico **Co**, el cobalto es un metal de color gris acero levemente magnético, con una densidad de 8.9g/cm³ y una temperatura de fusión de 1495°C. Este elemento por sus propiedades tiene amplios usos en aplicaciones radioactivas y químicas lo cual lo hace un elemento estratégico. (Vogel, 1981) citado por Sierra Sebastian (2016, p.15)

5.2.3.9 Cromo.

Este elemento químico de símbolo **Cr** (número atómico 52) es un metal duro, brillante, lustroso de color gris acerado, muy resistente a la corrosión, insoluble en agua, soluble en ácido sulfúrico diluido y en ácido clorhídrico. (Arias, Sánchez y Osorio.2008, p.33)

5.2.3.10 Manganeso.

El manganeso (**Mn**) es un elemento químico de número atómico 25 situado en el grupo 7 de la tabla periódica de los elementos, se simboliza como Mn. Se encuentra como elemento libre en la naturaleza, el manganeso es un metal con aleación de metales industriales con importantes usos, sobre todo en los aceros inoxidables (Valencia, C.s.f, p.8).

5.2.4 Hidropónico.

Es un método de cultivo industrial de plantas que utiliza únicamente soluciones acuosas, nutrientes disueltas y sustratos estériles como la arena, grava entre otros para ser soporte de la raíz de las plantas (Beltrano & Giménez, s.f.).

5.2.5 Pasto Vetiver.

Esta planta puede cultivarse en una gran variedad de condiciones de clima y suelos, y si se siembra correctamente puede usarse virtualmente en cualquier lugar con clima tropical, subtropical y mediterráneo. Tiene un conjunto de características que son únicas en una sola especie. Cuando el Vetiver se cultiva (como generalmente se hace) en forma de un seto angosto autosostenido, presenta características especiales que son esenciales para las diversas aplicaciones que constituyen el Sistema Vetiver. El pasto Vetiver puede aplicarse para proteger las riberas de los ríos y las cuencas hidrológicas de daños ambientales, particularmente en puntos focales que causan problemas ecológicos relacionados con: (1) flujo de sedimentos, y (2) exceso de nutrientes y lixiviados de metales pesados y pesticidas de fuentes tóxicas (Truong, P., & Danh, L., 2008).

5.3 Marco teórico

Los rellenos sanitarios poseen diferentes tipos de problemas ambientales entre las cuales tenemos el inadecuado manejo y tratamiento de los lixiviados, la mala disposición final de residuos sólidos y olores desagradables; estos problemas afectan los diferentes componentes del medio ambiente y por ende la salud humana, por esta razón se hace necesario implementar medidas que disminuyan la producción de residuos sólidos e implementar alternativas para el mantenimiento óptimo de los rellenos sanitarios.

Los rellenos sanitarios que existen en la actualidad poseen diversidad de problemas operativos, los encontrados con mayor frecuencia son un inadecuado tratamiento de los lixiviados, la emisión de olores desagradables y un manejo

pobre de la cobertura de los residuos sólidos. Aunque es necesario mejorar la operación y el mantenimiento de los rellenos, también es urgente incrementar el compromiso de las Agencias Ambientales y de Salud en programas que disminuyan la producción de basuras y promuevan el uso sostenible de aquellos residuos con valor económico (Noguera, K. M. & J. T. Olivero 2010, p.1).

Los lixiviados son líquidos generados por la descomposición de los residuos sólidos y por el agua procedente de escorrentía superficial o lluvia; que se infiltran a través de estos disolviendo y arrastrando diversos contaminantes que entran en contacto con los residuos depositados, generando así un aumento en la concentración de contaminantes. El lixiviado tiene la capacidad de trasladarse a las aguas subterráneas, superficiales y al suelo aledaño, y de esta manera provoca severos impactos ambientales sobre los diferentes componentes del medio ambiente y a la salud de las personas.

Zamorano et al. (2007), menciona que el lixiviado es el líquido producido cuando el agua procedente de la escorrentía superficial, lluvia o la producida por la propia dinámica de descomposición de los residuos se pone en contacto con los residuos depositados, excediendo su capacidad de absorción, pasando a través de ellos y aumentando la concentración de contaminantes. Este líquido tiene la capacidad de trasladarse a las aguas subterráneas, superficiales y al suelo circundante. (Cárdenas Sánchez, 2012, p. 20)

En los rellenos sanitarios se observan altas concentraciones de metales pesados, convirtiéndose en una verdadera amenaza de contaminación o toxicidad en los diferentes componentes del medio ambiente (agua, suelo y aire), los MP pueden llegar a limitar el

crecimiento vegetal, y ser tóxico para las plantas y animales afectando el hábitat natural de las especies presentes en los ecosistemas.

World Health Organization (2000, y 2007) citado por Sanchez Maria (2010, p. 6), menciona que dentro de los contaminantes presentes en los rellenos sanitarios se encuentran los metales pesados. Los metales pesados contaminan las fuentes de agua y los suelos entre otros componentes del ambiente, se transfieren a las plantas y animales y por consiguiente entran y se acumulan en la red alimenticia.

Hoy en día existen ciertas plantas que son capaces de tolerar, remover, retirar, extraer e inmovilizar ciertas cantidades de metales pesados sin manifestar efectos negativos para el desarrollo y el crecimiento de los ecosistemas presentes en el medio ambiente; convirtiéndose en una alternativa de bajo costo fácil de operar y mantener, lo cual ha permitido optar por este tipo de tecnologías amigables con el medio ambiente

Chaney (2007) citado por Chiriboga Henry (2016, p 16,17), menciona que, en las últimas décadas, las fitotecnologías han aparecido como prometedoras estrategias alternativas a las técnicas convencionales de remediación, ya que suponen menor costo y son más respetuosas con el medio ambiente, adquiriendo mucha importancia en los sectores público y privado, en el contexto de un desarrollo sostenible.

Una de las tecnologías utilizadas para el tratamiento de remoción de metales pesados es la rizofiltración, es una alternativa de fitoremediación que emplea las raíces de plantas cultivadas hidropónicamente para absorber y acumular sustancias tóxicas presentes en agua superficial, subterránea o efluentes líquidos contaminados por metales pesados, Delgadillo (2011) citado por Chiriboga Henry (2016) afirma, “En la rizofiltración, estas plantas se cultivan de manera

hidropónica. Cuando el sistema radicular está bien desarrollado, las plantas se introducen en el agua contaminada con metales, en donde las raíces los absorben y acumulan” p.18

Muchos investigadores a nivel mundial han podido demostrar que el Pasto Vetiver tiene la ventaja de adaptarse a condiciones ambientales muy variadas. También han demostrado que el sistema Vetiver es una tecnología efectiva para la protección ambiental en el tratamiento de suelos contaminados y en la remoción de contaminantes de lixiviados provenientes de la agricultura, la industria y rellenos sanitarios. Esto se discute a continuación:

Datos experimentales han demostrado que las barreras de pasto vetiver han sido eficientes para la conservación de suelos en fincas destinadas para el cultivo de caña en el norte de Queensland, el cual es capaz de detener sustancias asociadas a partículas de fosforo y calcio presente en este. Según un informe de Vetivercol Servicios y Consultorías S.A.S (s.f.) afirma que:

En Australia, datos experimentales en fincas de caña en el norte de Queensland indican que las barreras de vetiver fueron altamente eficientes en detener nutrimentos asociados a partículas del suelo como P y Ca. La cantidad de nutrimentos atrapados varió de acuerdo a las prácticas culturales entre 26 y 69% para el P y entre 51 y 56% para el Ca.

Por otro lado, una investigación en Tailandia demostró con tres ecotipos de Vetiver a través de un experimento, que su desarrollo no se ve afectado por la aplicación de metales pesados, y que la absorción de estos contaminantes por el Pasto Vetiver es inversamente proporcional a la concentración de metales pesados. También en un estudio, se encontró que el Vetiver puede desarrollarse en ambientes contaminados por lixiviados emanados por residuos sólidos, así lo afirma en su informe Vetivercol Servicios y Consultorías S.A.S (s.f.):

En Tailandia, realizaron una investigación para determinar el potencial de absorción de tres ecotipos de vetiver "Kamphaeng Phet "(tierras altas),"Ratchaburi y surta Thani"(tierras bajas). Diferentes cantidades de Mn, Zn, Cu, Cd, y Pb fueron aplicadas a plantas de vetiver de un mes de desarrollo en potes y cosechas a los 60 y 120 días después de la aplicación de los metales pesados. Las concentraciones de los metales pesados en los brotes aéreos y en las raíces del pasto vetiver fueron determinados por espectrofotometría de absorción atómica. Encontraron que el desarrollo del vetiver no se vio afectado por la aplicación de metales pesados en las concentraciones utilizadas, y que la absorción de metales pesados por los tres ecotipos de vetiver fue inversamente proporcional a la concentración de metales pesados aplicada.

Según estudios realizados en varios países como Tailandia, se encontró que el Vetiver puede desarrollarse en ambientes polucionados con descomposición orgánica derivada de lixiviados de residuos sólidos. Usando técnicas de espectrofotometría de absorción atómica los investigadores encontraron que el Vetiver pudo absorber del relleno sanitario las siguientes cantidades de metales pesados (mg/kg): Zn 54.6, Cu 9.9, Pb 4.0, Cr 2.6 y Ni 6.7.

La multinacional BP ha llevado a cabo obras con el uso del pasto vetiver, el cual está siendo utilizado como método de tratamiento natural para estabilizar el Ph y remover metales pesados provenientes de lodos de locaciones de explotación petrolera en el Departamento del Casanare, donde se han obtenido excelentes resultados de adaptación del pasto en esa clase de terrenos, así lo afirma en su informe Vetivercol Servicios y Consultorías S.A.S (s.f.):

En Colombia, explícitamente en Casanare, con la multinacional BP se han

realizado obras aplicativas para estabilizar el nivel de Ph y remoción de materiales pesados en lodos de locaciones de explotación petrolera, obteniendo excelentes resultados que favorecen enormemente la adaptación de este material vegetal en esta clase de terrenos, ya que como se sabe estos lodos son material que se debe destruir por su alto contenido contaminante.

En la actualidad en el municipio de Acacías (Meta) se han realizado estudios de investigación a escala piloto con el uso del pasto vetiver, con el fin de evaluar la eficiencia de este en el tratamiento de aguas residuales y piscícolas, donde se obtuvo éxito en la remoción de DBO, Fosforo Total, Oxígeno Disuelto, pH y solidos Suspendido Totales presentes en aguas piscícolas. Por otra parte, la Turbidez, Conductividad, Alcalinidad, Dureza Total, Dureza Cálctica, Calcio, pH, Sulfatos, y Coliformes Totales presentes en aguas residuales presentaron un porcentaje de remoción entre el 18 y el 99%, así lo afirman algunos autores:

La implementación del Pasto Vetiver como tratamiento del agua Residual agroindustrial (Pecuaria), tuvo éxito en remoción de los parámetros DBO, Fosforo Total, Oxígeno Disuelto, pH y solidos Suspendido Totales. Y además resulta ser una opción de bajo costo, aplicable a la necesidad de la Colonia Penal Agrícola (Gómez & Rico, 2017, p. 58).

Estudiantes del CEAD de Acacias, desarrollaron una investigación en la cual utilizaron el efluente del caño Cola de Pato del Municipio, donde utilizaron tres montajes con pasto vetiver. El primer montaje lo realizaron con flotadores a través de botellas plásticas y Vetiver el cual lo dejaron durante 15 días en la que los parámetros del agua cambiaran luego lo traspasaban a una segunda caneca, la primera caneca nuevamente la llenaban con efluente del caño y así hasta que el efluente llegara a una cuarta caneca. En el segundo montaje utilizaron una vitrina de vidrio

para observar los cambios y un sistema de flotación utilizando una lámina de icopor, adicional a esto utilizaron una bomba de aireación para recircular el agua este montaje lo tuvieron durante 45 días y por último el tercer montaje lo realizaron en una caneca plástica transparente con sistema de flotación utilizando una lámina de icopor, en este último montaje fue donde se obtuvieron los resultados positivos de este tratamiento, y así lo afirma en su investigación (Jiménez & Vargas, 2015, p. 57).

Con la implementación del Sistema Vetiver, se obtuvo variaciones en los parámetros medidos. El Color, los cloruros, los fosfatos, el hierro, la DQO, y DBO presentaron aumentos entre el 30 y 90%. Por su parte, la Turbidez, Conductividad, Alcalinidad, Dureza Total, Dureza Cálcica, Calcio, pH, Sulfatos, y los Coliformes Totales presentaron un porcentaje de remoción entre el 18 y el 99%. Según estos resultados el Vetiver realiza cambios en el agua, los cuales muy seguramente hubieran sido más notorios y positivos si se hubiese cumplido la totalidad del tiempo que es de 45 días (Jiménez & Vargas, 2015, p. 57).

La anterior bibliografía consultada sirvió como base para llevar a cabo el proyecto **eficiencia del pasto vetiver (*chrysopogon zizanioides*) en la remoción de metales pesados de los lixiviados del relleno sanitario La Guaratara del municipio de Granada – Meta**, ya que se indago sobre el tema, y este ha funcionado en otras investigaciones como una tecnología eficiente para el tratamiento de lixiviados provenientes de la agricultura, la industria y rellenos sanitarios. Por otro lado el pasto Vetiver ha sido utilizado para estabilizar el pH y remover metales pesados provenientes de lodos de locaciones de explotación petrolera, así como también en el tratamiento de aguas residuales y piscícolas, donde se han obtenido resultados exitosos en la remoción de DBO, Fosforo Total, Oxígeno Disuelto, pH y solidos Suspendido Totales,

además este ha sido utilizado en procesos de fitorremediación en aguas superficiales, donde se obtuvieron porcentajes de remoción entre el 18 y el 99% en parámetros como la Turbidez, Conductividad, Alcalinidad, Dureza Total, Dureza Cálctica, Calcio, pH, Sulfatos, y Coliformes Totales. Asimismo, la bibliografía consultada fue útil para determinar el tiempo de duración del sistema piloto, ya que, en los experimentos realizados por algunos investigadores, el sistema de tratamiento Vetiver ha mostrado mejores resultados de acuerdo con el tiempo que ha estado a prueba.

6. Metodología

El siguiente trabajo se inscribe dentro del modelo de investigación cuantitativa de tipo experimental, debido a que se recogieron y analizaron datos de una forma numérica realizando un control y manipulación de las variables y de los factores que podían afectar el experimento, con el fin de establecer relaciones de causa-efecto. La técnica empleada para recolectar información fue la observación de campo y de laboratorio. Esta investigación tuvo como propósito evaluar la eficiencia del Pasto Vetiver en la remoción de metales pesados presentes en los lixiviados del relleno sanitario La Guaratara del Municipio de Granada – Meta.

Para ello se diseñó un sistema de planta piloto bajo condiciones hidropónicas, con el fin de realizar una simulación de tratamiento, mediante el uso del Pasto Vetiver, el cual fue el encargado de realizar el proceso de remoción de metales pesados presentes en los lixiviados. Para este montaje se arrendo un lote de 7 metros de frente por 14 de largo aledaño al relleno sanitario La Guaratara, el sistema piloto, conto con un tejado para la protección de las lluvias con el fin de que no se alterara el tratamiento.

Se tomaron 20 litros del efluente de la piscina de almacenamiento de lixiviados del relleno sanitario y se le adicionaron 2 litros de agua con el fin de ayudar al sistema Vetiver a actuar en el proceso de fitoextracción de materiales pesados. Con los 20 litros de lixiviado y los 2 de agua quedo un total de 22 litros, de los cuales se tomaron 4 litros para analizar en el laboratorio, quedando 18 litros que se dispusieron en una caneca con capacidad de 30 litros con el montaje de flotadores y Vetiver, a la cual se le adapto una bomba que permitió recircular el lixiviado para lograr oxigenarlo y así evitar la proliferación de larvas.

A continuación, se presenta una lista de los materiales utilizados en la construcción y montaje del sistema:

- Lona verde
- Plástico transparente
- Malla plástica
- Varillones de madera
- Bomba de pecera
- Caneca con capacidad de 30 litros
- Amarres
- Pala, martillo y puntillas



Ilustración 3. Construcción área montaje piloto
Fuente: Autores



Ilustración 4. Construcción área montaje piloto
Fuente: Autores



Ilustración 5. Lixiviado
Fuente: Autores



Ilustración 6. Agua
Fuente: Autores



Ilustración 7. Recipiente
Fuente: Autores



Ilustración 8. Montaje malla y Vetiver
Fuente: Autores



Ilustración 9. Adaptación de bomba
Fuente: Autores



Ilustración 10. Montaje malla y Vetiver
Fuente: Autores

Se realizó un análisis de laboratorio antes del tratamiento, para ello se recolectó una muestra puntual de lixiviados de la piscina de almacenamiento, determinando así su contenido de metales pesados; luego del contacto de estos con las raíces del Pasto Vetiver se procedió a una toma final de lixiviados, con el fin de evaluar la eficiencia del Pasto Vetiver en la remoción de metales pesados. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S acreditado mediante resolución No. 0062 de 2007 expedida por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales).

La recolección de la muestra se hizo a través de un muestreo aleatorio simple, donde se obtuvo una muestra puntual, para ello se tomaron 20 litros de lixiviados de la piscina en un galón oscuro, los cuales fueron dispuestos en un recipiente, de donde se procedió a coleccionar la muestra. Utilizando guantes se lavaron los envases varias veces usando el mismo lixiviado que se iba a muestrear. Luego con la ayuda de una taza se procedió a coleccionar la muestra en los respectivos recipientes, permitiendo que estos se llenaran y posteriormente fueron tapados. Por último, los envases se introdujeron en una cava con hielo donde fueron transportadas inmediatamente al laboratorio.

A continuación, se presenta una lista de los materiales que se utilizaron:

- Nevera de icopor
- Hielo
- Envases de polietileno con tapa y tapón hermético
- Balde plástico de 30 litros
- Guantes, bata y tapabocas



Fotografía 11. Toma de muestras iniciales. Fuente Autores



Fotografía 12. Toma de muestras finales. Fuente Autores



Fotografía 13. Refrigeración de muestras. Fuente Autores

El experimento tuvo una duración y retención de 40 días, en el transcurso de ese tiempo se realizaron observaciones de campo, para ello se utilizó un diario y cámara fotográfica. Las anotaciones fueron plasmadas en el momento de la observación o poco tiempo después de realizada ésta. Se esperó una vez que se culminó el tiempo, el lixiviado haya cambiado los parámetros de contaminación y que el Vetiver crezca. El tiempo de retención hidráulica fue establecido de acuerdo con las recomendaciones dadas por Ruedas (2017) ya que, de acuerdo

con los resultados de su estudio, asegura que entre más tiempo de retención mayor es la eficiencia de remoción. Por otro lado, se tomó como referencia el proceso que se lleva en las lagunas de estabilización en procesos anaeróbicos. (Mercado, A. 2013, p.13)

Si el proceso fuera de flujo de estado estable manteniendo el caudal de $0,45 \frac{\text{Litros}}{\text{Dia}}$ y un volumen de lixiviado de 18 *Litros*.

$$TRH = \frac{VA}{Q_{med}}$$

Donde:

TRH: tiempo de retencion hidraulica nominal, dias.

VA: volumen de la laguna anaerobia en m³.

Q_{med}: caudal promedio (m³/dia).

$$TRH = \frac{VA}{Q_{med}} = \frac{18 \text{ Litros}}{0,45 \text{ Litro}/\text{dia}} = 40 \text{ dias}$$

Estos tiempos pueden reducirse si el Área de la laguna facultativa o en su caso la absorción por parte del pasto Vetiver se incrementa.

Una vez se terminaron de recolectar los datos que requieren ser interpretados y sobre los cuales se busca concluir algo específico, se procedió a organizar la información; para esto se hizo uso de tablas o cuadros, estos permiten ofrecer información estadística de fácil lectura, comparación e interpretación. Posterior a esto se llevó a cabo el resumen de la información haciendo uso de gráficas, con el fin de comparar el porcentaje de remoción de los parámetros estudiados presentes en los lixiviados, antes y después de utilizar el sistema de tratamiento.

7. Resultados

7.1 Determinación inicial de parámetros

En la tabla 1 se muestran los resultados de la determinación fisicoquímica del valor inicial de los parámetros relacionados con los metales pesados en los lixiviados provenientes del relleno sanitario La Guaratara, para lo cual se llevó a cabo un análisis de laboratorio empleando la metodología descrita en los métodos estándar (Standart Methods).

Tabla 1

Análisis fisicoquímico inicial de la muestra de lixiviado del relleno sanitario La Guaratara

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	VALOR LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE (Resolución 0631 de 2015)
Aluminio (Al)	mg Al/L	SM 3030 F – SM 3111 D	0,7	3,00
Arsénico (As)	mg As/L	EPA 3015 A, SM 3120 B	0,018	0,10
Cadmio (Cd)	mg Cd/L	SM 3030 F SM 3111 B	0,022	0,05
Cobre (Cu)	mg Cu/L	SM 3030 F, SM 3111 B	0,05	1,00
Cobalto (Co)	mg Co/L	SM 3030 F, 3111 B	0,08	Análisis y reporte
Cromo (Cr)	mg Cr/L	SM 3030 F, SM 3111 B	0,17	0,50
Manganeso (Mn)	mg Mn/L	SM 3030 F SM 3111 B	0,12	Análisis y reporte
Mercurio (Hg)	mg Hg/L	EPA 200,8	< 0,0006	0,01
Níquel (Ni)	mg Ni/L	SM 3030 F SM 3111 B	0,14	0,50
Plata (Ag)	mg Ag/L	EPA 3015 A, SM 3120 B	< 0,04	
Plomo (Pb)	mg Pb/L	SM 3030 F, SM 3111 B	0,16	0,20
Zinc (Zn)	mg Zn/L	SM 3030 F SM 3111 B	0,51	3,00

Nota: Reporte Laboratorio Tecno-ambiental (2018)

7.2 Seguimiento continuo al proceso de remoción de metales pesados con el cultivo hidropónico



Ilustración 11. Color del lixiviado al inicio
Fuente: Autores



Ilustración 12. Color del lixiviado al final
Fuente: Autores

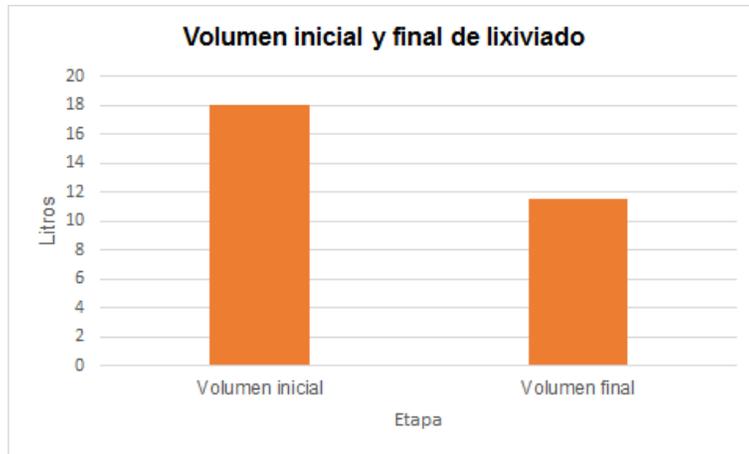
Se puede observar en las fotografías, que el color del lixiviado vario desde el color negro, hasta conseguir un tono café. Por otro lado, al inicio de la prueba se percibieron olores ofensivos, y cinco días antes de finalizar el experimento estos olores desaparecieron.



Ilustración 13. Volumen inicial del lixiviado
Fuente: Autores



Ilustración 14. Volumen final del lixiviado
Fuente: Autores



Gráfica 1. Volumen inicial y final del lixiviado
Fuente: Autores

De acuerdo con la gráfica, el volumen inicial de lixiviado fue de 18 litros, con la implementación del sistema vetiver quedaron 11.5 litros que equivalen a una disminución del 36.1%.

7.2.1 Calculo de la tasa de evaporación y absorción.

Volumen inicial del lixiviado = 18 Litros

Volumen final del lixiviado = 11,5 Litros

Variacion de Volumen = 18 L – 11.5 L = 6,5 Litros

Aforo del recipiente: 10 mm equivale a 100 mL

$$Aforo = \frac{100 \text{ mL}}{10 \text{ mm}} = \frac{10 \text{ mL liquido}}{\text{mm altura}}$$

De acuerdo con la teoría, para lagos o lagunas, existen tres fórmulas empíricas, propuestas por Visentini para determinar la evaporación anual del agua, en función de la altura del terreno y de la temperatura promedio día, a saber. Tambien hay autores que resaltan que:

RACA (Rainfall with Cellular Automata) también utiliza las fórmulas de Visentini, para simular la evaporación del agua en lagos y ríos, en función de la temperatura promedio anual del área de estudio. Las fórmulas empíricas

propuestas por Visentini se han utilizado en muchos estudios. (Espínola, Piedra Fernández, Ayala, Iribarne, Leguizamón, Wang, 2016, p.93)

Altura sobre el nivel del mar	Formula Empírica
<i>Menor a 200 msnm</i>	→ $E = 75.T$
<i>Entre 200 – 500 msnm</i>	→ $E = 90.T$
<i>Superior a 500 msnm</i>	→ $E = 90.T + 300$

Siendo:

E : Tasa de Evaporacion en $mm/año$

T : Temperatura promedio en $°C$ del ambiente

Para el experimento la temperatura promedio, tomado del IDEAM, en la estación meteorológica más cercana, que es la de Villavicencio – Meta fue:

$$T = 30°C$$

La altura sobre el nivel del mar, a la cual está el Municipio de Granada- Meta está entre 372 a 410 *msnm*.

Se aplicará la formula entre 200 – 500 *msnm*, adaptada por el tiempo de duración del experimento que fueron 40 días.

$$E = (90.T) \cdot \frac{d}{365}$$

Donde d: es el número de días reemplazamos datos.

$$E = 90 \left(\frac{mm}{año \cdot °C} \right) \cdot (30°C) \cdot \frac{40 \text{ dias}}{365 \text{ dias/año}}$$

$$E = 296 (mm/40 \text{ dias})$$

La tasa de evaporación fue de:

$E = 296mm$, en el lapso de 40 días que duró la prueba piloto.

Si tenemos el aforo del recipiente.

$$Aforo = 10 \frac{mL \text{ de lixiviado}}{mm \cdot la \text{ altura del recipiente}}$$

Tenemos que el volumen evaporado (**V_{evp}**):

$$V_{evp} = 296 \text{ mm} \cdot \frac{10 \text{ mL}}{mm}$$

$$V_{evp} = 2960 \text{ mL de lixiviado}$$

De acuerdo con el balance volumétrico medido, el volumen reducido (**V_{red}**) fue de:

$$V_{red} = 6.5L \cdot \frac{1000 \text{ mL}}{1 L} = 6500 \text{ mL}$$

7.2.2 Calculo del volumen del lixiviado absorbido (**V_{abs}**) por la planta (**Vetiver**).

$$V_{abs} = V_{red} - V_{evp}$$

$$V_{abs} = 6500 \text{ mL} - 2960 \text{ mL}$$

$$V_{abs} = 3540 \text{ mL en 40 dias}$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{3540 \text{ mL}}{18000 \text{ mL}} \times 100 = 19,6\%$$

Se observa una alta tasa de absorción. En este cálculo se despreció la posible aceleración de evaporación causada mecánicamente por la bomba de aire.

7.2.3 Calculo del volumen de lixiviado absorbido por metro cuadrado del área cubierta con pasto vetiver.

Dimensiones de la boca del recipiente.

$$\text{Ancho} = 32 \text{ cm} \cdot \frac{1m}{100 \text{ cm}} = 0,32m$$

$$\text{Largo} = 45 \text{ cm} \cdot \frac{1m}{100 \text{ cm}} = 0,45 m$$

$$\text{Área plantada} = 0,32 m * 0,45 m = 0,144 m^2$$

$$\text{Volumen absorbido por } m^2 / 40 \text{ días} = \frac{3540 \text{ mL}}{0,144 m^2} \cdot \frac{1 L}{1000 \text{ mL}}$$

$$\text{Volumen absorbido por } m^2 / 40 \text{ días} = 24,58 \frac{L}{m^2} \text{ en 40 dias}$$

$$\text{Tasa de absorción} = 24,58 \frac{L}{m^2 \cdot 40 \text{ dias}}$$

$$\text{Tasa de absorción} = 0,62 \frac{L}{m^2 \text{ día}}$$



Ilustración 15. Raíz del Vetiver al inicio
Fuente: Autores



Ilustración 16. Raíz del Vetiver al final
Fuente: Autores

El crecimiento de la raíz de la planta fue lento, y a simple vista, no son observados cambios notables en su crecimiento durante la prueba. Sin embargo, el largo de la raíz al inicio fue de 8 cm, y al finalizar el experimento terminó en 16 cm. Por otro lado, se presentó un cambio en el color de raíz pasando de blanco a rojizo.



Ilustración 17. Pasto Vetiver al inicio
Fuente: Autores



Ilustración 18. Pasto Vetiver a los 5 días
Fuente: Autores



Ilustración 19. Pasto Vetiver a los 17 días
Fuente: Autores



Ilustración 20. Pasto Vetiver a los 23 días
Fuente: Autores

El Pasto Vetiver a los tres días de haber hecho contacto con los lixiviados se empezó a marchitar. Al transcurso de 5 días se adaptó a este medio y empezó a retoñar, estos retoños estuvieron presentes durante 13 días, transcurridos estos días los retoños se empezaron a secar de arriba hacia abajo y se evidencio un hongo de color blanco en las hojas del pasto.



Ilustración 21. Hongo macroscópicamente
Fuente: Autores



Ilustración 22. Hongo microscópicamente
Fuente: Autores

Se observó macroscópicamente un hongo algodonoso con una tonalidad blanco-amarillenta, y microscópicamente un hongo con cabeza aspergiliar donde se observa el conidióforo, vesículas y

cadena de fialoconidias.

7.3. Análisis comparativo de los parámetros estudiados, antes y después de utilizar el sistema de tratamiento Vetiver

En la tabla 2 se muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos de la muestra de lixiviado antes y después del tratamiento, para lo cual se llevó a cabo un análisis de laboratorio empleando la metodología descrita en los métodos estándar (Standart Methods).

Tabla 2

Análisis fisicoquímico inicial y final de la muestra de lixiviado del relleno sanitario La Guaratara antes y después del tratamiento

Parámetro	Unidad	Resultado antes del tratamiento	Resultado después del tratamiento
Aluminio (Al)	mg Al/L	0,7	0,5
Arsénico (As)	mg As/L	0,018	<0,01
Cadmio (Cd)	mg Cd/L	0,022	0,019
Cobre (Cu)	mg Cu/L	0,05	0,06
Cobalto (Co)	mg Co/L	0,08	0,10
Cromo (Cr)	mg Cr/L	0,17	0,24
Manganeso (Mn)	mg Mn/L	0,12	0,56
Mercurio (Hg)	mg Hg/L	< 0,0006	<0,002
Níquel (Ni)	mg Ni/L	0,14	0,18
Plata (Ag)	mg Ag/L	< 0,04	<0,05
Plomo (Pb)	mg Pb/L	0,16	0,17
Zinc (Zn)	mg Zn/L	0,51	0,44

Nota: Reporte Laboratorio Tecnoambiental (2018)

El porcentaje de remoción fue hallado mediante la fórmula:

$$\% \text{ remoción} = \frac{V_{pi} - V_{pf}}{V_{pi}} \times 100$$

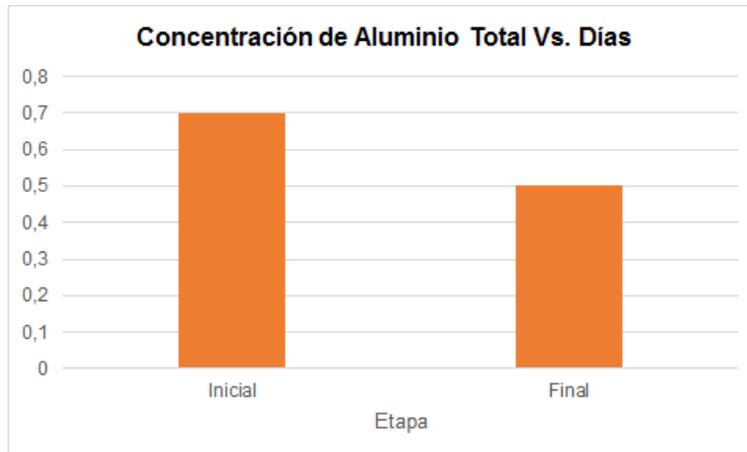
En donde,

V_{pi} = Valor de parámetro inicial

V_{pf} = Valor de parámetro final

Para la unidad experimental se calcularon los porcentajes de remoción para los metales Aluminio, Arsénico, Cadmio y Zinc, ya que, de acuerdo con las gráficas, estos fueron los parámetros que después del tratamiento disminuyeron su concentración.

7.3.1 Porcentaje de remoción de Aluminio.

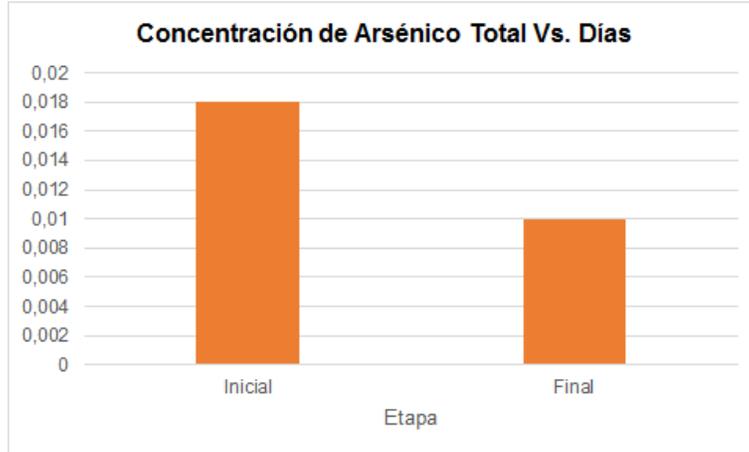


Gráfica 2. Concentración de Aluminio Vs días
Fuente: Autores

$$\% \text{ remoción} = \frac{(0.7\text{mg Al/L} - 0.5\text{mg Al/L}) \times 100}{0.7\text{mg Al/L}} = 28,57\%$$

El aluminio proviene de la alteración de silicatos que tienen dicho elemento. A pH menores de 5.5 es soluble en el suelo y por ello en procesos de acidificación a causa de la lluvia ácida. El Al aumenta en los cursos de agua llegando al ser humano y pudiendo provocar desórdenes neurológicos e incluso Alzheimer (Barrio, N. s.f, p.11).

7.3.2 Porcentaje de remoción de Arsénico.



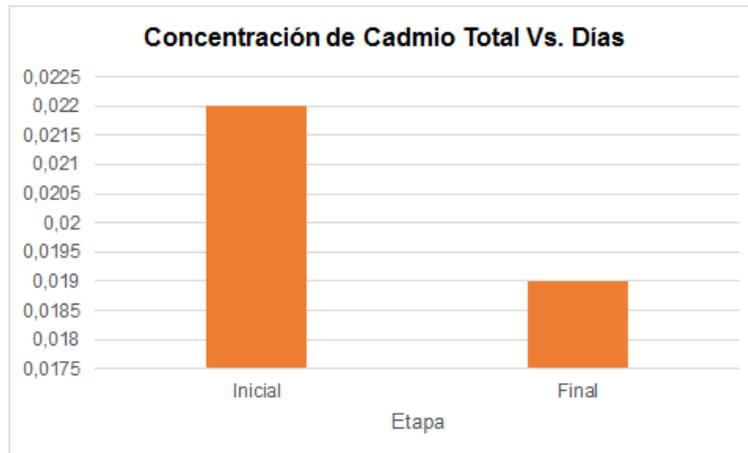
Gráfica 3. Concentración Arsénico Vs días
Fuente: Autores

$$\% \text{ remoción} = \frac{(0.018 \text{ mg As/L} - 0.01 \text{ mg As/L}) \times 100}{0.018 \text{ mg As/L}} = 44,4\%$$

El arsénico es un elemento móvil, es decir, que se esparce por el viento y por las aguas de escorrentía por la superficie de la tierra, sin depositarse en grandes concentraciones. En su desplazamiento por el suelo y por el agua, el arsénico, puede pasar a plantas y a animales terrestres y acuáticos (Domínguez, M. s.f, p.182).

Puede causar enfermedades en las personas como Lesiones en la piel; trastornos circulatorios; alto riesgo de cáncer.

7.3.3 Porcentaje de remoción de Cadmio.

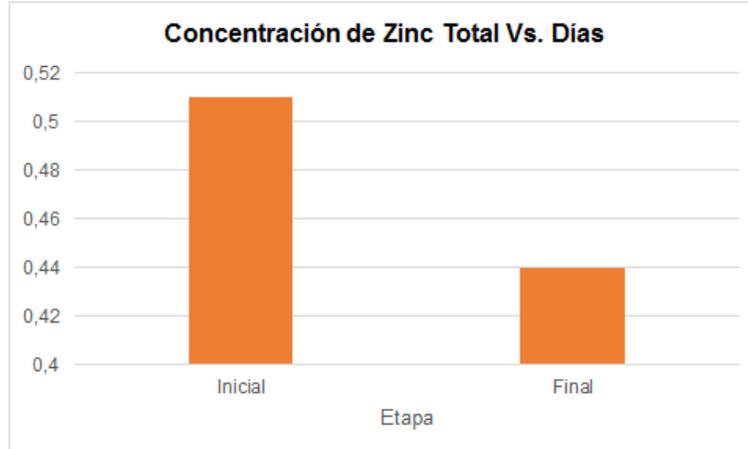


Gráfica 4. Concentración de Cadmio Vs días
Fuente: Autores

$$\% \text{ remoción} = \frac{(0,022 \text{ mg Cd/L} - 0,019 \text{ mg Cd/L}) \times 100}{0,022 \text{ mg Cd/L}} = 13,6\%$$

La degradación de las baterías, los plásticos, los productos electrónicos, el lavavajillas, el lavarropas, los pigmentos, el vidrio, las cerámicas, los aceites usados y el caucho contienen cadmio, estos residuos liberan y emiten enfermedades perjudiciales para los seres humanos como lesiones renales (Jiménez, D. 2012, p.3).

7.3.4 Porcentaje de remoción de Zinc.



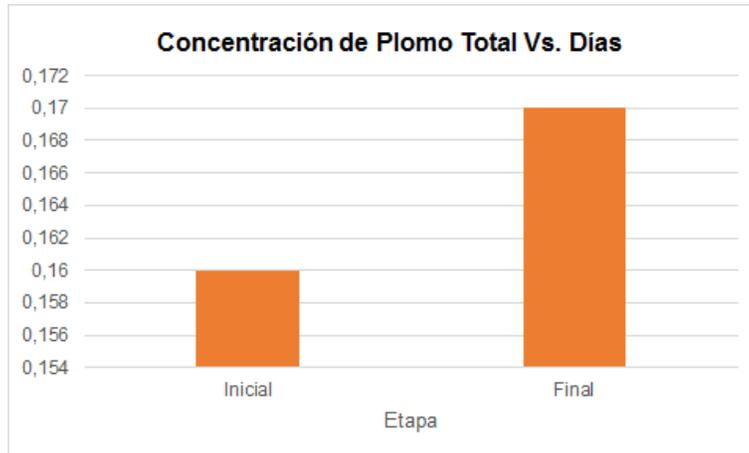
Gráfica 5. Concentración de Zinc Vs días
Fuente: Autores

$$\% \text{ remoción} = \frac{(0.51 \text{ mg Zn/L} - 0.44 \text{ mg Zn/L}) \times 100}{0.51 \text{ mg Zn/L}} = 13,72\%$$

El contenido de zinc está presente en las tuberías plásticas o galvanizadas con cobre, también se mezcla con otros metales para formar aleaciones tales como el latón y bronce. Es un oligoelemento esencial que se encuentra prácticamente en todos los alimentos y el agua potable en forma de sales o complejos orgánicos, la ingesta de este puede producir anemia, daño del páncreas y disminución del tipo de colesterol beneficioso (HDL) en la sangre. (Valles, A. 2013, p.24).

Por otra parte, se calcularon los porcentajes de incremento para los metales Plomo, Plata, Níquel, Manganeso, Cromo, Mercurio, Cobalto y Cobre, ya que, de acuerdo con las gráficas, estos fueron los parámetros que después del tratamiento aumentaron su concentración.

7.3.5 Porcentaje de incremento Plomo

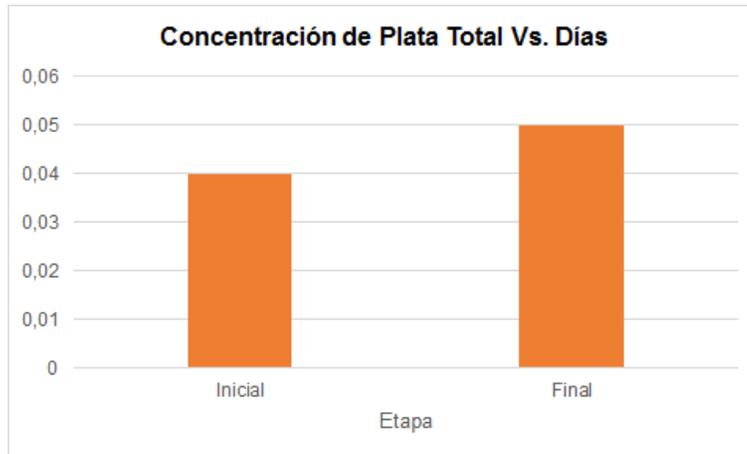


Gráfica 6. Concentración de Plomo Vs días
Fuente: Autores

$$\% \text{ incremento} = \frac{(0.16 \text{ mg Pb/L} - 0.17 \text{ mg Pb/L}) \times 100}{0.16 \text{ mg Pb/L}} = -6,25\%$$

El plomo es un metal blando. Este ha sido usado ampliamente en aplicaciones de productos metálicos, cables y tuberías, pero también en pinturas y pesticidas. El plomo es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana, pueden causar diferentes enfermedades en los niños retardo en desarrollo físico o mental; y en los adultos trastornos renales e hipertensión. (Morales, C. 2007, p.44).

7.3.6 Porcentaje de incremento Plata.

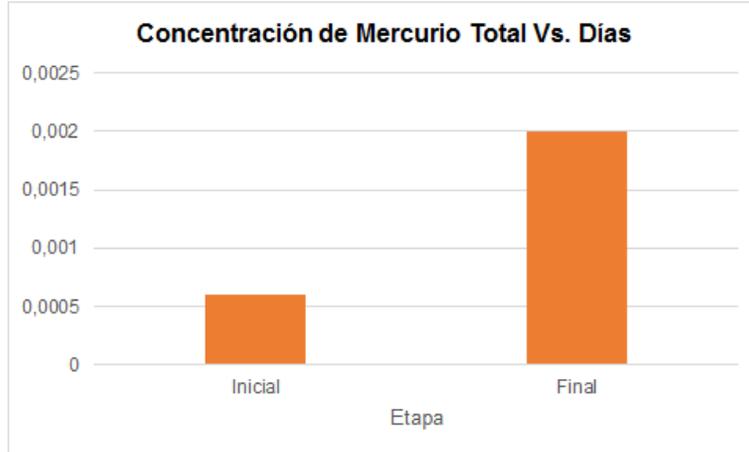


Gráfica 7. Concentración de Plata Vs días
Fuente: Autores

$$\% \text{ incremento} = \frac{(0.04 \text{ mg Ag/L} - 0.05 \text{ mg Ag/L}) \times 100}{0.04 \text{ mg Ag/L}} = -25\%$$

La exposición a niveles altos de plata en el aire produce problemas respiratorios, irritación de la garganta y el pulmón y dolores de estómago. A veces, el contacto de la piel con la plata puede causar reacciones alérgicas leves, tales como sarpullido, hinchazón e inflamación. Concentraciones extremadamente altas pueden causar somnolencia, espasmos, confusión e inconsciencia (Velásquez, M.2015, p.16).

7.3.7 Porcentaje de incremento de Mercurio.

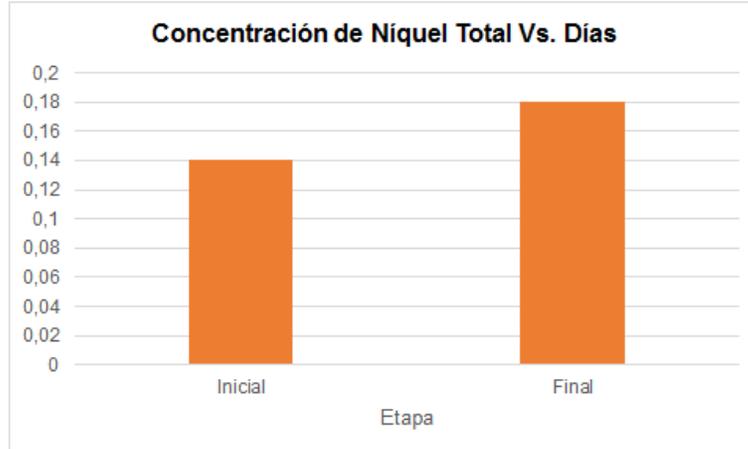


Gráfica 8. Concentración de Mercurio Vs días
Fuente: Autores

$$\% \text{ remoción} = \frac{(0.0006 \text{mg Mg/L} - 0.002 \text{mg Mg/L}) \times 100}{0.0006 \text{mg Mg/L}} = 233,3\%$$

La disposición final de residuos tales como las baterías, las lámparas fluorescentes, los restos de pinturas, los termómetros, los pigmentos de tintas y los plásticos pueden contener mercurio. Estos residuos se descomponen a través de proceso de percolación convirtiéndose en un líquido lixiviado, estos al contacto con las personas pueden causar enfermedades como lesiones renales y neurológicas (Valles, A. 2013, p.22).

7.3.8 Porcentaje de incremento Níquel.

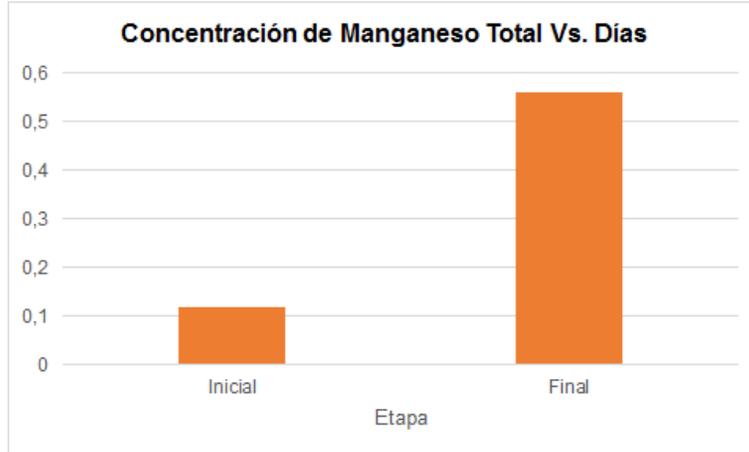


Gráfica 9. Concentración de Níquel Vs días
Fuente: Autores

$$\% \text{ incremento} = \frac{(0.14 \text{ mg Ni/L} - 0.18 \text{ mg Ni/L}) \times 100}{0.14 \text{ mg Ni/L}} = -28,57\%$$

La ingesta o inhalación de Níquel es común, al igual que la exposición dérmica. La contaminación por Níquel a partir de actividades antropogénicas ocurre localmente por emisiones de minas, procesos y operaciones de refinera, quema de combustibles fósiles, niquelado de metales y manufactura de aleaciones. Produce daño en diversos sistemas como el respiratorio, cardiovascular, gastrointestinal, hematológico, músculo esquelético, hepático, renal, dérmico, ocular, inmunológico, neurológico y sistema reproductivo (Quilodrán, 2002) citado por Jiménez David (2012, p.4.)

7.3.9 Porcentaje de incremento Manganese.

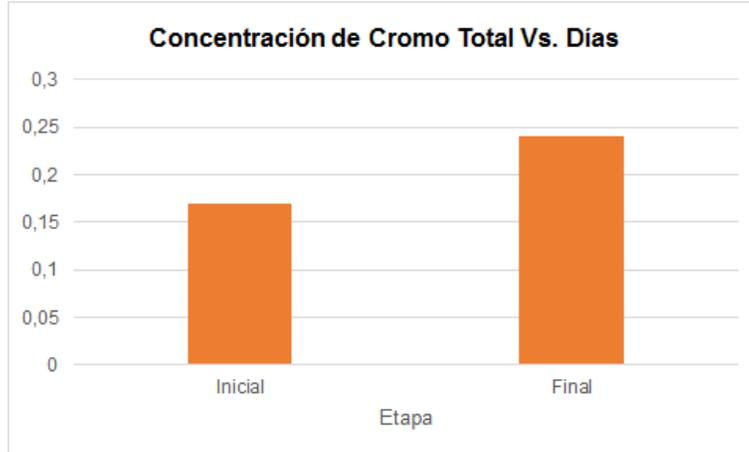


Gráfica 10. Concentración de Manganeso Vs días
Fuente: Autores

$$\% \text{ incremento} = \frac{(0.12 \text{ mg Mn/L} - 0.56 \text{ mg Mn/L}) \times 100}{0.12 \text{ mg Mn/L}} = -366,66\%$$

El manganeso en el ambiente no se presenta como elemento puro. Forma principalmente compuestos solidos con oxígeno, cloro y azufre. Es parte de organismos vivientes, incluso en las plantas y animales, de manera que está presente en los alimentos y de esta manera pueden transmitir efectos neurológicos tras la exposición por inhalación en los seres humanos (Valencia, C. s.f, p.8).

7.3.10 Porcentaje de incremento Cromo.

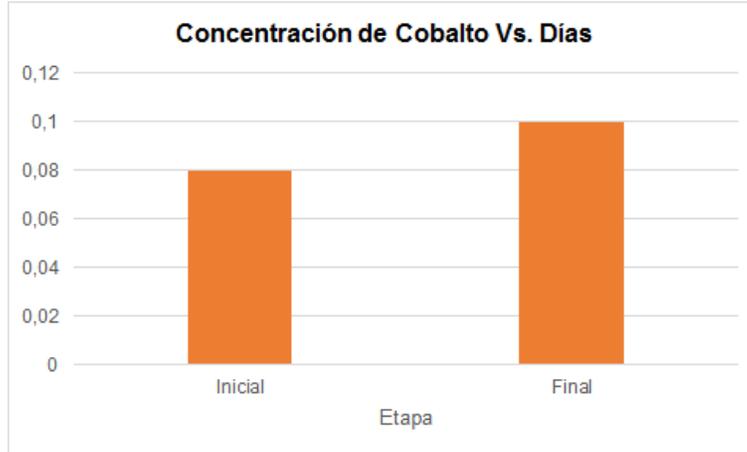


Gráfica 11. Concentración de Cromo Vs días
Fuente: Autores

$$\% \text{ incremento} = \frac{(0.17 \text{ mg Cr/L} - 0.24 \text{ mg Cr/L}) \times 100}{0.17 \text{ mg Cr/L}} = -41,17\%$$

El cromo entra en el aire, agua y suelo a través de procesos naturales y actividades humanas. Las mayores actividades humanas que incrementan las concentraciones de acero, las peleterías y las industrias textiles, pintura eléctrica y otras aplicaciones industriales. Estas aplicaciones incrementarán las concentraciones del Cromo en agua. El Cromo es mayoritariamente tóxico para el organismo. Este puede alterar el material genético y causar cáncer. (Morales, C. 2007, p.45).

7.3.11 Porcentaje de incremento Cobalto.

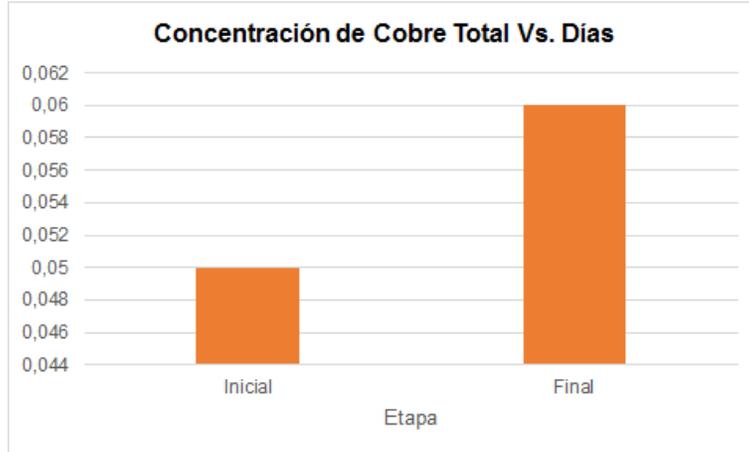


Gráfica 12. Concentración de Cobalto Vs días
Fuente: Autores

$$\% \text{ incremento} = \frac{(0.08 \text{ mg Co/L} - 0.10 \text{ mg Co/L}) \times 100}{0.08 \text{ mg Co/L}} = -25\%$$

El cobalto es un elemento natural que se encuentra en las rocas, el suelo, el agua, plantas y animales, se encuentra en el ambiente debido a fuentes naturales, así como al quemar carbón o petróleo. Este metal tiene efectos perjudiciales para la salud de seres humanos, la exposición a niveles altos puede producir efectos en el hígado y el corazón. (Toro, P. 2013, p.29).

7.3.12 Porcentaje de incremento Cobre.



Gráfica 13. Concentración de Cobre Vs días
Fuente: Autores

$$\% \text{ incremento} = \frac{(0.05 \text{ mg Cu/L} - 0.06 \text{ mg Cu/L}) \times 100}{0.08 \text{ mg Cu/L}} = -12,5\%$$

El cobre se encuentra naturalmente en las rocas, el agua, los sedimentos y en niveles bajos del aire. Está presente en la Corrosión de cañerías en el hogar; erosión de depósitos naturales; percolado de conservantes de madera. Puede transmitir enfermedades como molestias gastrointestinales y lesiones hepáticas o renales (Valles, A. 2013, p.21).

8. Discusión

De acuerdo con la Resolución 0631 de 2015 Capítulo VI Artículo 14 Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas – ArnD de las actividades de servicios y otras actividades a cumplir, se pudo observar que los parámetros analizados se encuentran en condiciones muy bajas, cumpliendo con la norma (tabla 1). Sin embargo, a pesar de estos resultados, se pudo hacer una medición con el fin de determinar la capacidad de remoción del Pasto Vetiver.

La poca concentración de metales pesados en estos lixiviados puede estar relacionada, con las características de los residuos depositados, edad del vertedero, la meteorología del lugar, el diseño y modo de operación del lugar de disposición.

Borzacconi (1996) citado por Cárdenas Sánchez (2012, p. 22), menciona que la calidad y cantidad de los lixiviados dependen de la interacción de un gran número de factores como: tipo y solubilidad de los residuos dispuestos (composición de las basuras, cantidad y calidad del reciclaje), diseño y operación del sitio de disposición (tiempo y forma de disposición, grado de compactación del residuo, altura de enterramiento, geomorfología de la cobertura), procesos de conversión microbiológica y química, interacción del lixiviado con el medio ambiente, naturaleza del suelo (topografía, almacenamiento del agua por el suelo, litología y concentración de materia orgánica y organismos vivos) y condiciones climáticas (régimen hidrológico, temperatura, evaporación y escurrimiento superficial), además la calidad de los lixiviados en un relleno sanitario varía

significativamente en el tiempo, al igual que con el tipo de relleno sanitario que se tenga.

El color negro del lixiviado al inicio del experimento (ilustración 11) lo pudo ocasionar la degradación de la materia orgánica presente en los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario, a las partículas coloidales, y a la formación de complejos férricos con ácidos fúlvicos y ácidos húmicos presentes en el terreno.

Por otro lado, teniendo en cuenta que no se realizaron análisis de laboratorio para saber si la muestra contenía hierro, es muy probable que dicho elemento esté presente en estos lixiviados, y la coloración café que tomo el lixiviado al final del experimento (ilustración 12) se pueda atribuir principalmente a la oxidación de todo el hierro a Fe^{3+} , con la consecuente formación de hidróxido de hierro (III).

Otras posibles razones, por las cuales hubo cambio en el color del lixiviado pudo ser porque la oxigenación mecánica constante convirtió la mayor parte de la DQO en lodo, el cual fue precipitado al fondo del recipiente. La otra razón, pudo ser por la absorción de metales a través de los rizomas de la planta, lo cual quedo demostrado en el cambio de color de la raíz.

El olor ofensivo que se percibió en el lixiviado al inicio del experimento puede estar asociado a la descomposición de materia orgánica, y a sustancias químicas como ácido sulfhídrico, amoníaco, ácidos grasos volátiles y compuestos inorgánicos de sulfuros que pueden ser generados bajo condiciones anaeróbicas. Adicionalmente, también puede estar relacionado por los aldehídos, cetonas, aminas, entre otros, que resultan de la oxidación incompleta de la materia orgánica.

Al finalizar el experimento no se percibió ningún olor ofensivo, es probable que esto se deba a la oxigenación mecánica constante aplicada al experimento a través de la bomba, ya que esta

evita que se creen condiciones anaeróbicas, así como también ayuda a la oxidación completa de la materia orgánica, eliminando así los olores.

El volumen inicial de lixiviado fue de 18 litros, con la implementación del sistema de rizo-filtración del pasto vetiver quedaron 11.5 litros que equivalen al 63.8% (gráfica 1), lo cual indica que el volumen del líquido se redujo en un 36,1%, ya sea por evaporación natural y por absorción de la planta. De acuerdo con el balance volumétrico medido en el recipiente:

- El volumen Total reducido en 40 días fue de 6500 ml
- El volumen calculado de evaporación del lixiviado fue de 2960 ml.
- El volumen calculado de absorción del lixiviado fue de 3540 ml en 40 días
- El porcentaje evaporado respecto al volumen reducido fue de un 45,5%
- El porcentaje absorbido por la planta respecto al volumen reducido fue de un 54,5%.

Por lo cual se concluye que la planta (pasto Vetiver), tiene una alta tasa de absorción del fluido en el cual se posee. Sin embargo, en este cálculo se está despreciando la posible aceleración en la tasa de evaporación causada por la bomba de oxígeno, implementada en el sistema. Un ejemplo claro ocurrió como lo mencionan Percy y Truong (2005), en el relleno sanitario de Stotts Creek uno de los principales depósitos de residuos del Condado de Tweed, en New South Wales, Australia, donde una siembra de 3,5 ha de Vetiver en 2003 eliminó efectivamente 4 millones de litros por mes en el verano y 2 millones de litros al mes en el invierno.

Hubo un tiempo en el cual el pasto empezó a morir, probablemente porque la concentración de contaminantes se incrementó ante la disminución volumétrica del lixiviado, y la adaptación de la planta a los cambios bruscos de concentración no se logró, por tal motivo para futuras investigaciones se recomienda mantener el volumen constante de entrada del lixiviado, que

compense la tasa de evaporación y de absorción, para este caso sería, $7,8 \cdot 10^{-4} \text{ L/m}^2 \cdot \text{minuto}$, a partir de este valor experimental calculado para el Municipio de Granada – Meta se puede establecer la cantidad de pasto a sembrar, en una superficie más amplia, así como la tasa de entrada de lixiviado para mantener una concentración constante de contaminantes en la solución, favoreciendo el restablecimiento o adaptación de la planta.

Volumen constante de entrada del lixiviado, que compense la tasa de evaporación y de absorción. Para este caso sería:

$$\frac{6500 \text{ ml}}{0,144 \text{ m}^2 \times 40 \text{ días}} \cdot \frac{1 \text{ Litro}}{1000 \text{ ml}} \cdot \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} \cdot \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}}$$

$$\text{Tasa de flujo constante} = 7,8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{L}}{\text{m}^2 \cdot \text{min}}$$

En este cálculo no se ha incluido la tasa de precipitación (lluvia) del lugar, por tal motivo, los valores deberán ser recalculados, una vez se conozca la tasa de precipitación exacta del lugar. Para ello se haría necesario contar con una estación meteorológica más cercana que la de Villavicencio – Meta

De acuerdo con los análisis de laboratorio, el lixiviado mostro que después de haber hecho contacto con las raíces del Pasto Vetiver, los niveles totales de Al se redujeron un 28,57% (de 0,7 a 0,5 mg/L), el As un 44,4% (de 0,018 a 0,01 mg/L), el Cd un 16,6% (de 0,022 a 0,019 mg/L) y el Zn un 13,72% (de 0,51 a 0,54 mg/L). Estos niveles están muy por debajo de los límites máximos autorizados en la resolución 0631 de 2015, que son Al 3,00 mg/L; As 0,10 mg/L; Cd 0,05 mg/L y Zn 3,00 mg/L.

Así mismo, el lixiviado mostro que después de haber hecho contacto con las raíces del Pasto Vetiver, los niveles totales de Pb aumentaron un 6,25% (de 0,16 a 0,17 mg/L), Ag un 25% (de

0,04 a 0,05 mg/L), el Hg un 233,3% (de 0,0006 a 0,002 mg/L), el Ni un 28,57% (de 0,14 a 0,18 mg/L), el Mn un 366,66% (de 0,12 a 0,56 mg/L), el Cr un 41,17% (de 0,17 a 0,24 mg/L) el Co un 25% (de 0,08 a 0,10 mg/L), y el Cu un 12,5% (de 0,05 a 0,06 mg/L). Es probable que los contenidos de estos metales se hayan incrementado por la posible presencia de estos en las raíces del pasto, ya que no se conocen las condiciones del suelo donde se cultiva este pasto y tampoco el agua con la que es irrigado. Por otro lado, el incremento de concentración en estos parámetros se pudo dar por la disminución del líquido lixiviado ya sea por absorción de la planta o por evaporación, ya que si se disminuye el volumen lo más probable es que aumente la concentración de estos metales. La disminución del volumen se pudo observar desde el día 1 hasta el día 40 pasando de 18 litros a 11,5 litros.

Es probable que el crecimiento lento de la raíz de la planta se deba a que ésta creció hasta que estuvieron presentes los retoños, y a partir de ese momento lo más posible es que la planta haya muerto, ya sea por la presencia del hongo o por los altos contenidos de contaminantes presentes en los lixiviados. Por otro lado, el cambio de color de la raíz de blanco a rojizo puede ser por la absorción de contaminantes a través de sus rizomas.

El Pasto Vetiver a los tres días de haber hecho contacto con los lixiviados se empezó a marchitar, esto se debe al cambio de nutrientes. Al trascurso de 5 días se adaptó a este medio y empezó a retoñar, estos retoños estuvieron presentes durante 13 días (ilustración 18), transcurridos estos días los retoños se empezaron a secar de arriba hacia abajo y se evidenció un hongo de color blanco en las hojas del pasto (ilustración 20). “A la fecha, no existen reportes significativos relacionados con enfermedades o plagas en el pasto Vetiver en el mundo” (Danh et al., 2012, p. 23). “Sin embargo, hay reportes ocasionales de infestación del hongo *Fusarium* en Colombia y Papua (Indonesia)” (Trung & Danh, 2015, p. 23).

Teniendo en cuenta el ejemplo anterior, se quiso investigar si el pasto había sido afectado por el hongo mencionado anteriormente, para ello se llevó un trozo de hoja infectada al laboratorio, la cual se sembró en Agar Sabouraud Dextrosa y se incubó durante 8 días a una temperatura de 25 °C, con el fin de reproducir la muestra de hongo, pasado estos días, se observó macroscópicamente un hongo algodonoso con una tonalidad blanco-amarillenta (ilustración 21).

Por otro lado, se observó microscópicamente un hongo con cabeza aspergiliar donde se observa el conidióforo, vesículas y cadenas de fialoconidias (ilustración 22). De lo cual se pudo concluir que el hongo realmente no pertenece al *Fusarium*. De acuerdo con sus características microscópicas el hongo pertenece al hongo *Aspergillus flavus*. Abarca Lourdes (2000) afirma que el hongo *Aspergillus flavus* presenta “cabezas conidiales uniseriadas y biseriadas, principalmente radiales; estipes normalmente rugosos, hialinos o de color marrón pálido. Vesícula esférica; métulas ocupando prácticamente toda la superficie de la vesícula. Conidios globosos o elipsoidales, lisos o ligeramente rugosos”.

El género *Aspergillus* fue reconocido inicialmente en 1729 por Micheli en Florencia, Italia. Es un organismo filamentoso anamórfico (asexual) que se reproduce por esporas llamadas conidias, aunque se han descrito formas teleomórficas (sexuales) en *A. nidulans*, *A. fumigatus* y *A. amstelodami*. Es un organismo de distribución ubicua, se encuentra en el agua, el suelo, el aire, el material en descomposición y otras localizaciones (Cuervo Maldonado, Gómez Rincón, Rivas, Guevara, 2010).

Como se dijo anteriormente el *Aspergillus*, crece especialmente en suelos y materiales en descomposición, es muy probable que este haya crecido en la planta por los tallos viejos, debido a que estos no se regeneraron y se convirtieron en biomasa, lo cual pudo servir de reservorio para

dicho hongo. Por otro lado, este hongo es uno de los principales productores de micotoxinas, es muy probable que dichas micotoxinas hayan producido el deterioro del pasto, lo que causó la muerte de los nuevos retoños.

9. Conclusiones

No se logró obtener una remoción del 80% de los metales pesados como se esperaba desde el inicio de la propuesta, sin embargo, se puede concluir que el pasto Vetiver obtuvo un porcentaje de remoción no tan significativo en los metales aluminio, arsénico, cadmio y zinc.

La cantidad de metales pesados encontrados en los lixiviados era mínima y cumplían con la norma, sin embargo, estos valores se toman como referencia y se determina que los tipos de residuos dispuestos en el relleno no son de tipo peligroso que puedan generar metales pesados en los lixiviados.

Con la implementación del sistema Vetiver, el volumen inicial del lixiviado se redujo, lo que indica que la implementación de balsas con pasto vetiver en la piscina del relleno sanitario La Guaratara, sería una buena alternativa para evitar que se produzcan derrames de lixiviados, evitando que estos se infiltren en el suelo, contaminando acuíferos y cauces de agua subterránea, disminuyendo así el impacto de contaminación inminente en los recursos naturales presentes en la zona.

El pasto Vetiver puede estar expuesto a hongos que afectan su crecimiento y capacidad de fitorremediador, pero es un problema que se puede solucionar en el transcurso de su crecimiento.

Se presentó un incremento en la concentración de los metales plomo, plata, mercurio, níquel, manganeso, cromo, cobalto y cobre, debido a la disminución del volumen del lixiviado producido tanto por la tasa de evaporación y la tasa de absorción de la planta, sin embargo, este problema se puede solucionar manteniendo un equilibrio entre la tasa de disminución total y la tasa de entrada al sistema.

El pasto Vetiver obtuvo un porcentaje de absorción del 54,5%, lo que indica que este tiene

una alta tasa de absorción del fluido en el cual se poseione, sin embargo, en los cálculos se está despreciando la posible aceleración en la tasa de evaporación causada por la bomba de oxigenación implementada en el sistema.

Los brotes nuevos que estuvieron presentes en el pasto Vetiver durante 13 días indican que la planta se estaba adaptando a las altas concentraciones de contaminantes presentes en el lixiviado.

El pasto Vetiver después de los 13 días que desaparecieron los nuevos brotes permaneció café durante el resto de tiempo que duro el experimento, lo cual indica que este murió, sin embargo, esto se puede solucionar reemplazando las plantas que no se regeneran.

10. Recomendaciones

Antes de seleccionar las plantas, es importante, realizar pruebas preliminares para medir la capacidad que tienen estas de tolerar las condiciones agresivas de los lixiviados.

Realizar análisis de laboratorio (espectrofotometría) a la raíz y hoja del pasto Vetiver al inicio y al final del tratamiento, con el fin de conocer los posibles metales presentes en este que puedan afectar el tratamiento. Estableciendo además la capacidad de absorción de los metales y su capacidad de adaptación y restauración ante una saturación excesiva de metales. De esta manera se podrán establecer los volúmenes de dilución con agua limpia, para dar tiempo a que la planta se adapte.

Hacer verificaciones de supervivencia al pasto un mes después de sembrado, toda planta que permanezca café después de este periodo puede considerarse perdida, si más del 10% de estas plantas no se regeneran, es necesario reemplazarlas.

Instalar dos blancos, uno para controlar y definir la ecuación para la tasa de evaporación del agua (sin pasto sombrado) y el otro blanco con pasto vetiver sembrado, pero dentro de agua fresca del efluente para verificar las condiciones de este frente a posibles ataques de hongos y determinar la tasa de absorción sin contaminantes.

Establecer un sistema de alimentación de tasa constante de lixiviado, con el fin de mantener el nivel del fluido, esta ayudaría a que la concentración de metales en la solución sea constante y no se alteren por la disminución volumétrica.

Emplear más pasto plantado hidropónicamente por unidad de área, con el fin de garantizar mayor absorción de los metales en la solución de lixiviados, así como para permitir la recuperación ante la absorción de contaminantes evitando su tasa de mortalidad.

Incluir en los análisis fisicoquímicos de laboratorio la determinación de óxidos de metal, debido a que durante el experimento es posible que se hayan incrementado por la oxigenación mecánica que se implementó para poder tener una distinción plena de los metales totales, ya que se evidencio en algunos casos el incremento de su concentración.

Bibliografía

- Abarca, L. (2000). Taxonomía e identificación de especies implicadas en la aspergilosis nosocomial. *Revista Iberoamericana de Micología*, 17: S79-S84
- Beltrano, J. & Jiménez, D. (s.f.). Cultivo de Hidroponía. *Facultad de ciencias agrarias y forestales. Universidad Nacional de la Plata*. Recuperado de: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Chiriboga, H. (2016). *Evaluación del potencial fitorremediador de dos especies vegetales (chrysopogon zizanioides. (l.) roberly) y (eleocharis elegans. (kunth) roem. & schult.) En la piscina de lixiviados del botadero controlado del Cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe*. Proyecto de grado. Ecuador: Universidad Nacional de la Loja.
- Collazos, H. (2006). Técnicas de investigación. *Módulo didáctico. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Colombia*.
- Cuervo - Maldonado, S., Gómez - Rincón, J., Rivas, P. & Guevara, F. (2010). Actualización en Aspergilosis con énfasis en Aspergilosis invasora. *Revista Infectio*, 14 (S2): S131-S144
- Domínguez, M. (s.f.). IV el arsénico y la salud. Recuperado de: <https://www.analesranf.com/index.php/mono/article/viewFile/600/617>

- Espínola, M., Piedra Fernández, J. A., Ayala, R., Iribarne, L., Leguizamón, S., & Wang, J. Z. (2016). Simulating rainfall, water evaporation and groundwater flow in three-dimensional satellite images with cellular automata. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 67 (2016) 89-99.
- Gómez, N. & Rico, F. (2017). *Uso del chrysopogon zizanioides como alternativa natural para disminuir la carga contaminante en efluentes provenientes de la actividad piscícola en la colonia agrícola de Acacias –Meta*. Proyecto de grado. Acacías: Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Colombia.
- Israde, I., Buenrostro, O. & Carrillo, A. (2005). *Geological characterization and environmental implications of the placement of the Morelia Dump, Michoacan, central México*. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 55: 755-764.
- Jiménez, D. (2012). *Cuantificación de metales pesados (cadmio, cromo, níquel y plomo) en agua superficial, sedimentos y organismos (crassostrea columbiensis) ostión de mangle en el puente Portete del estero salado (Guayaquil)*. (Tesis). Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- Jiménez, E. & Vargas, S. (2015). *Evaluación de la eficiencia del pasto vetiver para la fitorremediación de las aguas superficiales del caño cola de pato ubicado en el sector rural del municipio de Acacías departamento del Meta*. Proyecto de grado. Acacías: Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Colombia.

Mafia, E (2013). Aluminio y sus aleaciones. Recuperado de:
[file:///C:/Users/Aer/Downloads/ALUMINIO%20y%20SUS%20ALEACIONES%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Aer/Downloads/ALUMINIO%20y%20SUS%20ALEACIONES%20(1).pdf)
f.

Mercado, A. (2013). *Lagunas de estabilización*. Recuperado de:
https://aquaknow.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/3.lagunas_de_estabilizacion_0.pdf

Metcalf & Eddy INC (1995). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización.
Mc Graw Hill interamericana de España S.A. 1485 pp.

Noguera, K., Olivero, J., (2010). Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso colombiano. *La Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Volumen XXXIV, número 132. Septiembre de 2010.*

Percy I., Truong P. (2005). Landfill leachate disposal with irrigated Vetiver grass. National Conference on Landfill, Brisbane, Australia, Sept 2005

Pontificia Universidad Javeriana. (2006). *Manejo Integral De Aspectos Ambientales-Residuos Sólidos* Recuperado de
Http://Www.Javeriana.Edu.Co/Ier/Recursos_User/Ier/Documentos/Otros/Pres_Residuos_Camiloc.Pdf

Sánchez, A. (2012). *Evaluación del desempeño de humedales construidos con plantas nativas tropicales para el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios*. Proyecto fin de máster. Sevilla: Universidad de Sevilla. España.

Ruedas, L. (2017). *Diseño y evaluación de un sistema piloto a partir de plantas hiperacumuladoras para la depuración de los lixiviados generados en el parque tecnológico ambiental “las bateas” del municipio de Aguachica Cesar*. Proyecto de grado. Ocaña, Colombia: Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

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*. Proyecto de grado. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana

Sierra, S. (2016). *Recuperación de compuestos de tungsteno y cobalto a partir de residuos de carburo de tungsteno – cobalto*. (Tesis de investigación). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

Toro, P. (2013). *Determinación de los metales pesados Cobalto, Mercurio y Plomo en la represa Daule Peripa por medio de Espectrómetro de emisión atómica con fuente de Plasma de argón con Acoplamiento Inductivo*. (Tesis). Universidad de Guayaquil, Guayaquil.

Truong, P., & Danh, L. (2008). *El sistema vetiver para mejorar la calidad del agua. Prevención y tratamiento de aguas y tierras contaminadas. Manual*. Recuperado de: <http://www.vetiver.org/Water%20quality%20Spanish%20web%202.pdf>

Valles, A. (2013). *Tratamiento Físicoquímico y Biológico de lixiviado del Relleno Sanitario de la ciudad de Chihuahua*. (Tesis de maestría). Centro de investigación en materiales avanzados, Chihuahua.

Vetivercol Servicios y Consultorías S.A.S. (s.f.). *Tratamiento de aguas residuales y rellenos sanitarios*. Recuperado de:

http://www.vetiver.org/COL_Tratamiento%20de%20Aguas%20Residuales%20y%20Rellenos%20Sanitarios.pdf

Yifei, Z. (2015). Análisis ambiental de la producción de cobre. (*Tesis de especialidad*). *Escola de Camins, Barcelona*.