



UNIVERSIDAD NACIONAL

DE LOJA

**ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y
CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE**

**“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL FITORREMIADOR DE DOS
ESPECIES VEGETALES (*Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty)
y (*Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult.) EN LA PISCINA
DE LIXIVIADOS DEL BOTADERO CONTROLADO DEL CANTÓN
ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE”**

Tesis de grado previa a la obtención
del Título de Ingeniero en Manejo y
Conservación del Medio Ambiente

DIRECTOR:

Ing. Galo Enrique Ramos Campoverde Mg. Sc.

AUTOR:

Henry Patricio Chiriboga Guzmán

ZAMORA – ECUADOR

2016



UNIVERSIDAD NACIONAL

DE LOJA

**ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y
CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE**

**“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL FITORREMEDIADOR DE DOS
ESPECIES VEGETALES (*Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty
y (*Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult.) EN LA PISCINA
DE LIXIVIADOS DEL BOTADERO CONTROLADO DEL CANTÓN
ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE”**

DIRECTOR:

Ing. Galo Enrique Ramos Campoverde Mg. Sc.

AUTOR:

Henry Patricio Chiriboga Guzmán

ZAMORA – ECUADOR

2016

CERTIFICACIÓN

Ing. Galo Enrique Ramos Campoverde. Mg. Sc.

DOCENTE DE LA MODALIDAD DE ESTUDIOS PRESENCIAL DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE DEL PLAN DE CONTINGENCIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA, SEDE ZAMORA.

CERTIFICO:

Que el presente trabajo de titulación denominado: "EVALUACIÓN DEL POTENCIAL FITORREMEDIAADOR DE DOS ESPECIES VEGETALES (*Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty) y (*Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult.) EN LA PISCINA DE LIXIVIADOS DEL BOTADERO CONTROLADO DEL CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE", desarrollado por el señor Henry Patricio Chiriboga Guzmán, ha sido elaborada bajo mi dirección y cumple con los requisitos de fondo y de forma que exigen los respectivos reglamentos e instructivos.

Por ello autorizo su presentación y sustentación.

Zamora, 07 de Noviembre de 2016

Atentamente



Ing. Galo Enrique Ramos Campoverde. Mg. Sc
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTORÍA

Yo Henry Patricio Chiriboga Guzmán, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

AUTOR: Henry Patricio Chiriboga Guzmán

FIRMA:



CÉDULA: 1104439003

FECHA: Zamora, 12 de diciembre de 2016

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO

Yo, Henry Patricio Chiriboga Guzmán, declaro ser autor de la Tesis titulada "EVALUACIÓN DEL POTENCIAL FITORREMIADOR DE DOS ESPECIES VEGETALES (*Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty) y (*Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult.) EN LA PISCINA DE LIXIVIADOS DEL BOTADERO CONTROLADO DEL CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE", como requisito para optar por el grado de: INGENIERO EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Digital Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la Tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización en la ciudad de Loja, a los doce días del mes de Diciembre del dos mil dieciséis, firma el autor:

AUTOR: Henry Patricio Chiriboga Guzmán

FIRMA: 

CÉDULA: 1104439003

DIRECCIÓN: Zamora, C/ Antonio Reyes y Luzmila Luzuriaga

CORREO ELECTRÓNICO: patrickchiri@gmail.com

TELÉFONO: 2606219 CELULAR: 0981712552

DATOS COMPLEMENTARIOS

DIRECTOR DE TESIS: Ing. Galo Enrique Ramos C, Mg. Sc.

TRIBUNAL DE GRADO

Ing. Osmani López Celi, Mg. Sc. (Presidente)

Ing. Hilter Farley Figueroa Saavedra, Mg.Sc. (Vocal)

Ing. Fausto Ramiro García Vasco, Mg.Sc. (Vocal)

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a las personas más importantes de mi vida; como lo son mis padres Marina Guzmán, Joselito Chiriboga y mi hermano Rommel Chiriboga, quienes con su apoyo incondicional, su amor, su paciencia y sabiduría han sabido darme la fortaleza para luchar por mis sueños y salir adelante día a día.

Finalmente y no por ello menos importante quiero dedicárselo y agradecerle infinitamente a Dios, por permitirme alcanzar mis sueños, darme la fortaleza y la guía necesaria para que día a día luche por lo que me he propuesto y sobre todo por regalarme la maravillosa familia que tengo.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja y a la carrera de ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente por acogernos dentro del sistema del Plan de contingencia para la culminación de nuestros estudios y la realización de este trabajo de Tesis.

De igual manera expreso mi gratitud al personal docente de la carrera de ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente que con sus valiosos aportes enriquecieron mis conocimientos, encaminaron mi formación personal. De manera especial agradezco al Director de esta Tesis, Ing. Galo Ramos Campoverde y al Coordinador de la Carrera, Ing. Osmani Eduardo López.

Al GAD del Cantón Zamora al director del departamento de Gestión Ambiental, de carácter especial al Ing. Miky Reyes y trabajadores del Botadero Controlado por su valiosísima apertura y colaboración en el desarrollo del presente trabajo.

A mi madre Marina Guzmán C. por su amor tan grande, por ser los pilares y guía de mi vida, te agradezco infinitamente por confiar en mí y estar siempre a mi lado.

A mis grandes amigos *C´KRAIP*, a mis amigas y a todos quienes de una u otra forma contribuyeron con su incondicional ayuda.

A todos gracias, atentamente;

Henry Patricio Chiriboga Guzmán

1 TITULO

“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL FITORREMIADOR DE DOS ESPECIES VEGETALES (*Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty) y (*Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult.) EN LA PISCINA DE LIXIVIADOS DEL BOTADERO CONTROLADO DEL CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE”

2 RESUMEN

El presente proyecto de investigación evaluó mediante condiciones controladas el potencial fitorremediador de dos especies vegetales en lixiviados del Botadero Controlado de la ciudad de Zamora. Se llevó a cabo la caracterización del sitio de estudio, entrevistas de trabajo y búsqueda de información secundaria. Para el proceso de fitorremediación se elaboraron piscinas experimentales con su respectiva repetición (52 cm ancho, 115 cm largo, 62 cm alto), soportando un caudal de 0,423 l/s al día. Además se podaron las 40 muestras para controlar su crecimiento obteniendo en hojas; 90 y 78 cm y raíz; 27,62 y 27 cm, (*Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty) y (*Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult.) respectivamente. Se determinó el potencial fitorremediador empleando el modelo estadístico Chi cuadrado, la especie (*Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty) redujo la concentración de contaminantes en los parámetros: Demanda Química de Oxígeno (DQO) 128 – 88 mg/L; Sólidos Suspendidos Totales 130 - 28 mg/L y metales como el Hierro 10 – 3,3 mg/L, aceptando así la hipótesis alternativa y rehusando la hipótesis nula. Con el objetivo de determinar la escases de contaminantes en los lixiviados analizados se buscó la fuga de estos en la celda de disposición final, una vez encontrados se realizó el análisis resultando positiva la concentración de contaminantes con un 60% superando el límite máximo permisible establecido por la Autoridad Ambiental Nacional, en los parámetros; SST 1303mg/l, Nitrógeno Amoniacal 505mg/l, BDO 576mg/l, DQO 2400mg/l, Hierro 37mg/l, demostrando así la existencia de contaminación en el Botadero Controlado.

Palabras clave: Fitorremediación, Lixiviado, *Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty, *Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult, DQO.

2.1 SUMMARY

The present research project evaluated the potential fitorremediador of two plant species through controlled conditions in leachate from the controlled landfill in Zamora city. This took place the characterization of the study site, interviews work and search for secondary information. For phytoremediation process were developed experimental pools with their respective repetition (52 cm width, 115 cm long, 62 cm high), supporting a flow of 0,423 l/s per day. In addition 40 samples of the two species were pruned for control of growth reaching a final result in leaves; 90 and 78 cm and root; 27, 62 and 27 cm, (*Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty) and (*Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult.) respectively. It was determined the potential fitorremediador using the Chi square statistical model, the species (*Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty) reduced in greater proportion of contaminants in the parameters: Chemical Demand of Oxygen (COD) 128 - 88 mg/L; Solids Suspended Total 130-28 mg/L and metals such as Iron 10 - 3.3 mg/L, thus accepting the alternative hypothesis and refusing the null hypothesis respectively. With the objective of determining the pollutant shortage of pollutants in leachates analyzed leakage into the cell's disposal is searched, found once proceeded to carry out the analysis resulted positive concentration of contaminants with a 60% exceeding the permissible maximum limit established by the national environmental authority, in parameters; SST 1303 mg/l, ammonia nitrogen 505 mg/l, BDO 576 mg/l, COD 2400mg/l, iron 37mg/l, demonstrating the existence of contamination in the dump Controlled Landfill .

Key Words: Phytoremediation, Leachate, *Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty, *Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult., COD.

3 INTRODUCCIÓN

El aumento gradual de la población y el no contar con otro lugar de disposición final de residuos sólidos ha extendido la vida útil del Botadero Controlado de la ciudad de Zamora generando lixiviados continuamente, incrementando así los contaminantes vertidos al afluente del río Zamora que alteran sus propiedades físico químicas y biológicas, perjudicando la vida acuática y de la población aledaña.

El propósito de la investigación es comprobar el potencial fitorremediador de las especies (*Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty) y (*Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult.) en los lixiviados generados por los procesos del Botadero Controlado, identificando la concentración de contaminación en varios parámetros establecidos mediante la caracterización del sitio de estudio, de esta manera la especie que cuente con mayor adaptabilidad además de reducir los parámetros, se recomendaría al departamento de gestión ambiental del GAD Municipal de Zamora con finalidad de realizar más estudios y ser considerada a emplearse en el humedal a construirse como parte de la fase de cierre del Botadero Controlado. Beneficiando así a la salud de la población Zamorana y de la vida acuática del río Zamora e igualmente al GAD municipal de Zamora y la autoridad ambiental competente quienes gozaran de los datos obtenidos en la investigación realizada en el Botadero Controlado.

Gracias a la investigación se obtuvieron datos sobre los procesos dados en el Botadero Controlado para la generación de lixiviados, el tratamiento llevado a cabo para reducir su contaminación, los parámetros existentes con concentraciones de

contaminantes, el caudal promedio generado durante lluvias y estiajes y la existencia de fugas de lixiviados en las celdas de disposición final.

El desarrollo de este trabajo de investigación tiene como objetivo general:

Evaluar el potencial fitorremediador de las especies vegetales (*Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty) y (*Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult.), en los lixiviados generados por el Botadero Controlado del cantón Zamora.

Los objetivos específicos son:

Diagnosticar el estado actual de los lixiviados generados en los procesos de manejo de los residuos del botadero controlado del cantón Zamora.

Evaluar el potencial fitorremediador de las especies vegetales (*Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty) y (*Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult.) en el tratamiento de lixiviados generados por el botadero controlado del cantón Zamora.

4 REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Saneamiento Ambiental en el Ecuador

Según el COOTAD (Ministerio de Coordinación de la Política y Gobiernos Autónomos Descentralizados, 2011). En su Capítulo III, sección Primera Naturaleza Jurídica, Sede y Funciones, nos menciona que entre las competencias exclusivas de los GAD Municipales son; “El manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley” (p. 41)

En el apartado de las Disposiciones Transitorias el artículo 598 del consejo cantonal para la protección de los derechos menciona en su apartado h);

Expedir los lineamientos generales para el establecimiento de infraestructura sanitaria, incluyendo sistemas conjuntos de agua potable y alcantarillado, saneamiento ambiental y transporte, tratamiento y eliminación de desechos de todo tipo, en el marco de la rectoría de la autoridad nacional competente (pp, 219- 229)

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) menciona que:

El saneamiento ambiental básico es el conjunto de acciones, técnicas y socioeconómicas de salud pública que tienen por objetivo alcanzar niveles crecientes de salubridad ambiental. Comprende el manejo sanitario del agua potable, las aguas residuales, los residuos orgánicos tales como las excretas y residuos alimenticios, los residuos sólidos y el comportamiento higiénico que reduce los riesgos para la salud y previene la contaminación. Tiene por finalidad la promoción y el mejoramiento de condiciones de vida urbana y rural.

4.1.1 Desechos Sólidos.

Entre las normas técnicas ambientales establecidas por el MAE (2015), menciona los siguientes conceptos:

Desechos: Son las sustancias (sólidas, semi-sólidas, líquidas, o gaseosas), o materiales compuestos resultantes de un proceso de producción, transformación, reciclaje, utilización o consumo, cuya eliminación o disposición final procede conforme a lo dispuesto en la legislación ambiental nacional e internacional aplicable. (p. 5)

Desechos no peligrosos: Conjunto de materiales sólidos de origen orgánico e inorgánico (putrescible o no) que no tienen utilidad práctica para la actividad que lo produce, siendo procedente de las actividades domésticas, comerciales, industriales y de todo tipo que se produzcan en una comunidad, con la sola excepción de las excretas humanas. En función de la actividad en que son producidos, se clasifican en agropecuarios (agrícolas y ganaderos), forestales, mineros, industriales y urbanos. A excepción de los mineros, por sus características de localización, cantidades, composición, etc., los demás poseen numerosos aspectos comunes, desde el punto de vista de la recuperación y reciclaje. (p. 5)

En los procesos realizados en los rellenos sanitarios o botaderos controlados, existirá la generación de lixiviados esto debido a los procesos presentes en la formación de los mismos, por ello existen en los diseños de rellenos sanitarios las medidas de mitigación y reducción de estos contaminantes mediante diversas técnicas. El no control de estos contaminantes presentes en los lixiviados puede causar daños perjudiciales para el medioambiente agua, suelo y aire, de la misma manera a los seres humanos y animales que interactúan con estos contaminantes.

4.1.2 Relleno sanitario.

4.1.2.1 Concepto.

Se debe conocer el significado real del lugar de disposición final de los residuos.

El MAE (2015) establece el siguiente concepto:

Técnica de ingeniería para el adecuado confinamiento de residuos sólidos municipales. El método consiste en confinar los desechos sólidos en un área menor posible y comprende el esparcimiento, acomodo y compactación de los residuos, reduciendo su volumen al mínimo aplicable, para luego cubrirlos con una capa de tierra u otro material inerte por lo menos diariamente y efectuando el control de los gases, lixiviados, y la proliferación de vectores, sin causar perjuicio al medio ambiente, molestia o peligro para la salud y seguridad pública (pp. 111 -112).

4.1.2.1.1 Generación de líquidos y gases.

En los botaderos controlados así como en los rellenos sanitarios se forman líquidos y gases que deben ser tratados con eficacia. Gandhimathi, Durai, Nidheesh, Ramesh & Kannami (2012), afirman que:

El lixiviado es el líquido que ha percolado a través de los desechos sólidos y ha extraído material disuelto o suspendido de él, sustancias solubilizadas en el proceso bioquímico de estabilización de los residuos sólidos y el contenido de agua inherente a los propios desechos (pp. 9 - 35).

Los generacion de los lixiviados se caracteriza por el adecuado o inadecuado manejo del botadero controlado o relleno sanitario. Morales C (2007) menciona que:

Cuando el líquido percola a través de los desechos sólidos que están en descomposición bien sea en condiciones aeróbicas durante las primeras semanas (en áreas húmedas) o en el primer año (áreas secas), o en condiciones anaeróbicas cuando ya no hay oxígeno presente; ambos, material

biológico y constituyentes químicos, son tomados ya que los residuos sólidos están compuestos físicamente por un 40-50% de agua, vegetales, animales, plásticos, desechos combustibles, vidrios, cenizas, etc. (p. 16).

Así mismo mediante estudios se ha determinado que los líquidos generados en los procesos del botadero pueden infiltrarse por el suelo y terminar en aguas subterráneas. Cardenas Sanchez (2012) menciona que:

De no recogerse adecuadamente y luego tratarse, el lixiviado puede contaminar a su vez aguas subterráneas, aguas superficiales y suelos. Por esta razón, y para evitar que esto ocurra, los rellenos sanitarios se impermeabilizan, se drenan apropiadamente y los lixiviados recogidos por estos drenes, se deben tratar (pp. 20 - 26).

4.1.3 Características generales de los lixiviados de un relleno sanitario.

De las características de los lixiviados existen algunas de gran importancia para la presente investigación. Cardenas Sanchez (2012), menciona que:

La composición de un lixiviado está caracterizada por cantidades elevadas de materia orgánica (biodegradable, pero también refractaria a la biodegradación), sales orgánicas e inorgánicas, nitrógeno, metales pesados y otras sustancias químicas diluidas, variando con la edad del vertedero (Steiner, 2008), las características del residuo depositado, la meteorología del lugar y modo de operación (Castrillón, 2008), (Renou, 2008). (p, 20).

“Se concluye usualmente que los lixiviados contienen toda característica contaminante principal, es decir, alto contenido de materia orgánica, nitrógenos y fósforo, presencia abundante de patógenos e igualmente sustancias toxicas como metales pesados y constituyentes orgánicos” (Giraldo, 2001, pp. 44 - 55). Además “Los compuestos orgánicos presentes en los lixiviados son: proteínas,

carbohidratos, compuestos hidroxiaromáticos, alcoholes, y principalmente los ácidos grasos volátiles; adicionalmente, los lixiviados contienen gran cantidad de nitrógeno amoniacal” (Torres Lozada, Rodríguez, Barba, Morán, & Narváez, 2005, p. 52).

Para el proceso de fitorremediación se deben tomar en cuenta todas estas características. Giraldo (2001), menciona que:

Estas características son importantes en cuanto nos indican que es necesario removerle a los lixiviados durante su tratamiento, sin embargo, desde el punto de vista de la selección de la tecnología existen otras características que, sin ser necesariamente contaminantes, pueden afectar el funcionamiento de los procesos de tratamiento (pp. 44 - 55).

4.1.3.1 Fases presentes en la generación de fluidos en un vertedero de RSU.

Se ha logrado determinar varias fases que se dan para la generación de fluidos como los lixiviados al respecto. Schiopu & Gavrilescu (2010) mencionan que:

Las propiedades de los lixiviados varían con las condiciones biológicas cambiantes en los vertederos de RSU. En este sentido, dada la actividad microbiana que se desarrolla durante la generación del gas de vertedero, así como del lixiviado en un sitio de disposición final de residuos. Los vertederos se someten al menos a cinco etapas de degradación de los residuos, acompañados por la formación de varios compuestos y emisiones (pp. 1101 - 1110).

4.1.3.1.1 Fase I (fase de adaptación).

Cada una de las fases determina las interacciones que se necesitan para la generación de los lixiviados como se menciona a continuación en la fase I.

Esta etapa es la fase de ajuste inicial, en la que los componentes orgánicos biodegradables de los RSU sufren descomposición microbiana mientras se colocan en un vertedero. En la fase I, se produce descomposición biológica bajo condiciones aerobias, porque hay cierta cantidad de aire atrapado en los espacios intersticiales del vertedero. La fuente principal de organismos aerobios y anaerobios, que son los responsables de la descomposición de los residuos, es el material del suelo que se utiliza como cubierta diaria y final. Se tiene la noción de que esta fase tiene una duración aproximada de 15 días (Escudero, C. 2012).

4.1.3.1.2 Fase II (fase de transición).

A continuación en la fase II se enfoca en un ambiente anaerobio. Mendoza Salgado & Lopez Trujillo (2004), mencionan que:

En la fase II, desciende el oxígeno y una vez consumido, se inicia la descomposición anaerobia aumentando la concentración de CO₂ y de H₂, mientras que el N₂ presente disminuye. Mientras el vertedero se convierte en anaerobio, el nitrato y el sulfato, que pueden servir como receptores de electrones en reacciones de conversión biológica, a menudo se reducen a gas nitrógeno y sulfuro de hidrógeno. En la presente fase, el pH del lixiviado formado comienza a descender debido a la presencia de ácidos orgánicos y al efecto de las elevadas concentraciones de CO₂ dentro del vertedero. Esta fase suele durar alrededor de dos meses (p.4).

4.1.3.1.3 Fase III (fase acidogénica).

A continuación en la fase III hace referencia a la generación de gases y la interacción de los dos enunciados anteriores.

En esta fase existe una aceleración de la actividad microbiana iniciada en la fase anterior; el primer paso del proceso implica la transformación, mediada por

enzimas (hidrólisis), de compuestos con alto peso molecular como lípidos, polisacáridos, proteínas y ácidos nucleicos, en compuestos aptos para ser utilizados por los microorganismos (no metanogénicos) como fuentes de energía y carbono celular. El segundo paso en el proceso, que es la acidogénesis, resulta de la conversión microbiana de los compuestos resultantes del paso anterior en compuestos intermedios de bajo peso molecular, como son el ácido acético y pequeñas concentraciones de ácido fólvico y otros ácidos más complejos. Durante la fase III el principal gas generado es el CO₂, aunque también se producirá en pequeñas cantidades H₂. Algunos trabajos citan que el pH del lixiviado que se forma bajará a un valor de entre 5 y 6, esto por la presencia de ácidos orgánicos y por las elevadas concentraciones de CO₂ dentro del vertedero. La DBO, la DQO y la conductividad del lixiviado se incrementarán significativamente durante la fase III debido a la disolución de ácidos orgánicos en la corriente líquida (Escudero, 2012).

4.1.3.1.4 Fase IV (fase metanogénica).

A continuación en la fase IV la acción microbiana es completamente anaerobia por ello, Schiopu & Gavrilescu (2010), mencionan que:

En la fase IV llamada fase de fermentación del metano, un segundo grupo de microorganismos que convierten el ácido acético y el H₂ en CH₄ y CO₂, llegan a ser más predominantes. Los microorganismos responsables de esta conversión son estrictamente anaerobios y se les denomina metanogénicos. En la fase IV la formación de metano y ácido se produce simultáneamente, aunque la velocidad de formación de ácidos es considerablemente más reducida. En esta fase el pH tenderá a subir a valores más neutros que van de 6 a 8, por la presencia de CH₄ y CO₂. En lo que respecta al lixiviado, las

concentraciones de DBO y DQO se reducirán, así como el valor de la conductividad, esto a causa del aumento de pH. (pp. 1101 - 1110)

4.1.3.1.5 Fase V (fase de maduración).

Para concluir en la fase V tenemos el lixiviado resultante. Kjeldsen , y otros (2002), mencionan que:

Esta fase se presenta después de convertirse el material inorgánico biodegradable en CH₄ y CO₂ durante la fase IV. Durante esta fase la velocidad de generación del gas de vertedero disminuye significativamente, ya que la mayoría de los nutrientes disponibles se han separado con el lixiviado durante las fases anteriores, y los sustratos que quedan en el vertedero son de una degradación lenta. En la fase de maduración el lixiviado contendrá ácidos húmicos y fúlvicos, lo que supone una corriente de difícil biodegradación. Se considera que esta fase tiene una duración de unos 10 años como mínimo, aunque puede llegar a prolongarse hasta períodos de 20 a 25 años (pp. 297 - 336).

4.1.3.2 Cantidad de aguas lixiviadas.

Para determinar la técnica a aplicar se debe conocer el nivel de contaminantes a descontaminar. Borzacconi, Lopez, Ohanian, & Viñas (1996), afirman 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 (pp. 569 - 578).

4.1.3.2.1 Tratamiento de los lixiviados.

Determinar el tratamiento óptimo para un lixiviado de esta naturaleza es complicado debido a la elevada concentración de sustancias, tanto orgánicas como inorgánicas que posee. Barquín, Rodríguez, & Martínez (2011), sostienen que:

Se han realizado muchas investigaciones en busca de tratamientos adecuados; sin embargo, debido a la heterogeneidad en su composición y a la variabilidad de los volúmenes generados, no se puede comparar directamente los resultados obtenidos con tratamientos de un lixiviado a otro. Por lo tanto, cada lixiviado proveniente de un relleno sanitario o tiradero municipal debe ser evaluado individualmente y sometido a pruebas de tratabilidad para encontrar el tratamiento más adecuado para su manejo (pp. 409 – 414).

Existen varios métodos que involucran procesos físicos, químicos y biológicos. Los procesos físico-químicos, exigen de ciertos requisitos primordialmente monetarios sin dejar en duda su efectividad y rapidez. En el caso de los procesos biológicos son menos costosos, con alta eficacia de descontaminación demostrada, sin embargo lo que se debe tener en cuenta es su duración ya que siempre será a mediano y largo plazo. Los espacios utilizados para los procesos biológicos son relativamente mayores, en relación a los procesos físico-químicos. (Shrawan & Tang, 2013)

4.1.3.2.2 Humedales.

Uno de los métodos más económicos para descontaminar grandes cantidades de contaminantes son los humedales. Fernández (1999), sostiene que:

Los humedales artificiales consisten normalmente en un monocultivo o policultivo de plantas superiores (macrofitas) dispuestas en lagunas, tanques o canales poco profundos. El efluente, normalmente después de recibir un pre-tratamiento, pasa a través del humedal durante el tiempo de retención. El efluente es tratado a través de varios procesos físico-químicos y bacteriológicos. El oxígeno necesario para estos procesos es suministrado por las propias plantas, que forman por fotosíntesis o toman del aire e inyectan hasta la zona radicular. La transferencia de oxígeno hacia la zona radicular por parte de estas plantas acuáticas es un requisito imprescindible para que la eliminación microbiana de algunos contaminantes se realice con eficacia, estimulando además la degradación de materia orgánica y el crecimiento de bacterias nitrificantes. Los mecanismos que tienen lugar para la depuración de contaminantes constituyen una gran variedad de procesos físicos, químicos y biológicos (pp. 23 – 27).

Los humedales junto a especies fitorremediadoras han logrado grandes hazañas de descontaminación. Fernández (1999), menciona que:

Las plantas juegan un papel fundamental en estos sistemas siendo sus principales funciones: Airear el sistema radicular y facilitar oxígeno a los microorganismos que viven en la rizosfera. Absorción de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Eliminación de contaminantes asimilándolos directamente en sus tejidos. Filtración de los sólidos a través del entramado que forma su sistema radicular (pp. 23 – 27).

La selección de las especies vegetales se debe realizar de acuerdo a la adaptabilidad de las mismas al clima local, su capacidad de transportar oxígeno desde las hojas hasta la raíz, su tolerancia a concentraciones elevadas de contaminantes, su capacidad asimiladora de los mismos, su tolerancia a condiciones climáticas diversas, su resistencia a insectos y enfermedades y su facilidad de manejo.

4.2 La fitorremediación

4.2.1 Concepto.

Para entender más a fondo la importancia de las técnicas de fitorremediación. Sánchez, (2015) afirma que:

La fitorremediación es una tecnología emergente que pretende solventar problemas de contaminación mediante el uso de plantas, de manera económica y respetuosa con el medio ambiente, aunque todavía presenta algunas limitaciones, como es la identificación de variedades tolerantes y el conocimiento de los mecanismos que gobiernan la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas (p. 15).

Así mismo en los conceptos expuestos por Zhao & McGrath (2009) mencionan que:

El término fitorremediación hace referencia al conjunto de estrategias basadas en el uso de plantas para resolver problemas de contaminación ambiental. En el caso de suelos contaminados con metales pesados se pueden utilizar dos estrategias de fitorremediación; la fitoestabilización y la fitoextracción (pp. 373 – 380).

Aplicando estas técnicas con las especies a investigar se podría remover metales pesados. Jabben, Ahmad, & Iqbal (2009) mencionan que:

Los metales pesados no pueden ser degradados, pero se pueden retirar, extraer e inmovilizar disminuyendo su disponibilidad. Hoy en día sabemos que ciertas plantas son capaces de tolerar altos niveles de metales pesados e incluso acumularlos en grandes cantidades sin manifestar efectos fitotóxicos (pp. 339 - 364).

En consecuencia el bajo costo y fácil operabilidad han permitido optar por este tipo de tecnologías amigables con el ambiente. Chaney y otros (2007) afirman que:

En las últimas décadas, las fitotecnologías han aparecido como prometedoras estrategias alternativas a las técnicas convencionales de remediación, ya que suponen menor coste y son más respetuosas con el medio ambiente, adquiriendo mucha importancia en los sectores público y privado, en el contexto de un desarrollo sostenible (pp. 1429 - 1443).

4.2.2 Mecanismos de la fitorremediación.

4.2.2.1 Fitoestabilización.

Uno de los mecanismos más importantes dentro de la fitorremediación es la fitoestabilización de los contaminantes. (Delgadillo, 2011) menciona que:

Permite inmovilizar contaminantes en el suelo a través de su absorción y acumulación en las raíces o bien, por precipitación en la zona de la rizosfera. Este proceso reduce la movilidad de los contaminantes y evita su migración a las aguas subterráneas o al aire (pp. 597- 612).

4.2.2.2 Fitodegradación.

Esta característica de las plantas permite disminuir los contaminantes. Prasad & Freitas (2003) mencionan que: “Se produce a medida que los árboles y otras plantas en crecimiento absorben agua junto con contaminantes orgánicos e inorgánicos. Algunos de estos pueden llegar hasta las hojas y evaporarse o volatilizarse en la atmósfera” (pp. 276 - 312).

4.2.2.3 Fitoimmobilización.

Entre los procesos de fitorremediación de las plantas se encuentra la fitoimmobilización. Carpena & Bernal (2007) mencionan que: “Es el uso de las raíces de las plantas para la fijación o inmovilización de los contaminantes en el suelo” (pp. 1 - 3).

4.2.2.4 Rizofiltración.

Otro de los procesos de fitorremediación de las plantas se encuentra la rizofiltración. Dushenkov, Nanda. Kumar, Motto, & Raskin (1995) afirman que: “Utiliza las plantas para eliminar del medio hídrico contaminantes a través de la raíz” (pp. 1239 - 1245).

Además Delgadillo, et al (2011) menciona que: “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. 601).

4.2.3 Fases de fitorremediación.

4.2.3.1 Absorción.

Se puede decir que el agua y nutrientes necesarios para el desarrollo adecuado de las plantas, son absorbidos por medio de su sistema radicular, sin embargo también existen plantas que absorben estos nutrientes mediante órganos aéreos. Los pelos radicales de la raíz facilitan esta labor, encargándose el xilema (sabia bruta) de la planta del transporte de estos nutrientes. (Barceló 1985, p.1).

4.2.3.2 Excreción.

Es una función que realizan las plantas para eliminar productos de desecho generados en el metabolismo.

“Las plantas no tienen aparato o sistema especializado en esta función, porque las principales sustancias de desecho que se forman durante el catabolismo

(dióxido de carbono, agua y productos nitrogenados) son utilizadas en la fotosíntesis” (Chitiva, 2012).

4.2.4 Ventajas y desventajas de la fitorremediación.

La fitorremediación, por sí misma, muestra una serie de ventajas y limitaciones en comparación con otras tecnologías convencionales. Las fitotecnologías son especialmente útiles para su aplicación en grandes superficies, con contaminantes relativamente inmóviles o con niveles de contaminación bajo, y deben considerarse procesos de recuperación a largo plazo. (Delgadillo et al, 2011, p. 603.)

4.2.4.1 Ventajas y desventajas presentes dentro de la fitorremediación.

De las ventajas de la fitorremediación. Delgadillo López (2011) menciona lo siguiente:

1. Se puede realizar *in situ* y *ex situ*.
2. Se realiza sin necesidad de transportar el sustrato contaminado, con lo que se disminuye la diseminación de contaminantes a través del aire o de agua.
3. Es una tecnología sustentable.
4. Es eficiente tanto para contaminantes orgánicos como inorgánicos.
5. Es de bajo costo.
6. No requiere personal especializado para su manejo.
7. No requiere consumo de energía.
8. Sólo requiere de prácticas agronómicas convencionales.
9. Es poco perjudicial para el ambiente.

10. Actúa positivamente sobre el suelo, mejorando sus propiedades físicas y químicas, debido a la formación de una cubierta vegetal.
11. Tiene una alta probabilidad de ser aceptada por el público, ya que es estéticamente agradable.
12. Evita la excavación y el tráfico pesado.
13. Se puede emplear en agua, suelo, aire y sedimentos.
14. Permite el reciclado de recursos (agua, biomasa y metales) (pp.597-612).

De las desventajas de la fitorremediación. Delgadillo López (2011) menciona lo siguiente:

1. En especies como los árboles o arbustos, la fitorremediación es un proceso relativamente lento.
2. Se restringe a sitios de contaminación superficial dentro de la rizósfera de la planta.
3. El crecimiento de las plantas está limitado por concentraciones tóxicas de contaminantes, por lo tanto, es aplicable a ambientes con concentraciones bajas de contaminantes.
4. En el caso de la fitovolatilización, los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente.
5. Los contaminantes acumulados en maderas pueden liberarse por procesos de combustión.
6. No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras.
7. La solubilidad de algunos contaminantes puede incrementarse, resultando en un mayor daño ambiental o migración de contaminantes.
8. Se requieren áreas relativamente grandes.

9. En sistemas acuáticos se puede favorecer la diseminación de plagas, tales como los mosquitos (pp.597-612).

4.3 Especies potencialmente fitorremediadoras.

4.3.1 *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty.

4.3.1.1 *Taxonomía.*

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Subclase:	Liliidae
Orden:	Poales
Familia:	Poaceae
Subfamilia:	Panicoideae
Tribu:	Andropogoneae
Subtribu:	Andropogoninae
Género:	<i>Chrysopogon</i>
Especie:	<i>Zizanioides</i>
Nombre Científico:	<i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty
Nombre Común:	Pasto vetiver o vetiver

4.3.1.2 *Origen.*

Es una planta cuyo origen se localiza en las planicies inundables del norte de la india, Bangla Desh y Birmania. Es una gramínea perenne de tupidos penachos, carente de aristas resistente a la graba, que se reproduce con dificultad y se considera estéril fuera de su hábitat natural.

4.3.1.3 *Morfología de la especie.*

La raíz de la especie *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty, no tiene rizomas ni estolones y se propaga mediante divisiones radicales o haces enraizados, sus tallos

erguidos alcanzan una altura de entre 0,5 y 1,5 metros, las hojas son relativamente rígidas, largas y angostas tienen hasta 75 cm de largo y no más de 8 milímetros de ancho. La Inflorescencia se determina por una panícula que tiene entre 15 y 40 centímetros de largo; los nudos y pedicelos son lisos, del mismo modo no reproduce semillas (pp.5-14). Así mismo “la forma más sencilla de propagar la planta es mediante la separación de vástagos o renuevos (hijos) de macollas previamente extraídas del terreno” (Rodríguez, 1997, pp. 2 - 12).

4.3.2 Eleocharis elegans (Kunth) Roem. & Schult.).

4.3.2.1 Taxonomía.

Reino:	Plantae
Subreino	Traqueobionta
Superdivisión:	Spermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Subclase:	Commelinidae
Orden:	Cyperales
Familia:	Cypereceae
Género:	Eleocharis
Especie:	Elengans
Nombre Científico:	<i>Eleocharis elegans.</i> (Kunth) Roem. & Schult.
Nombre Común:	Fosforito

4.3.2.1.1 Morfología.

La especie (*Eleocharis elegans.* (Kunth) Roem. & Schult.) es una hierba acuática y subacuática, el tamaño de sus vainas es de hasta 1.5 m de largo, siendo rectas o ondulares, cilíndricas, son huecas y por dentro presentan membranas frágiles, las hojas se ven reducidas a únicamente a vainas que abrazan el tallo, son

rojizas o purpúreas y presentan el ápice truncado y a menudo con un pequeño dientecillo. Su Inflorescencia se ve en numerosas flores densamente agrupadas en una espiguilla solitaria, cilíndrica o cónica, de hasta 2,2 cm de largo, ubicada en la punta del tallo, de igual manera cada flor tiene una bráctea angosta, de hasta 3.6 mm de largo con el ápice algo redondeado, membranáceas de color café (a veces muy pálidas cuando son inmaduras), con la vena principal evidente y el margen algo translúcido sin pelos, de ahí que las flores no presenten ni cáliz ni corola, únicamente 3 estambres y el ovario con un estilo dividido en 2 o 3 ramas, tanto los estambres como el estilo sobrepasan ampliamente la bráctea, del mismo modo su fruto es seco y no se abre (indehiscente), contiene una sola semilla, se le conoce como aquenio, éste es biconvexo o ligeramente 3 angulado, angostado hacia la base, de color amarillo a café, con la superficie cubierta de diminutas protuberancias y en el ápice presenta un tubérculo delgado y de 6 a 8 cerdas dentadas, de color café-rojizo a púrpura (tomos. I-II-III).

4.4 Resultados de investigaciones en la temática

4.4.1 Utilización de *Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty, en aguas residuales domesticas industriales. (SAS, 2016).

Según la página web Vetivercol se han realizado varios experimentos con resultados favorables utilizando la especie *Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty, como mencionan a continuación:

La utilización de vetiver, *Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty, para tratar aguas residuales es un método de bajo costo y muy eficiente para tratar aguas residuales domésticas e industriales y en investigaciones se ha demostrado que el vetiver bajo condiciones hidropónicas es capaz de bajar el nitrógeno total de 100 mgL⁻¹ a 6 mgL⁻¹ (94 % de eficiencia); el fósforo total de 10 mgL-

1 a 1 mgL⁻¹ (90 %), Coliformes fecales ≥ 1.600 org /100 mL a 900 org /100 mL (44 %); E. Coli %, E. Coli de ≥ 1.600 org /100 mL a 140 org /100 mL (91 %); Oxígeno disuelto de < 1 mgL⁻¹ a 8 mgL⁻¹ (>800); conductividad eléctrica de 928 μScm^{-1} a 468 μScm^{-1} ; pH 7.3 a 6,0 y puede evapotranspirar 1,1 L/día/cuatro plantas/ tambor, todo esto con un tiempo de retención de cuatro días, (Truong et al, 2000). (S.A.S., 2016)

4.4.2 Efectos del *Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty para remover sustancias toxicas en el lixiviado de basuras urbanas. (SAS, 2016).

En China, Xia, et al. (1.998), estudiaron los efectos del vetiver al remover sustancias toxicas en el lixiviado de basuras urbanas. Se encontró que de los siete parámetros evaluados en el estudio, la remoción de Nitrógeno Amoniacal fue la más alta con una tasa de 83 a 92%, siendo el Vetiver muy potente para absorber Nitrógeno amoniacal disuelto en el agua. Adicionalmente, Vetiver mostró una alta tasa de remoción de Fósforo (más del 74%). Los resultados también indicaron que el Vetiver fue el mejor entre cuatro pastos evaluados en términos de su capacidad de remoción y tolerancia a altas concentraciones de lixiviados. (S.A.S., 2016)

4.4.3 Absorción de metales pesados y purificación de aguas. (Red Internacional Vetiver, 2015).

El vetiver es un pasto con una alta adaptabilidad a diferentes tipos de suelo y climas y que además posee numerosas características que lo convierten en una alternativa para la conservación del suelo y el agua, estabilización de taludes, control de erosión, absorción de metales pesados y purificación de aguas, entre otros. (Red Internacional Vetiver, 2015)

4.4.4 Ensayo hidropónico utilizando una mezcla de aguas negras (del inodoro, tanque séptico) y aguas grises (de la cocina y baño). (Truong & Hart, 2001).

Los resultados de investigaciones realizadas se puede determinar la eficacia de la especie. Truong & Hart (2001) mencionan lo siguiente:

Para determinar la eficiencia de pasto vetiver en la mejora de la calidad de los efluentes domésticos, se realizó un ensayo hidropónico utilizando una mezcla de aguas negras (del inodoro, tanque séptico) y aguas grises (de la cocina y baño). Los resultados mostrados confirman la investigación china en la que el vetiver puede remover el N y P mas soluble en el efluente en un muy corto período de tiempo y por lo tanto la eliminación de las algas verde-azules en el agua contaminada (p, 9).

4.4.5 Tolerancia y eficiencia de (*Typha domingensis*. Pers) en la retención de metales y nutrientes de efluentes industriales. (Mufarrege, 2012).

Aunque la concentración de clorofila fue sensible a la toxicidad del efluente, la adaptabilidad de *T. domingensis* se vio también representada por una mayor biomasa y altura de plantas en comparación con las registradas en plantas de humedales naturales. Las adaptaciones observadas permitieron a esta especie convertirse en la dominante y mantener una alta capacidad de retención de contaminantes en el humedal construido a pesar de los disturbios que se presentaron, *T. domingensis* mostró una buena respuesta en términos de crecimiento y propagación después del evento excepcional de depredación por carpinchos. (p, 178)

4.4.6 Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. (Romero-Aguilar, Colin-cruz, Sanchez Salinas, E., & Ortiz- Hernández , 2009).

De acuerdo con la remoción de la DQO, fósforo y especies del nitrógeno de las aguas residuales, el tiempo de retención hidráulica óptimo del sistema es de cinco días en los módulos donde se encuentran instalados *Phragmites australis* y *Typha dominguensis* por separado. (p, 165)

De manera general, considerando los resultados individualmente, el humedal 3, es donde se presentan la mejor eficiencia de remoción, lo que sugiere que el establecimiento de las dos especies podría dar mejores resultados que utilizando *Phragmites australis* (carrizo) o *Typha dominguensis* (tule) por separado. (p.165)

4.4.7 Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: la EDAR de los gallardos (Almería). (Cano, 2003).

Para el desarrollo de este proyecto, GALASA construyó una planta experimental donde se ensayaron: tipos de flujo hidráulico, tipo de sustrato, capacidad de carga, tiempos de retención y especies de helófito (*Phragmites australis* y *Typha dominguensis*). A intervalos regulares se tomaron muestras de agua y sedimentos, para analizarlas entre otros los siguientes parámetros: DBO5, DQO, sólidos en suspensión (SS), nitrógeno Total (NT), fósforo total (PT), coliformes fecales, temperatura, gradiente de O₂, pH, Salinidad, etc. (...) Las reducciones de carga orgánica (DBO5 y DQO), así como de sólidos en suspensión son muy elevadas, lo que hace que el efluente final del humedal sea casi cristalino, totalmente clarificado, a pesar de ser alimentado con aguas de una laguna de maduración que presentan un intenso color verde y gran cantidad de sólidos en suspensión debido a las microalgas. (p, 105).

4.5 Marco Legal

4.5.1 Constitución de la República del Ecuador.

Según la Constitución de la República del Ecuador, en su capítulo séptimo de los derechos de la naturaleza, menciona en sus artículos 71 y 72 lo siguiente.

La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para

aplicar e interpretar estos derechos se observaran los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda. De igual manera menciona que la naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de Indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados. (Asamblea Constituyente, 2008, p. 58).

En la seccion sexta del agua, en el articulo 411 menciona lo siguiente:

El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua (Asamblea Constituyente, 2008, p. 182).

4.6 Acuerdo Ministerial 061

Según el Acuerdo Ministerial 061 en su párrafo 1 del agua, menciona en sus articulos del 209, 210 y 211 respectivamente lo siguiente:

De la calidad del agua: Toda actividad antrópica deberá realizar las acciones preventivas necesarias para no alterar y asegurar la calidad y cantidad de agua de las cuencas hídricas, la alteración de la composición físico-química y biológica de fuentes de agua por efecto de descargas y vertidos líquidos o disposición de desechos en general u otras acciones negativas sobre sus componentes, conllevará las sanciones que correspondan a cada caso. (p. 47)

Prohibición.- De conformidad con la normativa legal vigente en el literal b: se prohíbe la descarga y vertido que sobrepase los límites permisibles o criterios de calidad correspondientes establecidos en este Libro, en las normas técnicas o anexos de aplicación. (p. 47)

Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales.- La Autoridad Ambiental Competente en coordinación con la Agencia de Regulación y Control del Agua, verificará el cumplimiento de las normas técnicas en las descargas provenientes de los sistemas de tratamiento implementados por los Gobiernos Autónomos Descentralizados. (p. 47)

4.6.1.1 Acuerdo Ministerial 028.

En el apartado 5.2.4.7. Se menciona que los lixiviados generados en los rellenos sanitarios cumplirán con las normas fijadas considerando el criterio de calidad de acuerdo al uso del cuerpo receptor. (Acuerdo Ministerial 028, pp.98-99)

4.6.1.1.1 Tabla de límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Tabla 1. *Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.*

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	3,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1

Continuación de la tabla 1. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Cloruros	Cl-	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	10000
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0,5
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	mg/l	100
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2

Continuación de la tabla 1. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ -2	mg/l	1000
Sulfuros	S-2	mg/l	0,5
Temperatura	oC		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

Fuente: (MAE. Acuerdo. Ministerial. 028, p. 98-99)

5 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Materiales

5.1.1 Materiales de campo

Entre los materiales de campo más importantes que se utilizarán son:

5.1.2 Herramientas

- Barreta
- Nivel
- Lampa
- SERRUCHO
- Flexómetro
- Martillo
- Clavos

5.1.3 Materiales instalación y construcción.

- Cemento.
- Arena fina.
- Piola.
- Ladrillos.
- Reducción de 4 a 2 plg.
- Tuvo de pvc de 2 plg,
- Codos de 2plg.
- Guaduas.
- Plástico negro.

5.1.4 Equipos

- Gps
- Cronometro
- Recipientes de plástico para las muestras
- Cámara fotográfica
- Libreta y hojas de registro, etiquetas.
- Vehículo
- Recipiente plástico (5 litros)

5.1.5 Materiales de oficina

Materiales de oficina empleados en la investigación:

- Computador, impresora, scanner, calculadora
- Estudio de impacto ambiental del Botadero Controlado
- Hojas papel bond, anillados
- Flash memory, CD's
- Bolígrafos, lápices, borradores, resaltadores.

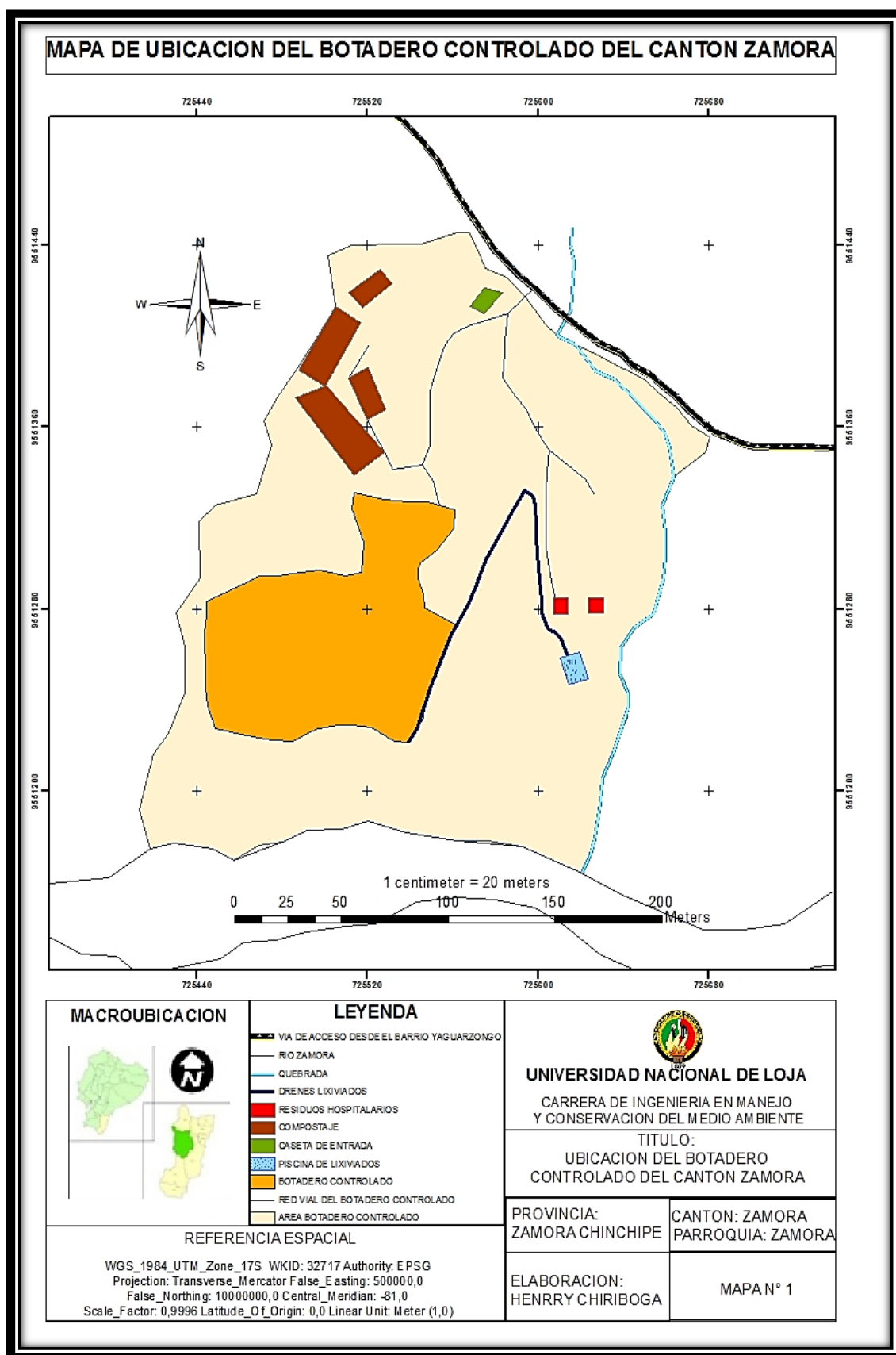
5.2 Métodos

5.2.1 Ubicación política y geográfica del área de estudio.

El Botadero Controlado se encuentra ubicado en el barrio Genairo de la parroquia Zamora, cantón Zamora en la provincia de Zamora Chinchipe, aproximadamente a 1 kilómetro del centro de la ciudad, al mismo se accede desde el barrio Yaguarzongo por una vía de tercer orden.

Para el desarrollo de esta investigación se realizó la caracterización del botadero controlado, para posteriormente realizar la evaluación de las especies expuestas *Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty y *Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult., esto se llevó a cabo en el área de la piscina de lixiviados ubicada en la parte baja del Botadero Controlado, con las siguientes coordenadas, X: 725579 y Y: 9551404.

A continuación se muestra mapa de ubicación del proyecto, en el cual se detallan las infraestructuras existentes, áreas destinadas a la lombricultura, área de depósitos hospitalarios y la piscina de lixiviados, así mismo se detalla el área de la celda de disposición final del botadero controlado.



Mapa. 1. Mapa de ubicación del botadero controlado del cantón Zamora.

5.3 Aspectos biofísicos y climáticos

5.3.1 Topografía.

La topografía del Botadero controlado es de tipo irregular con pendientes pronunciadas en la celda de disposición final y márgenes del río Zamora, en el área de tratamiento lixiviados existe una leve inclinación de 12°, así mismo con suelos heterogéneos y sin desniveles pronunciados, de la misma manera existe material pétreo de grueso tamaño empleado para la apertura de una vía alrededor de la piscina de lixiviados dificultando así la construcción del sistema de tratamientos experimentales.

5.3.2 Suelo.

Formado por esquistos, cuarcitas gneis, tipo de roca metamórficas de la edad paleozoica. Material conocido comúnmente como lastre, el cual se encuentra en toda la rivera del río Zamora. La textura del mismo es de tipo franco arenoso. (Gobierno Autonomo Decentralizado del Canton Zamora, 2014, pp.26-28)

5.3.3 Hidrología.

El relleno sanitario se encuentra rodeado por su margen derecho por una pequeña quebrada sin nombre y por su margen inferior se encuentra el afluente del Río Zamora. (GAD del Canton Zamora, 2014, pp.47 - 49)

5.3.4 Flora y fauna.

Al ser una zona de rivera no se encuentran grandes extensiones de bosques primarios los mismos se han catalogado como intervenidos, dentro del botadero existe el cultivo de guaduas. La población aledaña se ha dedicado a la siembra de

pastizales para el pastoreo del ganado vacuno y así mismo existen algunas parcelas dedicadas agricultura. (GAD del Canton Zamora, pp. 40 - 42)

La fauna mamífera del sector es escaza debido al ruido generado por la maquinaria empleada diariamente en el botadero controlado y por los procesos generados en el mismo. La avifauna del sector se encuentra caracterizada por los comúnmente llamados gallinazos (*Coragyps atratus*), aunque existe presencia de aves como el suiipe (*Thraupis episcopus*), golondrinas (*Atticora fasciata*), pasharacas (*Ortalis guttata*) entre otros. (GAD del Canton Zamora, 2014, pp. 40)

5.3.5 Clima.

5.3.5.1 Temperatura.

“La temperatura del cantón Zamora fluctúa entre los 18°C a 22°C, dependiendo de los pisos altitudinales” (GAD del Canton Zamora, 2014, pp. 24 -232).

5.3.5.2 Precipitación.

“Las precipitaciones anuales de la ciudad de Zamora se encuentran entre la franja de 1750 a 2000 mm/anuales, la misma que corresponde a 66307,16 hectáreas, o con un porcentaje de 34,88 % del total del territorio del cantón Zamora” (GAD del Canton Zamora, pp. 24 -232).

5.3.5.3 Humedad relativa.

El alto contenido de vapor de agua en la zona, hace que la humedad relativa oscile entre el 85% y el 86,7% que es el promedio anual. Lo que lo cataloga por los pisos altitudinales y climáticos como: Tropical Mega Térmico Húmedo y Ecuatorial Mesotérmico Semihúmedo. (GAD del Canton Zamora, 2014, pp. 34)

5.4 Tipo de investigación

La investigación es de tipo cuantitativo, de alcance correlacional; ya que los aspectos de su proceso y obtención de resultados se enfocan principalmente en el uso y recolección de datos para probar la hipótesis, con base en la medición y el análisis estadístico.

5.4.1 Distribución de tratamientos.

Los tratamientos que se utilizaron para realizar esta investigación son las especies vegetales *Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty y *Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult.

Tratamiento T1. (*Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult.).

Repetición 1. (*Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult.).

Tratamiento T2. (*Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty)

Repetición 2. (*Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty)

5.4.2 Variables de estudio.

5.4.2.1 Variable independiente.

Potencial fitorremediador de las especies empleadas.

5.4.2.2 Variable dependiente.

Nivel de descontaminación de los lixiviados.

5.5 Hipótesis

El nivel de descontaminación de los lixiviados generados en el botadero controlado de Zamora difiere o no de las especies empleadas en el presente estudio; (*Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty) y (*Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult.).

5.5.1 Diseño experimental.

El experimento se desarrolló utilizando el método estadístico no paramétrico denominado “Chi - cuadrado”, se aplicó a los resultados de los análisis realizados en el laboratorio.

5.5.1.1 Modelo matemático.

Esta prueba puede utilizarse incluso con datos medibles en una escala nominal. La hipótesis nula de la prueba Chi-cuadrado postula una distribución de probabilidad totalmente especificada como el modelo matemático de la población que ha generado la muestra en este caso las dos especies evaluadas (*Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty) y (*Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult.), tendrán una población de 20 individuos cada una, dando un total de 40 individuos evaluados.

El método estadístico seleccionado se basa en la siguiente fórmula:

$$x^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Dónde: **O_i** = frecuencia del valor observado

E_i = frecuencia del valor esperado

5.6 Metodología para diagnosticar el estado actual de los lixiviados generados en los procesos de manejo de los residuos del botadero controlado del cantón Zamora.

Para llevar a cabo el estudio de investigación se procedió a recopilar información in situ y documentada del manejo actual dado a los lixiviados generados en los procesos del botadero controlado, posterior a ello se realizó la selección de parámetros analizados para evaluar las especies.

5.6.1 Recopilación de información secundaria.

Mediante la información solicitada al GAD cantonal de Zamora se revisó el último Estudio de Impacto Ambiental realizado a petición de la autoridad ambiental competente MAE, en el cual se da a conocer el funcionamiento del sistema implementado para descontaminar los lixiviados generados en los procesos del Botadero Controlado. De igual manera se realizaron visitas para conocer los procedimientos empleados en la disposición final de los residuos sólidos, por parte de los trabajadores del Botadero Controlado y la maquinaria empleada por los operarios.

5.6.2 Encuesta a técnicos del botadero controlado.

Se realizó una visita al técnico a cargo del departamento de Gestión Ambiental del GAD Cantonal de Zamora Ing. Miky Reyes, solicitando información del funcionamiento del Botadero Controlado desde la recolección hasta la disposición final y las medidas usadas para mitigar los impactos causados por los lixiviados. Todo esto mediante el uso de una encuesta. Anexo 1.

5.7 Metodología para evaluar el potencial fitorremediador de las especies vegetales (*Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty) y (*Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult.) en el tratamiento de lixiviados generados en el botadero controlado del cantón Zamora.

5.7.1 Selección del sitio donde se ubicarán las piscinas experimentales y sus pasos de construcción.

5.7.1.1 Selección del sitio.

Previo a la ubicación de las piscinas experimentales se seleccionó el sitio más adecuado de manera que se aproveche la homogeneidad del terreno y la cercanía a la caja de recolección, esto debido a la colocación de material pétreo de grueso tamaño semanas antes de desarrollarse el proyecto de investigación.



Fotografía 1. Selección del sitio para la construcción de las piscinas experimentales.

5.7.1.2 Pasos para la construcción de las piscinas experimentales.

Primeramente se procedió a adecuar el lugar donde se construyó el ensayo experimental, para el cual se realizó un diseño donde se detalla las medidas específicas para las piscinas y los materiales empleados en el proceso.

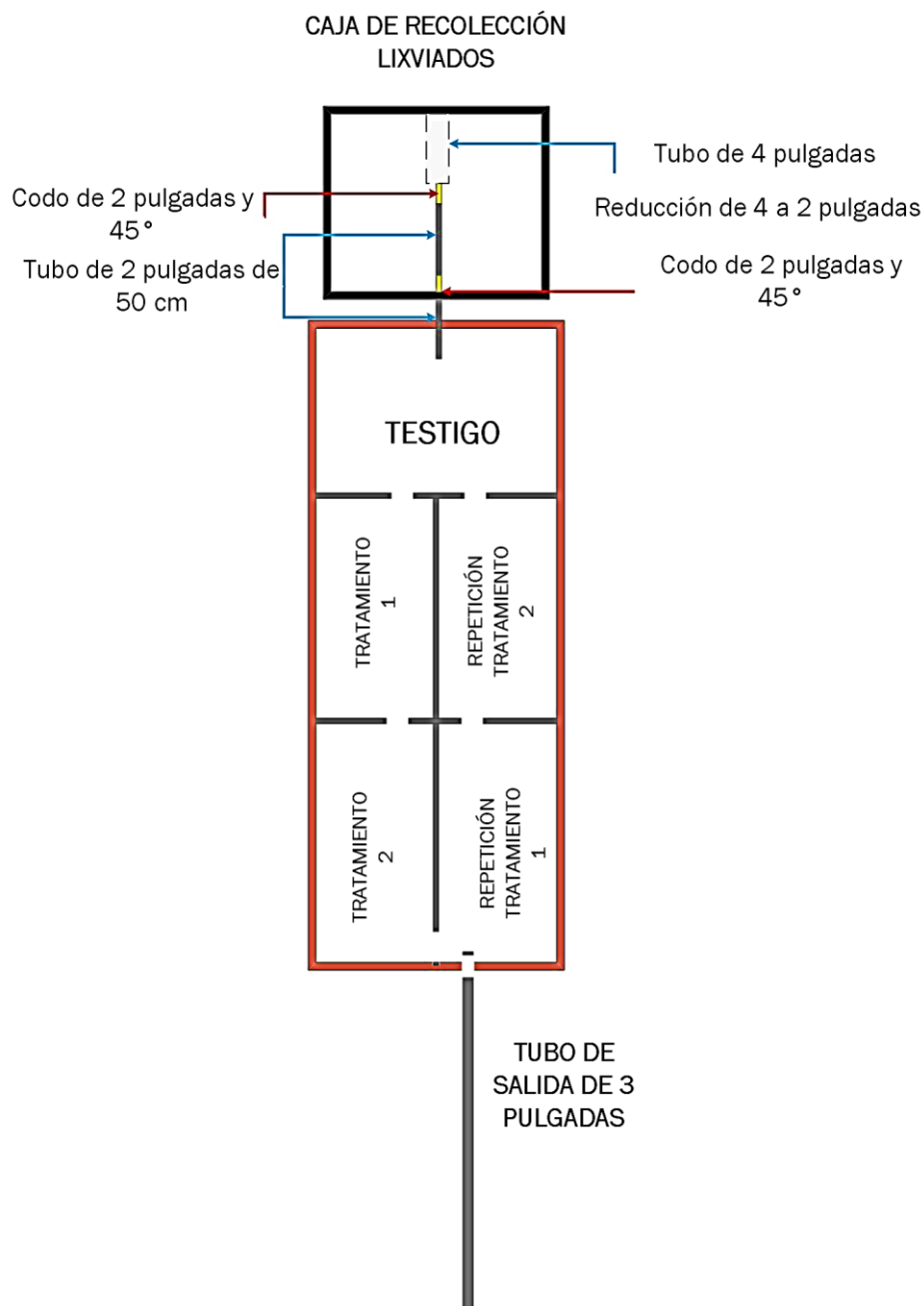


Figura 1. Plano de diseño experimental

5.7.1.2.1 Paso 1. Construcción de las piscinas.

Para la construcción de las piscinas experimentales: tratamiento T1; repetición T1 (2), tratamiento T2; repetición T2 (2) y la Testigo, se determinó el ancho necesario de acuerdo al tipo de plantas y de acuerdo al terreno, por ello se seleccionó las siguientes dimensiones: 1,15 m de longitud por 0,52 m de ancho con

una profundidad de 0,62 m, para cada piscina dando un total de 4 piscinas experimentales. Para el testigo las siguientes dimensiones de 0,95 m de longitud por 1,09 m de ancho con una profundidad de 0,62 m.



Fotografía 2. Collage de la construcción de las piscinas experimentales

5.7.1.2.2 Paso 2. Impermeabilización.

El material empleado para la construcción de las piscinas fue el cemento y ladrillos, para evitar la infiltración de los lixiviados al suelo se revistió los ladrillos con pasta de cemento de 2 cm de grosor.

5.7.1.2.3 Paso 3. Colocación de las tuberías.

Se colocó las tuberías de pvc que llevan el lixiviado principal desde el tanque de recolección a las piscinas experimentales y de estas a la piscina de lixiviados. Primeramente se unió el tubo que llega a la caja de recolección con una reducción de 4 a 2 pulgadas. Seguidamente se unió dicha reducción con un codo de 2

pulgadas y ángulo de 45°, unido a un tubo pvc de 2 pulgadas de 50 cm de largo el mismo que en su extremo se une con otro codo de 45°, este tubo a su vez se unió con un tubo pvc de 2 pulgadas de 30 cm de largo.

5.7.1.2.4 Paso 4. Cubierta.

Se construyó para evitar que los lixiviados sobrepasen el nivel máximo de las piscinas y se derramen, esto debido a las precipitaciones constantes. Se emplearon 4 guaduas de 3 m de largo las cuales sirvieron como base para la cubierta con un diámetro de 50 cm, fueron colocadas a una distancia de 4m de largo y 2 m de ancho. Se cruzaron 4 guaduas como travesaños de 30cm de diámetro, 2 de 4,50 m de largo y 2 de 3, 50 m de largo. Sobre los travesaños se colocó 20 guaduas de 15 cm de diámetro y con un largo de 1,70 m separadas a 15 cm entre sí, para la sujeción de las mismas se empleó alambre de amarre.



Fotografía 3. *Cubierta de las piscinas experimentales*

5.7.1.2.5 Paso 5. Colocación de Material grueso.

Se empleó material grueso o piedra de río, de alrededor de 10 a 12 cm, como primera capa.



Fotografía 4. *Colocación de material grueso*

5.7.1.2.6 Paso 6. Colocación de Material mediano.

Posterior a la colocación de la primera capa de material grueso piedra, se usó grava de un tamaño promedio de 3 a 5 cm, sobre la primera capa.



Fotografía 5. *Colocación del material mediano grava.*

5.7.1.2.7 Paso 7. Colocación de tierra arcillosa.

Se colocó una capa de alrededor de 10 a 12 cm de tierra arcillo-limosa, sobre la capa de grava esto permitirá que se establezca un ambiente de humedal.



Fotografía 6. Colocación de capa de tierra arcillo-limosa.

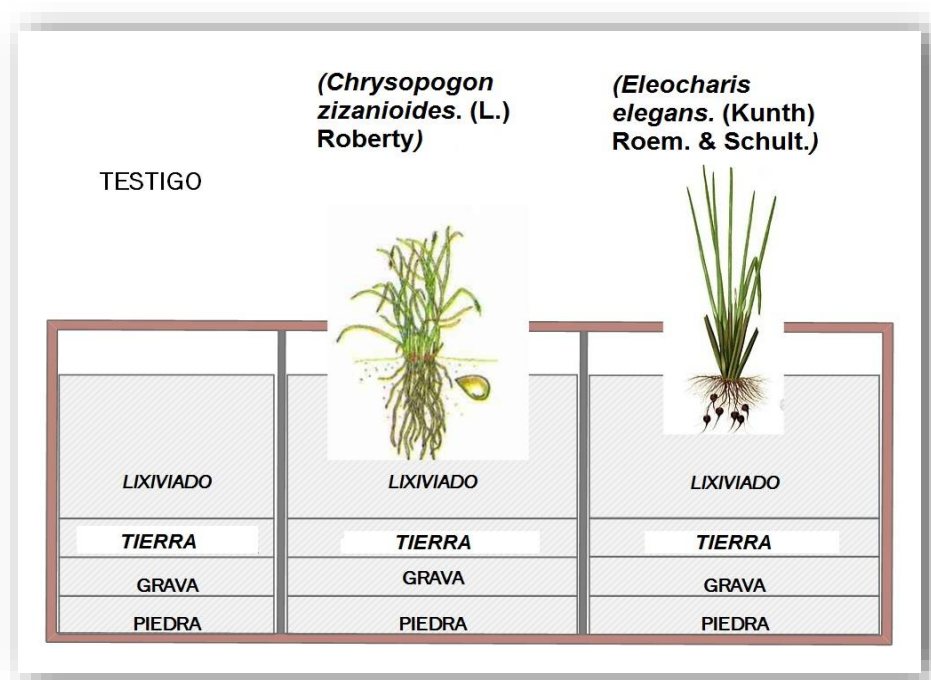


Figura 2. Diseño del interior de las piscinas experimentales

5.7.1.2.8 Paso 8. Dar paso a los lixiviados.

Teniendo en cuenta el caudal de 0,354 l/s obtenido durante 7 días, previa a la realización del diseño experimental, se realizó el ingreso de lixiviados a las piscinas experimentales, además se tomó en cuenta las condiciones meteorológicas, por

ello se registró los días con precipitaciones y días soleados. Ver Anexo 2. Cada piscina en la que se llevó a cabo los tratamientos y repeticiones tienen una capacidad optima de 0,370 m³ y el testigo de 0,612 m³ entre las 5 piscinas existen 2092 m³/h, lo cual permite trabajar con el caudal máximo registrado y en caso de aumento del mismo se adiciono 4cm de altura generando en total 2259 m³ de capacidad máxima. Los tratamientos se llevaron a cabo bajo cubierta, por lo tanto se dio paso a los lixiviados de manera constante para la adaptabilidad de las especies durante los 3 primeros meses, a finales del tercer mes se mantuvo el lixiviado tres días por semana, durante 3 semanas, renovando los lixiviados 2 veces por semana.



Fotografía 7. Collage, pasó de los lixiviados a las piscinas experimentales

5.7.1 Especies Vegetales empleadas.

5.7.1.1 Adquisición.

La especie *Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty, se localizó en la ciudad de

Guayaquil en la empresa Lundemas Obras y Servicios Ambientales, adquiriéndola a un valor de \$15 la unidad previo depósito y con días antelación. Mientras tanto la especie *Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult., se la recolecto en pequeños humedales ubicados principalmente en la microcuenca el Limón.



Fotografía 8. Especie *Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty, izquierda y *Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult., derecha.

5.7.1.2 Aclimatización.

La especie *Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty, no necesitó de aclimatización al medio ya que tiene una alta adaptabilidad a las zonas tropicales, la ciudad de Zamora cuenta con similares condiciones a las de su origen con temperaturas de 20 a 26°C y una humedad de 86%. La *Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult., de igual manera no necesitó aclimatización ya que se la encuentra en humedales de todo el cantón Zamora.

5.7.1.3 Siembra.

En las piscinas se procedió a colocar ambas especies mediante brotes con una

separación de 10 cm entre cada una de ellas usando espumaflex para la sujeción y flotabilidad de las mismas, todo esto debido a las características de las raíces de las especies. En total por cada piscina se colocó 10 plántulas.

5.7.1.4 Monitoreo y control.

Se llevó a cabo durante los meses de; mayo, junio, julio y agosto, se determinó un horario a partir de las 16:00 pm, para la acumulación de lixiviados en las piscinas experimentales de tal manera que todas lleven la misma carga de contaminantes. Anexo 2. Así mismo en este tiempo se observó el crecimiento y el % de mortalidad en las plántulas, de las especies investigadas igualmente se midió el crecimiento radicular y se observó la coloración de las hojas. Ver Anexo 3; 3-1.

5.7.2 Caudal de los lixiviados.

Se recopiló información del caudal de los lixiviados entrantes a las piscinas experimentales durante los 4 meses del proyecto de investigación, mediante el método volumétrico obteniendo un caudal promedio que oscila en 0,423 l/s al día. Para la medición se usó un cronometro y un recipiente con medida de 5 litros.

La fórmula empleada es la siguiente: $Q=V/T$

5.7.3 Procedimiento para recolección de las muestras.

Para todas estas muestras se basó en la norma INEN 2169: 2013 calidad del agua muestreo manejo y conservación de muestras y la norma 2176 Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo. La empresa Gruntec se encargó de entregar los recipientes de distintas composiciones y medidas según los elementos de los lixiviados.

5.7.3.1 *Recolección de las muestras analizadas.*

Para el muestreo de lixiviados que provienen de la celda de disposición final, se usó guantes esterilizados de látex, mascarilla y mandil como medidas de seguridad para evitar contacto directo con el contaminante. Antes de recoger la muestra de los tratamientos 1-2 y testigo se dejó reposar el lixiviado por 5 minutos para obtener una muestra homogénea, asegurando así que sea representativa.

No se tocó la boca de los envases con superficies aledañas, para de esta manera no alterar la muestra recolectada, el pH y Temperatura se tomaron In-situ.



Fotografía 9. Toma de muestra, medición de la temperatura y pH.

5.7.3.2 *Tipos de envases.*

La empresa Gruntec se encargó de proporcionar y enviar los envases esterilizados tomando en cuenta los parámetros de lixiviados a analizarse, estos fueron de diferentes composiciones y medidas, que van desde los 100 ml a los 1000 ml, para parámetros físico químicos, aniones y no metales, orgánicos y metales.

Tabla 2. *Envases proporcionados por la empresa Gruntec.*

PARÁMETRO	TIPO DE ENVASE	CANTIDAD (unidad)	CANTIDAD ml
Físico Químicos	Polietileno	1	1000 ml
Aniones y No metales	Polietileno	1	1000 ml
Parámetros Orgánicos	Plástico color Blanco	1	100 ml
Metales	Polietileno	1	100 ml

Fuente: (Gruntec, 2015)

5.7.3.3 Obtención de la muestra.

En total se tomaron 3 muestras. Las dos primeras muestras se recolectaron del centro de las piscinas experimentales mediante alícuotas de 500 y 50 ml del Tratamiento 1; Repetición 1 y de igual manera 500 y 50 ml para el Tratamiento 2; Repetición 2 y la tercera muestra de tipo puntual se la realizo de la piscina experimental testigo.

5.7.3.4 Etiquetado y traslado de las muestras.



Fotografía 10. *Muestras listas para el traslado a la ciudad de Yantzaza.*

Una vez obtenida cada muestra se procedió al etiquetado de las mismas ubicando en cada recipiente: Fecha, Hora, Código, Coordenadas, Cantidad y Técnico. Una vez acabada la recolección de las muestras se ubicaron los recipientes en un cooler a 4 °C con el objetivo que no exista interacción con el medio, ni posibles derrames en su traslado, después de lo cual sellado el cooler y con las muestras en su interior se procedió a transportarlas hasta el laboratorio para su respectivo análisis, finalmente es importante considerar que estas no sobrepasaron un tiempo de más de 3 horas sin aditivos para mantener su estabilidad.

5.7.4 Parámetros analizados en el Botadero Controlado del Cantón Zamora.

Mediante la búsqueda de información secundaria se realizó una lista de los parámetros más importantes que se hayan analizado en los lixiviados de varios rellenos sanitarios.

Cuadro 1. *Parámetros analizados en el botadero controlado*

Componente	Unidad
Amonio	Mg/L
Cadmio	Mg/L
Cloruro	Mg/L
DBO5	Mg/L
DQO	Mg/L
Dureza total caco3	Mg/L
Fosforo total	Mg/L
Hierro total	Mg/L
Manganeso	Mg/L
Níquel	Mg/L
Nitrógeno amoniacal	Mg/L
Nitrógeno total (NKT)	Mg/L
Plomo	Mg/L
Potasio	Mg/L
Solidos suspendidos totales (SST)	Mg/L

Sulfato	Mg/L
---------	------

5.7.5 Desarrollo del modelo estadístico.

Con el análisis de los resultados de laboratorio se procedió a determinar que tratamiento empleado en las piscinas experimentales tiene mayor potencial fitorremediador. Con el método estadístico se verificó si hay diferencias significativas entre los resultados obtenidos de los dos tratamientos.

5.7.5.1 Planteamiento del chi cuadrado.

Paso 1. Realizar la conjetura de la hipótesis.

Paso 2. Planteamiento de la hipótesis nula y la hipótesis alternativa.

Paso 3. Calcular el valor de " χ^2 ".

Paso 4. Determinar el valor de "p" y el grado de libertad.

Paso 5. Ordenar el valor crítico.

Paso 6. Realizar una comparación entre "Chi cuadrado" calculado y el valor crítico.

Paso 7. Interpretar la comparación.

6 RESULTADOS

6.1 Recopilación de información secundaria.

El Botadero Controlado cuenta con un Plan de Cierre elaborado por el departamento de Gestión Ambiental, en el cual se establecen los mecanismos a ejecutarse para cumplir de manera satisfactoria esta fase de cierre y abandono. Mediante visitas al botadero controlado se observó las actividades llevadas a cabo, la maquinaria empleada y la disposición final de los residuos sólidos generados en el cantón Zamora.



Fotografía 11. *Maquinaria empleada en la compactación y cubrimiento de los residuos orgánicos e inorgánicos.*

Se identificó una empresa que se dedica a la clasificación de los residuos inorgánicos (plásticos, botellas), así mismo operarios del municipio de Zamora quienes se encargan de guiar a los carros recolectores hacia los lugares en los cuales se debe ubicar los residuos sólidos. Además los maquinistas quienes se encargan de cubrir y compactar las 12,1 ton/día de residuos sólidos generados, con 50 cm de arena gruesa de río y toscón.



Fotografía 12. *Vista del relleno sanitario, sus chimeneas de aireación y eliminación de gases.*

Para el manejo de gases el Botadero Controlado cuenta con unos cuantos drenes de circulación y aireación distribuidos en distintas áreas conduciendo los gases hacia las chimeneas construidas con tubería PVC, así mismo los lixiviados generados son conducidos mediante drenajes ubicados en las zonas de residuos (biodegradables, no degradables y reciclaje), hacia una piscina de lixiviación que cuenta con un tratamiento biológico (fitorremediación).

6.2 Encuesta a técnico del Departamento de Gestión Ambiental encargado del botadero controlado.

En la encuesta aplicada se hizo mención a la existencia de análisis realizados a los lixiviados de la piscina de tratamiento y los parámetros tomados en cuenta por el Departamento de Gestión Ambiental, determinando que estos análisis fueron realizados varios años atrás en el laboratorio de la empresa pública de agua potable de Zamora siendo la fiabilidad de los resultados muy limitada debido a que el laboratorio no cuenta con los equipos y reactivos necesarios.

Tabla 3. Análisis realizados en los laboratorios de la EMAPAZ año 2012.

Parámetros	Expresado como	Unidades	Límite máximo permisible	Resultados
Coliformes fecales	Nmp/100 ml		Remoción > al 99,9%	2`400000
Color real	Color real	unidades de color	apreciable en dilución: 1/20	352
Fósforo total	P	mg/l		47
Hierro total	Fe	mg/l		5,1
Nitratos + Nitritos	Expresado como nitrógeno (N)	mg/l		38,8
pH			9	6,88
Sólidos sedimentables		ml/l		0,01
Sulfatos	SO4=	mg/l	00	36

Del mismo modo la función técnica que cumple la piscina de tratamiento de lixiviados es dar un tratamiento secundario empleando la fitorremediación por otra parte la estructura de la misma es de materiales como el concreto, acero y piedra, sus medidas son de 12,30 m de ancho y 18.45 m de largo y se encuentra construida sobre un suelo arcilloso-arenoso. Sin embargo el mantenimiento dado a la piscina de tratamiento de los lixiviados es semestral, se espera la sobrepoblación de la especie para realizarlo. Al mismo tiempo los contaminantes descargados en la piscina de lixiviados son tratados con la especie Buchón de agua, *Eichhornia crassipes*, no obstante se desconoce su eficacia y nivel de descontaminación ya que no existen análisis realizados actualmente, así mismo agrego el técnico que se contratará a la empresa consultora GEOCONS, para realizar análisis de los lixiviados entre otros aspectos del Botadero Controlado.

6.3 Resultados del segundo objetivo.

6.3.1 Especies empleadas

La especie *Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult., al ser trasladada y colocada en sus piscinas de experimentación sufrieron la ruptura de varias de sus hojas por lo que se procedió a podarlas a una misma altura (7 cm) llevando un registro de su crecimiento. Mientras que la *Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty no sufrió de ningún tipo de alteración en su composición física, teniendo una total adaptabilidad a su nuevo entorno, de la misma manera se procedió a podar sus hojas a una misma altura (20 cm) para llevar a cabo el monitoreo y control.

6.3.2 Monitoreo y control

Las especies empleadas se sometieron a un monitoreo constante durante los meses de estudio en los cuales se registró la longitud de las hojas y raíces, % de mortalidad de especies y el caudal de lixiviados.

En las dos especies investigadas no existió índice de mortalidad, pero sí decoloración en las hojas de la especie (*Eleocharis elegans*. (Kunth) R. & S.)

6.3.2.1 *Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult.



Figura 3. Altura de hojas de la especie *Eleocharis elegans*, (Kunth) Roem. & Schult.

En la figura 3, se detalla el crecimiento gradual de las hojas con un promedio 1,03 cm por día, obteniendo una longitud máxima de 78 cm a los 75 días.

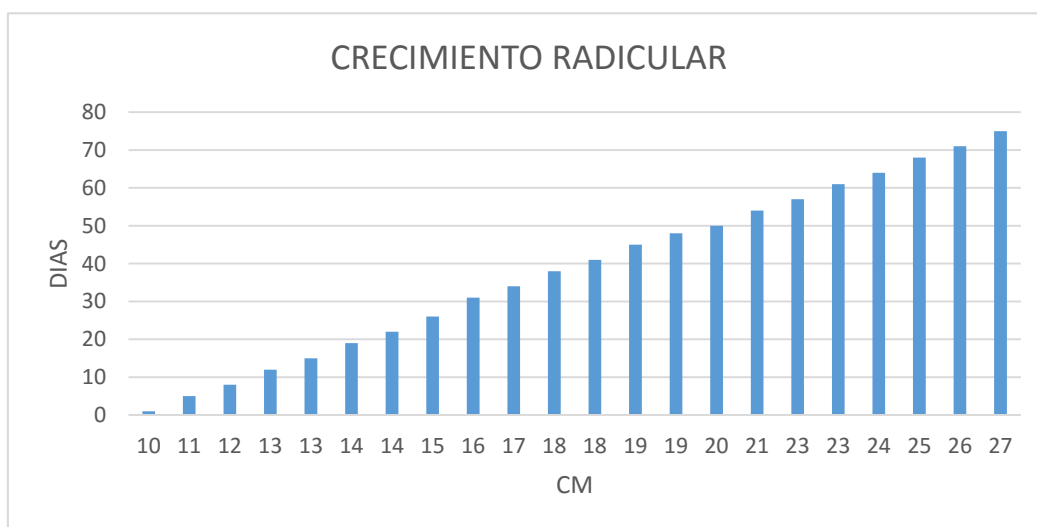


Figura 4. Crecimiento de raíz de la especie *Eleocharis elegans*, (Kunth) Roem. & Schult.

En la figura 4 se observa el promedio de crecimiento radicular de la especie siendo de 0,36 cm por día, obteniendo una longitud total de 27 cm a los 75 días.

6.3.2.2 *Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty

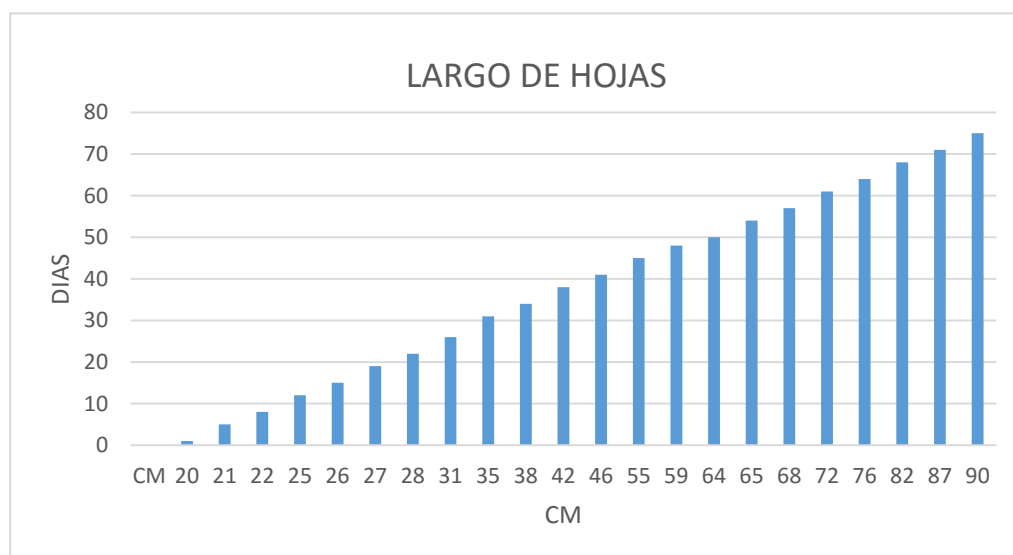


Figura 5. Crecimiento de hojas de la especie *Chrysopogon zizanioides*. (L) Roberty

La figura 5 detalla el crecimiento de hojas con un promedio de 1,18 cm por día, obteniendo una longitud máxima de 90 cm a los 75 días.

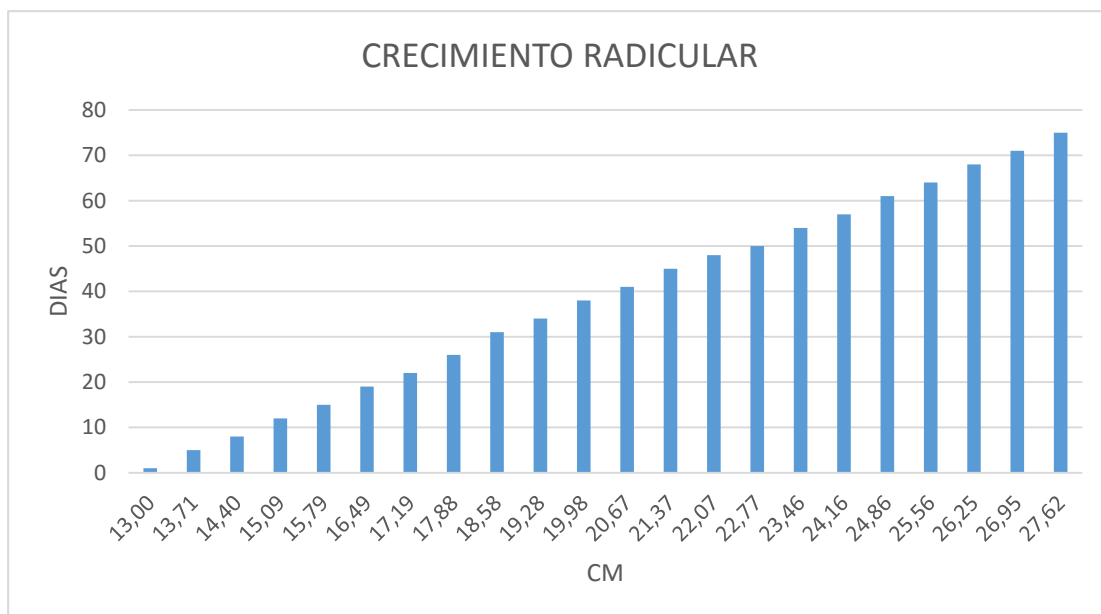


Figura 6. Crecimiento de la raíz de la especie *Crhysopogon zizanooides*. (L) Roberty

En la figura 6 se detalla el crecimiento radicular de la especie, obteniendo como resultado un crecimiento de 0,37 cm por día, con una longitud total de 27,62 cm.

6.3.3 Caudal

El caudal promedio determinado es:

$$Q \text{ promedio} = 0,423 \text{ l/s}$$

6.3.4 Resultados de los parámetros analizados en el laboratorio, realizados a los lixiviados sin tratar (Testigo), tratamiento uno (T1) y tratamiento dos (T2).

Mediante investigación en estudios realizados por varios autores: (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994); (Novelo, y otros, 2004), se procedió a determinar los siguientes parámetros. Los resultados del análisis a los lixiviados sin tratar, tratamiento uno y tratamiento dos obtenidos del laboratorio de la empresa GRUNTEC, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4. *Parámetros analizados en laboratorio*

N°	Parámetros	Testigo	Tratamiento 1 Eleocharis elegans	Tratamiento 2 Chrysopogon zizanoides	Límites Permisibles
FÍSICO QUÍMICO					
1	Dureza cálcica mg/L	215	114	143	-
2	Dureza magnésica mg/L	126	80	87	-
3	Dureza Total mg/L	341	194	230	-
4	Sólidos Suspendidos Totales	141	218	28	130
ANIONES Y NO METALES					
5	Amonio mg/L	134	114	107	-
6	Nitrógeno Amoniacal mg/L	126	108	101	30
7	Cloruro mg/L	176	183	141	1000
8	Sulfato mg/L	4,5	3,4	3,0	1000
PARÁMETROS ORGÁNICOS					
9	Demanda bioquímica de Oxígeno mg/L	18	30	25	100
10	Demanda química de oxígeno mg/L	128	132	88	200
11	Nitrógeno total kjeldahl mg/L	13	69	26	50.0
METALES TOTALES					
12	Cadmio	< 0,0002	<0,0002	<0,0002	0,02
13	Fosforo	1,5	1,2	0,33	10
14	Hierro	28	21	3,3	10
15	Manganeso	1,9	0,66	0,76	2,0
16	Niquel	0,006	0,005	0,004	2,0
17	Plomo	0,0074	0,0064	0,0052	0,2
18	Potasio	151	98	104	-
19	Ph	7	7	7	6-9

6.3.4.1 Análisis de los resultados de laboratorio.

De los parámetros físicos-químicos analizados en laboratorio, los Sólidos

Suspendidos Totales superan el límite máximo permisible establecido por el MAE.

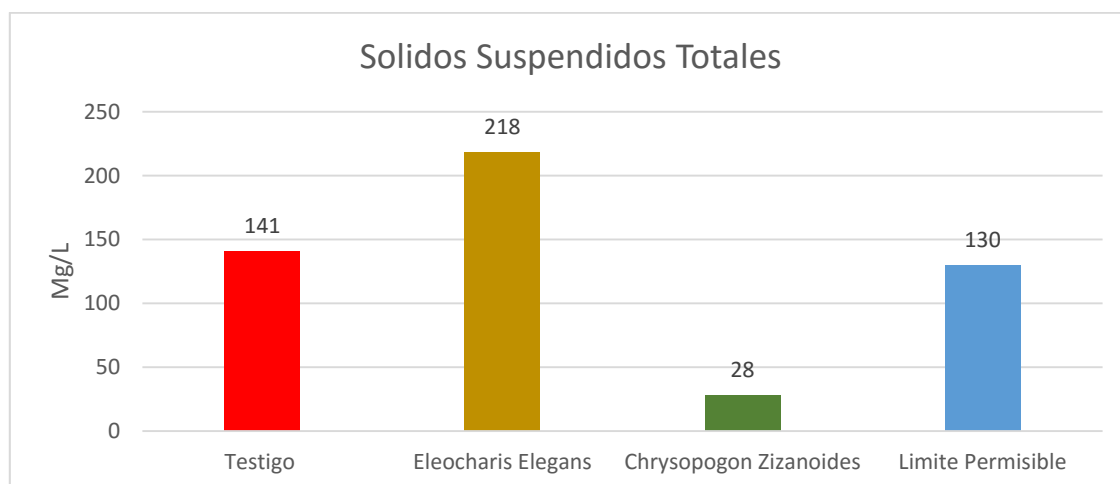


Figura 7. *Parámetro Solidos Suspendidos Totales analizado*

Como se expone en la figura 7 los valores obtenidos del **Testigo** y del **Tratamiento 1** superan con un 8 y 67,69 % respectivamente el límite máximo permisible, a pesar de esto el **Tratamiento 2** redujo la concentración de este parámetro de 130 mg/L a 30 mg/L siendo eficiente en un 78,46 %.

De los Aniones y no Metales analizados en laboratorio, el Nitrógeno Amoniacal supera el límite máximo permisible establecido por el MAE.

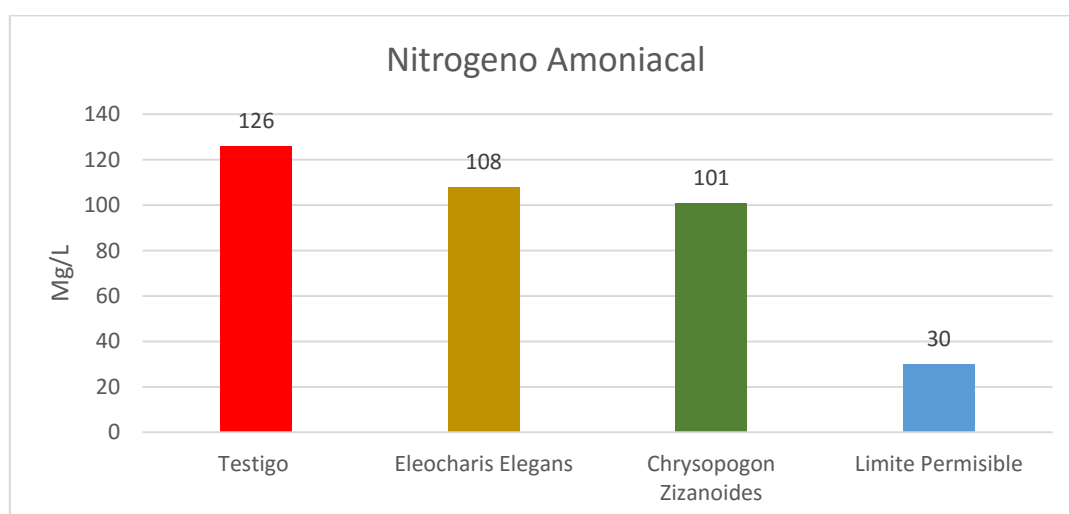


Figura 8. *Parámetro Nitrógeno Amoniacal (amonio como Amoniaco)*

Como se expone en la figura 8 los valores obtenidos del parámetro Nitrógeno Amoniacal, el **Testigo** al igual que el **Tratamiento 1** y **Tratamiento 2** superan en un 320, 260 y 236,66 % respectivamente, el límite máximo permisible de 30 mg/l establecido por el MAE, sin embargo se evidencia que el **Tratamiento 2** reduce en un 83,34 % en comparación al valor total del Testigo.

De los parámetros orgánicos analizados en laboratorio, el Nitrógeno Total Kjeldahl supera el límite máximo permisible establecido por el MAE.

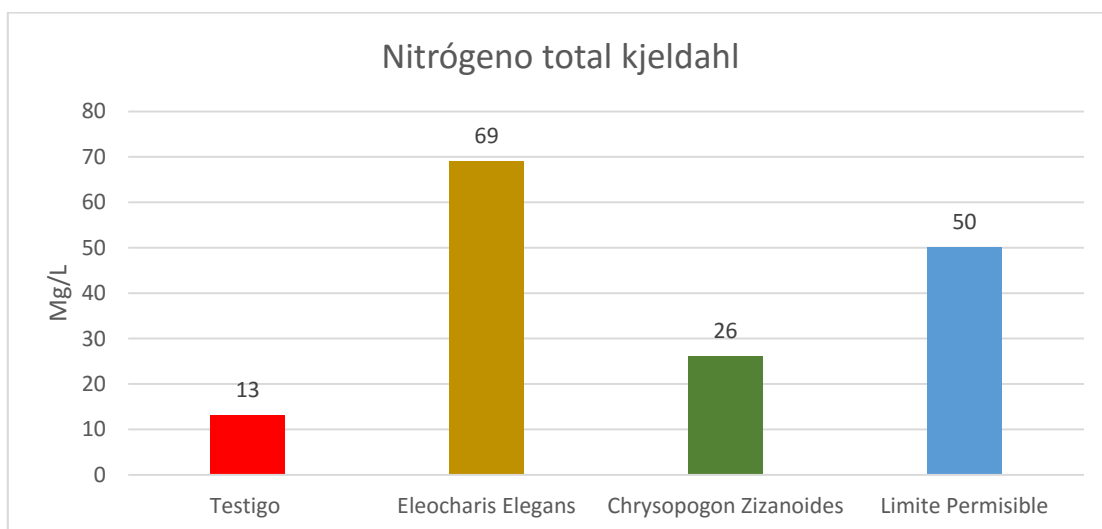


Figura 9. *Parámetro Nitrógeno Total Kjeldahl*

Como se expone en la figura 9, los valores obtenidos del parámetro Nitrógeno Total kjeldahl, el **Testigo** y **Tratamiento 2** se encuentran bajo el límite máximo permisible con un 26%, 48% respectivamente, por el contrario el **Tratamiento 1** supera este límite en un 38%, del mismo modo se evidencia mayor concentración de contaminantes en los dos tratamientos dados respecto al testigo.

De los metales totales analizados en el laboratorio, el parámetro Hierro supera el límite máximo permisible establecido por el MAE.

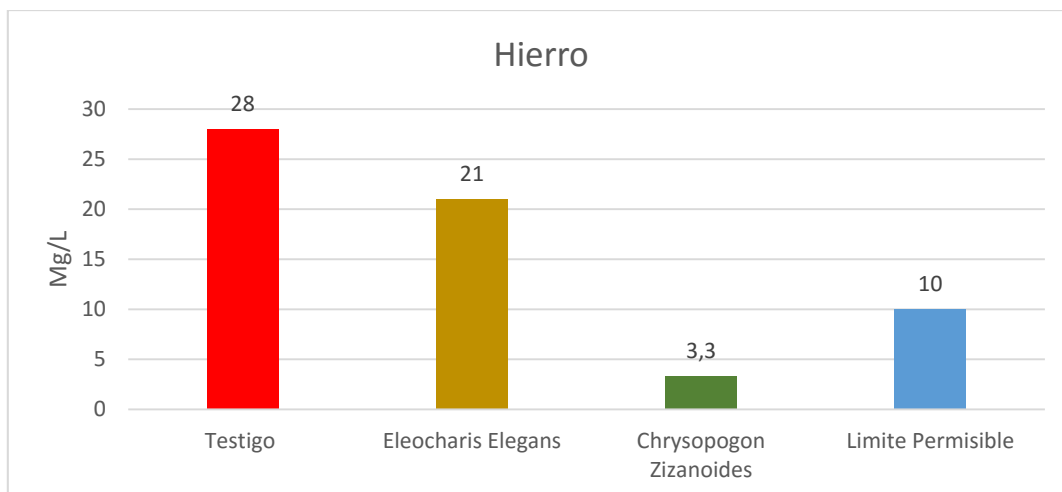


Figura 10. *Parámetro Hierro analizado*

Como se expone en la figura 10, de los valores obtenidos para el parámetro Hierro superan, el **Testigo** y **Tratamiento 1** con un 180 % y 110 % respectivamente el límite máximo permisible, al contrario el **Tratamiento 2** redujo la concentración de este parámetro de 10 mg/L a 3,3 Mg/L siendo eficiente en un 77%.

Como se evidencia en la tabla 4 y el anexo 4, los parámetros analizados; Amonio como amoniaco (Nitrógeno Amoniacal), Cadmio, Cloruro, DB0, DQO, Dureza Total, Fosforo Total, Manganeseo, Níquel, Plomo, Potasio y pH, no superan los límites máximos permisibles establecidos por el MAE.

6.3.5 Desarrollo del modelo estadístico no paramétrico chi cuadrado para los parámetros analizados.

Desarrollo del método estadístico para calcular el valor del Chi-cuadrado.

6.3.5.1 Hipótesis

La descontaminación de lixiviados en el botadero controlado del cantón Zamora, depende del potencial fitorremediador de las especies a emplear.

6.3.5.2 Planteamiento de la hipótesis nula y la hipótesis alternativa

Hipótesis nula (Ho)

La efectividad del tratamiento de los lixiviados por el proceso de fitorremediación, no difiere entre el uso de la especie vegetal *Crhysopogon zizanooides* (L) Roberty y *Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult.

Hipótesis alternativa (H1) la efectividad del tratamiento de los lixiviados por el proceso de fitorremediación, si difiere entre el uso de la especie vegetal *Crhysopogon zizanooides* (L) Roberty y *Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult.

6.3.5.3 Calcular el valor del Chi- cuadrado

Se obtuvo las tablas de contingencia de las frecuencias observadas. La siguiente tabla indican los resultados del análisis de la piscina con *Crhysopogon zizanooides* y *Eleocharis elegans*.

Tabla 5. Contingencia con las frecuencias observadas en los tratamientos uno y dos.

PARÁMETROS	Tratamiento 1	Tratamiento 2
Dureza cálcica mg/L	114	143
Dureza magnésica mg/L	80	87
Dureza Total mg/L	194	230
Solidos Suspendidos Totales	218	28
Amonio mg/L	114	107
Amonio como amoniaco mg/L	108	101
Cloruro mg/L	183	141
Sulfato mg/L	3,4	3,0
Demanda bioquímica de Oxígeno mg/L	30	25
Demanda química de oxígeno mg/L	132	88
Nitrógeno total kjeldahl mg/L	69	26
Cadmio	<0,0002	<0,0002
Fosforo	1,2	0,33
Hierro	21	3,3
Manganeso	0,66	0,76

Niquel	0,005	0,004
Plomo	0,0064	0,0052
Potasio	98	104
Ph	7	7

Con los datos de la tabla, correspondiente a las frecuencias observadas en los resultados analizados de los lixiviados tratados en las piscinas experimentales (tratamiento T1; repetición T1 y Tratamiento 2; repetición T2), se procedió a realizar la suma de los resultados tanto de las filas como de las columnas para obtener el cuadro de las frecuencias esperadas.

6.3.5.4 Resultados de las sumas de las frecuencias observadas

Tabla 6. Resultados de las frecuencias observadas

PARÁMETROS	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Total
Dureza cálcica mg/L	114	143	257
Dureza magnésica mg/L	80	87	167
Dureza Total mg/L	194	230	424
Solidos Suspendidos Totales	218	28	246
Amonio mg/L	114	107	221
Amonio como amoniaco mg/L	108	101	209
Cloruro mg/L	183	141	324
Sulfato mg/L	3,4	3,0	6,4
Demanda bioquímica de Oxígeno mg/L	30	25	55
Demanda química de oxígeno mg/L	132	88	220
Nitrógeno total kjeldahl mg/L	69	26	95
Cadmio	<0,0002	<0,0002	0
Fosforo	1,2	0,33	1,53
Hierro	21	3,3	24,3
Manganeso	0,66	0,76	1,42
Niquel	0,005	0,004	0,009
Plomo	0,0064	0,0052	0,0116
Potasio	98	104	202
Ph	7	7	14
Total	1373,2714	1094,3992	2467,6706

6.3.5.4.1 Con los datos de la tabla, se utilizó la siguiente fórmula para determinar los valores de las frecuencias esperadas.

$$fe = (\Sigma c. * \Sigma f.) / \Sigma total$$

Donde:

Fe = Frecuencia esperada.

Σc. = Sumatoria total de cada columna.

Σf. = Sumatoria de cada fila.

Σ total = Sumatoria total de los valores de la tabla.

Realizada la aplicación de esta fórmula en cada uno de los valores de la tabla, se obtuvo las frecuencias esperadas de los resultados del análisis a los lixiviados de los tratamientos uno y dos.

Tabla 7. Frecuencias esperadas

PARÁMETROS	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2
Dureza cálcica mg/L	143,022	113,978
Dureza magnésica mg/L	92,936	74,064
Dureza Total mg/L	235,958	188,042
Sólidos Suspendidos Totales	136,900	109,100
Amonio mg/L	122,988	98,012
Amonio como amoníaco mg/L	116,310	92,690
Cloruro mg/L	180,308	143,692
Sulfato mg/L	3,562	2,838
Demanda bioquímica de Oxígeno mg/L	30,608	24,392
Demanda química de oxígeno mg/L	122,431	97,569
Nitrógeno total kjeldahl mg/L	52,868	42,132

Cadmio	0,0002	0,0002
Fosforo	0,851	0,679
Hierro	13,523	10,777
Manganeso	0,790	0,630
Niquel	0,005	0,004
Plomo	0,006	0,005
Potasio	112,414	89,586
Ph	7,791	6,209

Obtenido los datos correspondientes para las frecuencias observadas y esperadas, se procedió a realizar el cálculo del Chi-cuadrado (χ^2) utilizando la siguiente formula:

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

Donde:

χ^2 = Chi cuadrado

f_o = frecuencia del valor observado

f_e = frecuencia del valor esperado

6.3.5.5 Desarrollo del procedimiento para el cálculo del Chi-cuadrado

$$\begin{aligned} \chi^2 = & ((114-143,0218)^2/143,0218) + ((143-113,9782)^2 / 113,9782) + ((80- 92,9364)^2 / \\ & 92,9364) + ((87- 74,0636)^2 / 74,0636) + ((194 -235,9582)^2 / 235,9582) + ((230 - \\ & 188,0418)^2 / 188,0418) + ((218 - 136,9003)^2 / 136,9003) + ((28 - 109,0997)^2 / 109,0997) \\ & + ((114 - 122,9876)^2 / 122,9876)+ ((107-98,0124)^2/98,0124) + ((108- \\ & 116,3096)^2/116,3096) + ((183-180,3077)^2/180,3077) + ((141-143,6923)^2/143,6923) + \\ & ((3,4-3,5616)^2/3,5616) + ((3-2,8384)^2/2,8384) + ((30- 30,6078)^2/30,6078) + ((25- \\ & 24,3922)^2/24,3922) + ((132- 122,4311)^2/122,4311) + ((88-975689)^2/975689) + ((69- \\ & 52,8680)^2/52,8680) + ((26- 42,1320)^2/42,1320) + ((0,0002-0,0002)^2/0,0002) + ((0,0002- \end{aligned}$$

$0,0002)^2/0,0002) + ((1,2- 0,8515)^2/0,8515) + ((0,33- 0,6785)^2/0,6785) + ((21-13,5231)^2/13,5231) + ((3,3 - 10,7769)^2/10,7769) + ((0,66- 0,7902)^2/0,7902) + ((0,76 - 0,6298)^2/0,6298) + ((0,005- 0,0050)^2/0,0050) + ((0,004- 0,0040)^2/0,0040) + ((0,0064- 0,0065)^2/0,0065) + ((0,0052- 0,0051)^2/0,0051) + ((98 - 112,4140)^2/112,4140) + ((104 - 89,5860)^2/89,5860) + ((7-7,7911)^2/7,7911) + ((7-6,2089)^2/6,2089).$

$X^2 = 5,8891 + 7,3897 + 1,8007 + 2,2595 + 7,4610 + 9,3622 + 48,0435 + 60,2858 + 0,6568 + 0,8242 + 0,5937 + 0,7449 + 0,0402 + 0,0504 + 0,0073 + 0,0092 + 0,0121 + 0,0151 + 0,7479 + 0,9384 + 4,9225 + 6,1768 + 0,000002 + 0,000003 + 0,1427 + 0,1790 + 4,1340 + 5,1874 + 0,0215 + 0,0269 + 0,00000001 + 0,00000002 + 0,00000048 + 0,00000060 + 1,8482 + 2,3192 + 0,0803 + 0,1008.$

$X^2 = 172,2712$

6.3.5.5.1 Determinación del valor de “p” y el grado de libertad.

Se determinó el valor de “p”.

P= 1 - Nivel de significancia (0,05).

P= 1-0,5

P= 0,95

6.3.5.5.2 Se determinó el grado de libertad (V)

$V = (\text{cantidad de filas} - 1) * (\text{cantidad de columnas} - 1)$

$V = (2-1) * (19-1)$

$V = (1) * (18)$

$V = 18$

6.3.5.5.3 Obtención del valor crítico

De acuerdo a la tabla para valores de Chi cuadrado Ver Anexo 5, el valor crítico (vc) es:

$$V_c = 28,869$$

6.3.5.5.4 Realizar la comparación entre el Chi cuadrado y el valor crítico.

X ² calculado	≤	V _c
172,2712		28,869

6.3.5.5.5 Interpretación de los datos obtenidos

El chi cuadrado calculado 172,2712 es mayor que el chi cuadrado valor crítico 28,869 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (H₀): La efectividad del tratamiento de los lixiviados por el proceso de fitorremediación, no difiere entre el uso de la especie vegetal *Crhysopogon zizanoides* (L) Roberty y *Eleocharis elegans*.(Kunth) Roem. & Schult. Aceptando de esta manera la hipótesis alternativa (H₁): La efectividad del tratamiento de los lixiviados por el proceso de fitorremediación, si difiere entre el uso de la especie vegetal *Crhysopogon zizanoides*. (L) Roberty y *Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult.

7 DISCUSIÓN

7.1 Para los resultados del primer objetivo

Diagnosticar el estado actual de los lixiviados generados en los procesos de manejo de los residuos del botadero controlado del cantón Zamora.

Mediante la recopilación de información secundaria, se observó que en la actualidad cuentan con 4 de 10 de las chimeneas iniciales para la salida de gases, lo cual deduce que no debe existir un sistema eficaz de drenes de lixiviados, de igual manera se observó que gran parte de los residuos sólidos de los márgenes de la celda de disposición final no se encontraban totalmente cubiertos, Cárdenas Sánchez (2012), menciona que de no recogerse adecuadamente los lixiviados estos contaminan las aguas subterráneas y superficiales por ello los rellenos sanitarios debe ser impermeabilizados, además sumado a esto las constantes precipitaciones de casi 2000 mm anuales se obtuvo un caudal de 0,42 l/s al día siendo relativamente bajo para la constante compactación de 12,1 ton/día siendo mayoritariamente con 70% materia orgánica como menciona Morales C (2007), los residuos sólidos están compuestos por un 40-50 de agua, vegetales y animales, lo cual debería darnos un mayor caudal.

De la encuesta realizada al técnico del departamento de gestión ambiental quien facilito información referente al estado del Botadero Controlado y las actividades que se realizan diariamente. Se encontraron falencias en cuanto al mantenimiento de la piscina de lixiviados, la cual emplea la especie *Eichhornia crassipes* como tratamiento biológico, actualmente cuenta con sobrepoblación y su mantenimiento se realiza cada 6 meses, debiendo ser cada 3 meses por su rápida

reproducción. Además no cuentan con información actualizada sobre los niveles de contaminación de los lixiviados tratados y de los parámetros que deberían ser analizados, los cuales son actualizados continuamente por el MAE, debido a que no se realizan monitoreos y análisis periódicos de los lixiviados que son generados y tratados, por parte de los técnicos del GAD de Zamora.

7.2 Para los resultados del segundo objetivo.

Evaluar el potencial fitorremediador de las especies vegetales (*Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty) y (*Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult.) en el tratamiento de lixiviados generados en el botadero controlado del cantón Zamora

El pH del lixiviado analizado de los tratamientos como el testigo, son de tipo neutro encontrándose en la fase metanogénica, donde se produce la fermentación del metano a partir de los ácidos presentes, así pues concordando con lo mencionado por Escudero. (2012), donde el pH del lixiviado tiende a ser de 6,8 - 8, neutros y alcalinos, esta fase se lleva a cabo durante los 5 primeros años. Renou et al. (2008), afirman que cuando el lixiviado se encuentra en la fase metanogénica ha llegado a su etapa de maduración donde la mayor parte de la materia orgánica llega a ser dominada por componentes refractarios no biodegradables, la duración esta fase es de 10 a 25 años.

La Dureza Total obtenida no tiene un valor especificado en los límites máximos permisibles establecidos por el MAE, sin embargo la organización mundial de la salud estable el límite en 500 Mg/L Ambientum.com. (2015), a su vez los tratamientos 1 y 2 redujeron la concentración de contaminante en 43,02 % y 32,56 % en relación al testigo de 341 mg/L y según Garcia. (2016), se confirma que el lixiviado estaría con una concentración aceptable, a su vez menciona que en estas

concentraciones existen sales de magnesio y calcio, por otra parte Sancho y Verdú. (2004), mencionan que la dureza total de un lixiviado viene dado por la cantidad de sales y el contacto con el suelo durante el tiempo de retención en el tratamiento, así mismo Hernandez. (2002), menciona que el calcio y el magnesio entre otros minerales son necesarios para el crecimiento de las plántulas, por tanto se evidencia la necesidad de las especies de absorber estos minerales reduciendo así la Dureza Total.

En los Sólidos Suspendidos Totales se determinó una concentración superior al límite máximo permisible por parte del testigo aun así siendo menor al tratamiento 1 que supero con un 67,69% lo estipulado por el MAE, por lo contrario el tratamiento 2 redujo el contaminante en un 78,46 %, Rigola. (1990), argumenta que los Sólidos Totales de un lixiviado tienen materia disuelta (orgánica e inorgánica), (Gutiérrez, Ma. Laura Ortiz, Enrique Sánchez, & Ma. Magdalena Ortega, 2009), mencionan que sirven de alimento para las especies mientras que Rivera-Laguna, Luz Barba-Ho, & Patricia Torres-Lozada (2013), mencionan que los SST en un lixiviado de más de 10 años tienen una concentración de hasta 288 mg/L. Según lo expuesto por Fernández (1999), entre las funciones de las plantas está la de filtrar los sólidos a través del entramado que forma su sistema radicular, en consecuencia se evidencia el proceso de Fitoestabilización mencionado por Delgadillo. (2011), donde se establece que este proceso reduce la movilidad y evita la migración de contaminantes, igualmente Cano. (2003), menciona que las macrofitas estudiadas acumulan SST en sus raíces, demostrando esto mediante fotografías realizadas a las raíces del tratamiento 1. Ver anexo 6, igualmente evidenciamos el proceso de Fitodegradación mencionado por Prasad & Freitas. (2003), en el tratamiento 2, que

es dado a medida que las plantas crecen absorbiendo contaminantes orgánicos e inorgánicos.

El Nitrógeno Amoniacal obtenido del testigo y de los tratamientos empleados superó el límite máximo permisible de 30 Mg/L establecido por el MAE. No obstante se evidencia que el tratamiento 1 y 2 reducen la concentración del contaminante en relación al testigo siendo de mayor eficacia el tratamiento 2, Xia, et al. (1998), mencionan en su investigación la reducción de este parámetro en un 83% con la especie *Chrysopogon zizanooides* (L) Roberty. Según el (Centro de investigacion y desarrollo tecnologico del agua, 2016), el agua residual contiene 20-50 mg/L de nitrógeno total y 12-40 mg/L de amonio, además Torres Lozada, Rodríguez, Barba, Morán, & Narváez. (2005), mencionan que los lixiviados contienen elevadas concentraciones de Nitrógeno Amoniacal, no obstante (G.C.Sánchez, y otros, 2013) obtuvieron una reducción del amoniaco en un 99 % dos meses después de retener los contaminantes en su tratamiento, sugiriendo así que para lograr una reducción significativa de este parametro por parte de los tratamientos dados el tiempo de retencion de contaminantes debe ser mayor a las 3 semanas propuestas en esta investigacion.

La Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO) analizada del Testigo, Tratamiento 1 y 2, se mantienen por debajo del límite máximo permisible de 200 mg/L establecido por el MAE, sin embargo de la comparación entre los tratamientos se observó una mayor reducción de contaminante por parte del tratamiento 2 de 30 a 25 mg/l, Escudero. (2012), menciona que los procesos aerobios de la fase IV y la Fase V caracteriza a rellenos sanitarios mayores a 10 años denominándola fase metanogénica y de maduración que estabilizan los lixiviados dando una relación DBO, DQO de 0.1 a 0.3 con relación a un lixiviado joven > 0.7, por consiguiente

teniendo en cuenta que el botadero controlado tiene más de 20 años y continua a pleno funcionamiento, este parámetro debería ser más elevado. Así mismo en esta fase se mantiene el nitrógeno en forma de amoníaco, tal y como mencionan (Henry & Gary W. Heinke, 1999) y se evidencia en el parámetro Nitrógeno Amoniacal de esta investigación.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) analizada en el Testigo, Tratamiento 1 y 2 no se registró valores que superen el límite máximo permisible de 100 mg/L establecido por el MAE, sin embargo de la comparación entre los tratamientos se observó una mayor reducción por parte del tratamiento 2 de 132 a 88 mg/l, al igual que en el (DBO). En consecuencia se corrobora de hecho que el lixiviado del botadero controlado de la ciudad de Zamora se encuentra en la fase de maduración, generalmente se presentan variaciones considerables en los valores de DQO, ya que un lixiviado joven tiene valores muchos más altos comparados con los que presenta un lixiviado viejo. Méndez et al. (2004), establecen un valor medio de DQO de 22000mg/l para lixiviados que se encuentran en la fase de fermentación ácida y de 3000mg/l para aquellos que se encuentran en la fermentación metanogénica y en menor medida para las de maduración. Los lixiviados jóvenes poseen índices de biodegradabilidad superiores a 0.4 por lo que responden de manera satisfactoria a procesos biológicos, mientras que lixiviados viejos generalmente mayores a 10 años presentan índices de biodegradabilidad muy bajos que no superan los 0.3, Kjeldsen et al. (2002). Según lo mencionado por Schiopu & Gavrilescu. (2010), al aumentar el pH de neutro a alcalino el DBO y DQO reducen su concentración como se evidencia en el pH en esta investigación. Además, Cano. (2003), menciona que las macrofitas reducen la concentración del

(DBO y DQO) con gran eficiencia, en este caso se hace mención a la especie *Eleocharis elegans* (Kunth) Roem. & Schult.

El Nitrógeno Total Kjeldahl analizado en el Testigo y el tratamiento 2 resultaron con concentraciones menores al límite máximo permisible mientras que el tratamiento 1 supero este límite con un 38%. Se evidencia nuevamente que el lixiviado se encuentra en la fase de maduración. En cierto modo el nitrógeno es de especial interés si se va a evaluar un tratamiento biológico ya que constituye uno de los principales nutrientes para el crecimiento bacteriano Mendoza et al. (2004). Así mismo, Kulikowska y Klimiuk. (2008), afirman que tanto el nitrógeno total y amoniacal como los nitratos, exhiben un comportamiento claro, disminuyendo a medida que aumenta la edad del lixiviado, puesto que en los vertederos jóvenes ocurre la diseminación de los aminoácidos y la destrucción de compuestos orgánicos. G.C.Sánchez y otros. (2013) demuestran en sus resultados con la macrofita *Typha domingensis* un aumento en el nitrógeno de 4,46 mg/L a 4,96 mg/L, de igual manera evidencia un proceso de Nitrificación- Desnitrificación NDN, proceso microbiológico realizado por bacterias autótrofas que ayudan a la especie a mejorar su crecimiento y aumentando la concentración del Nitrógeno.

El Hierro analizado demostró que el Testigo en mayor concentración que el Tratamiento 1 superaron el límite máximo permisible establecido por el MAE, sin embargo el Tratamiento 2 redujo la concentración de este parámetro en un 77% demostrando tener el potencial de Rizofiltración donde utiliza la planta sus raíces para eliminar contaminantes de un medio hídrico. Delgadillo et al. (2012) mencionan que la planta se introduce en agua contaminada con metales, donde las raíces los absorben y acumulan. Méndez et al. (2004), mencionan que tras tratamientos los

lodos resultantes poseen altas concentraciones de aluminio o hierro (200 - 800 mg/L). Existen varios parámetros que se encuentran dentro de los límites máximos permisibles como son; Níquel, Manganeso, Cadmio, Potasio y Plomo, que también fueron reducidos en mayor proporción por el tratamiento 2, Kjeldsen et al. (2005), afirman que una de las causas para la carencia de concentración metales pesados se relaciona con el equilibrio de solubilidad de los metales pesados en el Relleno Sanitario, tanto la absorción como la precipitación son mecanismos significativos que influyen en la inmovilización de metales y disminuyen la concentración de metales en los lixiviados, lo cual se evidencia por las constantes precipitaciones que existen en el cantón Zamora y las registradas durante el desarrollo de la investigación.

Los bajos contenidos de contaminantes en algunos de los parámetros se deben a la existencia de fugas de lixiviados. Por ello para corroborar se realizó la recolección de una nueva muestra en la celda de disposición final para corroborar la existencia de contaminantes. Ver Anexo 7; 7-1.

Con respecto a los datos expresados en Anexo 7-2, el 60% de los parámetros analizados cuentan con elevadas concentraciones de contaminación y el 40% cumple el límite máximo permisible establecido por el MAE. Algunos de los parámetros como el DBO 576 mg/L, DQO 2400 mg/L al igual que los SST 1303 mg/L y el Hierro 37 mg/L sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos por el MAE, mientras tanto el pH (8,6) ligeramente alcalino se mantiene en el rango establecido en la normativa vigente al igual que algunos metales como el Cadmio, Plomo y Níquel.

A consecuencia de los resultados de laboratorio realizados a los lixiviados de los Tratamientos 1 y 2 al igual que el Testigo y debido a la baja contaminación de los lixiviados tratados por el GAD Zamora, mediante proceso biológico con la especie *Eichhornia crassipes*, se procedió a realizar una búsqueda de áreas donde se presenciase la fuga de lixiviados en la celda de disposición final de los residuos sólidos. Tras la búsqueda se determinaron tres puntos específicos en los cuales se observó la lixiviación de contaminantes, estos puntos se encuentran a distintas alturas lo que significa que tienen varios años de formación. El primero de gran tamaño y relativamente nuevo fue encontrado a 8 metros por debajo de la última terraza actualmente construida (X 725521; Y 970365). El segundo se encuentra en el margen izquierdo Norte-Oeste del botadero controlado a aproximadamente 13 metros bajo la última terraza construida (X 725440; Y 972118). El tercero y más antiguo se encuentra en el lugar donde empezó a funcionar la primera celda de disposición final de residuos sólidos, la misma que tiene alrededor de 20 años y se encuentra ubicada a 20 metros bajo la última terraza construida (X 725510; Y 970219). Ver Anexo 8. A causa de estas fugas me permití deducir que los lixiviados generados en el botadero controlado durante los últimos años no están siendo conducidos por los drenes existentes por tanto no están ejerciendo su función, en efecto esto se confirma con la visualización de un mapa en el cual se detalla un solo dren que conduce los lixiviados. Ver Anexo 8-1. A propósito de la observación realizada en los días soleados se pudo constatar la existencia de un flujo constante de lixiviados hacia un talud que desemboca a orillas del río Zamora, los mismo que se acumulan cerca de la primera celda de disposición final.

En lo que respecta a la información de la última consultoría externa iniciada en el Botadero Controlado a finales del mes de Junio 2016 por la empresa GEOCONS

y facilitada en Septiembre del mismo año, el (GAD Zamora, 2016), menciona que no existe contaminación en los lixiviados analizados a la entrada y salida de la piscina de lixiviados, además expresa que tras varias calicatas realizadas a distintas profundidades en las celdas de disposición final, existen infiltraciones de agua las cuales pueden causar acumulación de las mismas, de igual manera la composición del suelo es arena-arcillosa con grava y según el coeficiente de permeabilidad del suelo ($K= 69,82$ cm/hora) son estratos de permeabilidad rápida, penetrando fácilmente la capa de compactación. Por consiguiente no existe un adecuado flujo a través de drenes, que reduzcan la saturación de fugas o descargas de aguas en las celdas de disposición final, de la misma manera se menciona la inexistencia de una geomembrana que retenga la lixiviación resultante debido a que es una tecnología nueva en el Ecuador. Además en las calicatas realizadas a 6m el pH es considerado como neutro, mientras en la realizada a 8m es considerada como moderadamente ácida, a consecuencia de concordar mis observaciones con las del consultor se recomendará la inmediata construcción de un nuevo sistema de drenes, pero no en la forma clásica de espigas de pescado como lo menciona debido a que es difícil teniendo en cuenta la altura de las terrazas y la gran peligrosidad de existir acumulación de gases a mayor profundidad, en la celda de disposición final, para concluir se debería construir canales de hormigón alrededor del Botadero Controlado para la recolección y control de aguas lluvias evitando la infiltración en las celda de disposición final y la escorrentía hacia el río Zamora.

8 CONCLUSIONES

Realizada la investigación a los procesos desarrollados en el Botadero Controlado y la evaluación de las especies empleadas en los tratamientos se concluye lo siguiente:

Que se emplea la maquinaria adecuada para la correcta compactación y cubrimiento de los residuos ubicados en las celdas de disposición final.

Que la piscina de lixiviados no cumple un rol específico ya que el departamento de gestión ambiental ahora cuenta con datos sobre los lixiviados que son virtualmente tratados, conociendo la reducida concentración de contaminantes que ingresan y salen del tratamiento biológico empleado.

Que tras fuertes precipitaciones los lixiviados sobrepasan el nivel máximo de la piscina quedando el tratamiento biológico empleado sin efecto.

Que no existen drenes de hormigón alrededor de la celda de disposición final que eviten la infiltración de aguas lluvias y escorrentías con lixiviados hacia el río Zamora, entre otras áreas del Botadero Controlado.

Que tras los análisis de laboratorio realizados a los lixiviados del Botadero Controlado del cantón Zamora se determinó que se encuentran en la fase de maduración, ya que la mayoría de la materia orgánica contenida en él es de tipo refractaria característica de esta fase.

Que de la relación DBO /DQO el lixiviado recolectado antes de ingresar a la piscina de lixiviados, no es susceptible para realizar un tratamiento biológico directo dado que el valor promedio es menor a 0.3 siendo (0,14).

Que la especie más eficiente para un tratamiento de fitorremediación es la (*Chrysopogon zizanioides. (L.) Roberty*) reduciendo significativamente la concentración del 50% de parámetros analizados en el laboratorio, destacando la reducción en la Demanda Química de Oxígeno (DQO) 128 – 88 mg/L, Sólidos Suspendidos Totales 130 - 28 mg/L y metales como el Hierro 10 – 3,3 mg/L.

Que no debería usarse la especie (*Eleocharis elegans. (Kunth) Roem. & Schult.*) ya que ha aumentado la concentración de varios parámetros sobre el límite máximo permisible como son: Sólidos Suspendidos Totales de 130 – 218 mg/L; Hierro 10 – 21 mg/L y Nitrógeno Total Kjeldahl 50 – 69 mg/L, a pesar de ello uno de los parámetros que mayor reducción obtuvo la especie es el Manganeso 2,0 – 0,66 mg/L.

Que bajo la comparación del modelo estadístico desarrollado “Chi – cuadrado” se demostró que: la especie (*Chrysopogon zizanioides. (L.) Roberty*) tiene mayor potencial fitorremediador en comparación con la (*Eleocharis elegans. (Kunth) Roem. & Schult.*), esto bajo los parámetros que las especies más asimilaron. Por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa (H1) y se rechaza la hipótesis nula (Ho) planteada.

Que tras el análisis realizado en la celda de disposición final existe presencia de contaminación por lixiviados en el 60% de los parámetros (Sólidos Suspendidos Totales, Amonio como Amoniaco, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Nitrógeno Total kjekdahl, Fosforo, Hierro y Manganeso), los mismos que no son conducidos por el dren existente hacia la piscina de tratamiento biológico.

9 RECOMENDACIONES

Se recomienda al GAD de Zamora el mantenimiento más seguido de la piscina de lixiviados, debido a la proliferación de grandes cantidades de la especie *Eichhornia crassipes*, de igual manera se debe verificar la capacidad máxima de retención de lixiviados y verificar si existe reducción de contaminantes con el proceso biológico actualmente empleado.

Se debe realizar un análisis de la distribución de drenes existentes en la celda de disposición final e implementar un nuevo sistema de drenes con el fin de distribuir los lixiviados generados a la nueva piscina de tratamiento en construcción, reduciendo de esta manera la fuga directa de lixiviados hacia el río Zamora.

Se recomienda ejecutar la implementación de un sistema de drenes de hormigón para capturar las aguas lluvias con mayor eficacia reduciendo la infiltración y escorrentía de contaminantes dentro del Botadero Controlado y hacia el río Zamora

Se recomienda partir de un análisis de laboratorio tomando varias muestras en tiempos de estiaje y lluvia estableciendo un protocolo de muestreo claramente definido, que ayude a tomar una decisión sobre la investigación conociendo en primer lugar los niveles de contaminación existentes.

Se recomienda seguir con la investigación de la especie (*Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty) ya que presenta potencial fitorremediador (Fitodegradación y Rizofiltración), además de demostrar una excelente adaptabilidad a características climatológicas de la amazonia, llegando ser utilizada en humedales como el del Botadero Controlado de la ciudad de Zamora.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Delgadillo López, A., Gonzalez Ramirez, C., Prieto Garcia , F., Villagomez Ibarra , J., & Acevedo Sandoval , O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*. 14(2), 597-612.
- Dushenkov, V., Nanda. Kumar, P., Motto, H., & Raskin, I. (1995). Rhizofiltration: The Use of Plants to Remove Heavy Metals from Aqueous Streams. *Environmental science & technology*., 29(5), 1239-1245.
- Roberty , G. (20 de 09 de 2010). *International plant names index*. Obtenido de http://www.ipni.org/ipni/plantNameByVersion.do?id=396213-1&version=1.7&output_format=lsid-metadata&show_history=true
- Truong , P., & Hart, B. (2001). *Vetiver system for wastewater treatment*. . Office of the Royal Development Projects Board: Narong Chomchalow, and Samran Sombatpanit.
- (CEPIS), C. P. (18 de 05 de 2016). *Biblioteca de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental*. Obtenido de Organizacion Panamericana de la Salud. Area de Desarrollo Sostenible y salud Ambiental.: <http://web.archive.org/web/20110111034608/http://www.bvsde.paho.org/cepis/e/cepisacerca.html>
- Ambientum.com. (2015). *Ambientum.com*. Obtenido de El portal profesional del medio ambiente: http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/Dureza_de_aguas.asp#
- Asamblea Constituyente . (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Montecristi .
- Asamblea Nacional. Republica del Ecuador. (2015). *Ministerio del Ambiente, Acuerdo Ministerial N° 028. pag 111*. Quito: Lexis Inteligencia Juridica.
- Asamblea Nacional. Republica del Ecuador. (2015). *Ministerio de Ambiente, acuerdo ministerial 061*. Quito : Corporaciones de estudios y publicaciones.
- Barceló, C. (1985). Fisiología Vegetal. *Universidad Autonoma de Barcelona, pag. 1, 1-5*.
- Barquin, L., Rodriguez , G., & Martinez , A. (2011). Tratabilidad fisicoquímica de lixiviados generados en el tiradero municipal de Guanajuato. *Red de Ingeniería en Saneamiento Ambiental*, 409 - 414.
- Borzacconi, L., Lopez, I., Ohanian, M., & Viñas, M. (1996). Memorias IV seminario-taller Latinoamericano Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales, Brasil. Degradacion Anaerobia de Lixiviado de Relleno Sanitario y Postratamiento Aerobio. . *Universidad del Valle* , 569 - 578.

- Cano, A. L. (2003). *Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: La EDAR de los Gallardos (Almería)*. In *Ecología, manejo y conservación de los humedales* (pp. 99-112). Almería.: Instituto de Estudios Almerinenses.
- Cardenas Sanchez , A. (2012). Evaluacion del desempeño de humedales construidos con plantas nativas tropicales para el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios. *Universidad de Sevilla*, 20 - 26.
- Carpena, R., & Bernal, M. (2007). Calves de la fitorremediacion fitotecnologias para la recuperacion de suelos. *Revista Ecosistemas*. 16 (2), 1-3.
- CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL AGUA. (13 de Octubre de 2016). *Universidad de Salamanca* . Obtenido de http://aulavirtual.usal.es/aulavirtual/demos/simulacion/modulos/curso/uni_03/U3C3S6.htm
- Chaney , R., Angle, J., Broadhurst, C., Peters, C., Tappero, R., & Sparks, D. (2007). . Improved understanding of hyperaccumulation yields commercial phytoextraction and phytomining technologies. *Journal of Environmental Quality*, 36(5), 1429-1443.
- Chitiva, A. (26 de 09 de 2012). *Planeta Verde*. Obtenido de <http://planetaverdeangi.blogspot.com/2012/09/excrecion-en-las-plantas.html>: <http://planetaverdeangi.blogspot.com/2012/09/excrecion-en-las-plantas.html>
- Detrinidad Ruiz, R., Carballo Palma, R., & Centeno, G. (2003). Efecto del tiempo de inmersión en agua en el desarrollo radical y foliar de la gramínea vetiver (*Vetiveria zizanioides* (L) Nash). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 5-14.
- Escudero, C. (2012). Tratamiento de lixiviados provenientes de un vertedero de residuos sólidos urbanos mediante la aplicación de sistemas fisicoquímicos a escala laboratorio. *Universidad de Guanajuato*.
- Fernandez González , B. (1999). Humedales artificiales para depuración de agua residual y humedales naturales. Una oportunidad de aprendizaje cruzado . *Tecnoambiente* 9 (93), 23-27.
- G.C.Sánchez, N.E. Camaño Silvestrini, C.I. Gonzalez, M.C. Pedro, S.E. Caffaratti, H.R. Hadad, & M.A. Maine. (2013). *Rol de macrófitas en la remoción de contaminantes de un lixiviado de relleno sanitario utilizando un wetland construido subsuperficial*. Obtenido de Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET): http://www.aaiq.org.ar/SCongresos/docs/04_025/papers/07e/07e_1535_188.pdf
- Gandhimathi, R., Durai, N., Nidheesh, p., Ramesh , S., & Kannami, S. (2012). Impact of leachate on groundwater pollution due to non-engineered

municipal solid waste landfillsites of erode city. *Iranian Journal of Enviromental Health Science & Engineering.*, 9 - 35 .

- Garcia, L. F. (12 de Septiembre de 2016). *Indicadores de la calidad del Agua*. Obtenido de [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6166/1/INDICADOR ES%20DE%20CALIDAD%20DEL%20AGUA%20EXPOSIC.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6166/1/INDICADOR%20DE%20CALIDAD%20DEL%20AGUA%20EXPOSIC.pdf)
- Giraldo , E. (2001). Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios. *Revista de ingenieria (14)*, 44 - 55.
- Gobierno Autonomo Decentralizado del Canton Zamora. (2014-2019). *Plan de desarrollo y ordenamineto territorial. zamora.*
- Gonzalez Herrera , R., Casares Salazar , R., & Rodriguez Castillo , R. (27 de Octubre de 2002). *Riesgo para la Salud por consumo de agua contaminada por lixiviados de SDFDS*. Obtenido de Gestion inteligente de los recursos naturales: desarrollo y salud (pp. 1-8). FEMISCA: <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IscScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPID ISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=6273&indexSearch=ID>
- Gruntec . (28 de 11 de 2015). *Gruntec Enviromental services* . Obtenido de <http://www.gruentec.com/>
- GUTIÉRREZ-OSORIO, A., Ma. Laura ORTIZ-HERNÁNDEZ, Enrique SÁNCHEZ-SALINAS, & Ma. Magdalena ORTEGA-SILVA. (2009). Tratamiento de Aguas Residuales por medio de la Instalación Secuencial de Humedales Artificiales. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(3), 157-167. Obtenido de Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Henry, J. G., & Gary W. Heinke. (1999). *Ingeniería ambiental*. Mexico: Prentice Hall, ed. (2). pag 607.
- Hernandez, R. (8 de Octubre de 2002). *Libro Botanica online*. Obtenido de Nutricion mineral de las plantas : <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/nutricionmineral/>
- Jabben, R., Ahmad, A., & Iqbal, M. (2009). Phytoremediation of heavy metals: physiological and molecular mechanisms. . *The Botanical Review.*, 75 (4), 339-364.
- Kjeldsen , P., Rooker, A., Barlaz, M., Baun, A., Ledin, A., & Christensen, T. (2002). Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. *Critical reviews in environmental science and technology*, 32 (4), 297-336.
- Kjeldsen, R., Petrović, M, Rooker, A, Baun, A, Ledin, A, & Christensen H. (2005). Present and long-term composition of MSW landfill leachate: A Review Critical Reviews in Environmental Science and Technology 32(4). *The H.W. Wilson Company*, 297-336.
- Kulikowska, D., & Klimiuk, E. (2008). The effect of landfill age on municipal leachate composition.. *Bioresource Technology*, 99 (13), 5981-5985.

- Manjarrez Paba, G., Castro Angulo, I., & Utria Padilla, L. (13 de 07 de 2008). *Bioacumulación de cadmio en ostras de la bahía de Cartagena. Bioaccumulation cadmium in oysters of Cartagena bay*. Obtenido de Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 7(13), 11-20.: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242008000200002
- Méndez, R., Castillo, E, Sauri, M, Quintal C, & Giancoman G. (2004). Tratamiento físico-químico de los lixiviados de un relleno sanitario. *Red Ingeniería Revista Académica*, (8), 155-163.
- Mendoza Salgado, P., & Lopez Trujillo , V. (2004). Estudio de la calidad de lixiviado del relleno sanitario La Esmeralda y su respuesta bajo tratamiento en filtro anaerobio de flujo ascendente piloto . *Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales*, 4-10.
- Ministerio de Coordinación de la Política y Gobiernos Autónomos Descentralizados. (2011). *COOTAD. Código Orgánico de organización Territorial, Autonomía y Descentralización*. Quito: V&M Graficas.
- Morales C, J. (2007). Estudio para remoción de metales pesados en los lixiviados de rellenos sanitarios. *Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales*, 16.
- Mufarrege, M. (2012). Tolerancia y eficiencia de *typha domingensis* en la retención de metales y nutrientes de efluentes industriales. *Tolerancia y eficiencia de typha domingensis en la retención de metales y nutrientes de efluentes industriales*. Santa Fe, Argentina .
- Novelo, R., Borges , E., Riancho, M., Franco , C., Vallejos , G., & Mejia , B. (2004). Tratamiento físico Químico de los Llixiviados de un relleno sanitario. *Ingeniería 8 (2)*, 155 - 163.
- Olguin, E., Hernandez , M., & Sanchez Galvan , G. (2007). contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. *Revista internacion de contaminación ambiental 23 (3)*, 139 - 154.
- Perez Hernandez, E. (2015). Diseño y construcción de un pantano de flujo vertical a escala piloto.
- Prasad, M., & Freitas , M. (2003). Metal hiperacumulación en plantas-biodiversidad prospectando para fitoremediación tecnología. *Journal of Molecular Biology & Genetics.*, 6, 276- 312.
- Red Internacional Vetiver . (22 de 11 de 2015). *The Vetiver Network International* . Obtenido de proven & green environmental solution : <http://www.vetiver.org/g/contaminated-water.htm>
- Renou, S., Givaudan, J. G, Poulain, S, Dirassouyan, F, & M. (ELSEVIER 2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of hazardous materials*, 150, 469-489.

- Rigola, M. ((1990)). *Aplicaciones de los modelos de calidad de las aguas. En el libro Modelos de calidad del Agua. Posibilidades, alternativas y ejemplos de aplicación en España. .* Poch M. Ed. Prensa XXI.
- Rivera-Laguna, E., Luz Barba-Ho, & Patricia Torres-Lozada. (27 de Abril de 2013). *Determinación de la toxicidad de lixiviados provenientes de residuos sólidos urbanos mediante indicadores biológicos.* Obtenido de Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, Grupo de Investigación Estudio y Control de la Contaminación Ambiental, Universidad del Valle - Colombia: <http://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/viewFile/276257/364167>
- Rodriguez, O. (1997). Vetiver. Una planta para el control de la erosión y la protección ambiental. *Sociedad Conservacionista Aragua (edi. 2)*, 2-12.
- Rodriguez, S. A. (2010). La dureza del agua. *La dureza del agua.* Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina: Universidad Tecnológica Nacional.
- Romero-Aguilar, M., Colín-Cruz, A., Sánchez-SalinaS, E., & Ortiz-Hernández, M. A. ((2009)). *Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica.* *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(3) pp. 157-167. Obtenido de Revista internacional de contaminación ambiental: http://scielo.unam.mx/scielo.php?pid=S0188-49992009000300004&script=sci_arttext
- Sánchez García de la Torre, V. (13 de 02 de 2015). *Tolerancia al estrés por cadmio y mercurio en Medicago spp.* Obtenido de Análisis de los mecanismos implicados y potencial aplicación en fitorremediación. Universidad Autonoma de Madrid. pag, 15: <https://repositorio.uam.es/handle/10486/666631?show=full>
- Sancho, J., & Verdú A. (2004). *Prácticas de análisis agrícolas.* Valencia: Ed. UPV.
- Sandoval Alvarado, L. ((2002)). *Evaluación de las condiciones ambientales y sanitarias del relleno sanitario de Mallasa, La Paz, Bolivia. .* La Paz, Bolivia: In CEPIS Informe técnico (No. 597). CEPIS. pag 129.
- Schiopu, A., & Gavrilesu, M. (2010). Options for the treatment and management of municipal landfill leachate: common and specific issues. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 38 (12), 1101 - 1110.
- Shrawan, S., & Tang, W. (2013). Statistical analysis of optimum Fenton oxidation conditions for landfill leachate treatment. *Waste Management* (33), 81 - 88.
- Singh, O., & Jain, R. (2003). Phytoremediation of toxic aromatic pollutants from soil. *Applied microbiology and biotechnology.*, 63(2), 128-135.
- Stevens, W., C. Ulloa , U., A. Pool, & O. M. Montiel . (2001). *Flora de Nicaragua Vol. 85, tomos I, II, III.* Saint Louis, Missouri.: Missouri Botanical Garden Press.

- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1994). *Gestión integral de los residuos sólidos*. McGraw-Hill.
- Torres Lozada, P., Rodríguez, J., Barba, L., Morán, A., & Narváez, J. (2005). Tratamiento anaerobio de lixiviados en reactores UASB. *Ingeniería y Desarrollo*. núm. (18), 50 - 60.
- Vetivercol. (09 de 03 de 2016). *Vetivercolsas.com*. Obtenido de Vetivercol S.A.S.: <http://www.vetivercolsas.com/aplicaciones-del-pasto-vetiver/tratamiento-aguas-residuales-y-rellenos-sanitarios>
- Villaseñor, R., J. L., & Espinosa G, J. (1998). *Catálogo de malezas de México*. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.: Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica.
- Zhao, F.-J., & McGrath, S. (2009). Biofortification and phytoremediation. *Current opinion in plant biology*, 12(3) 373-380.

11 ANEXOS

11.1 Anexo 1. Encuesta a técnico del GAD del cantón Zamora



Fecha:..... Hora:.....

Nombre del técnico:.....

La presente encuesta tiene como finalidad obtener datos con propósitos académicos, que permitan realizar de manera exitosa la elaboración del proyecto de investigación con tema: EVALUACIÓN DEL POTENCIAL FITORREMIADOR DE DOS ESPECIES VEGETALES (*Chrysopogon Zizanioides*. (L.) Roberty), (*Eleocharis elegans*. (Kunth) Roem. & Schult.) EN LA PISCINA DE LIXIVIADOS DEL BOTADERO CONTROLADO DEL CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE”, díguese a contestar las siguientes preguntas, gracias.

1.- ¿Existen análisis realizados a los lixiviados de la piscina de tratamiento y cuáles fueron estos parámetros tomados en cuenta por el Departamento de Gestión Ambiental?

2.- ¿Cuál es el caudal promedio de los lixiviados que ingresan a la piscina de tratamiento?

3.- ¿Qué función técnica cumple la piscina de tratamiento de los lixiviados, de que materiales está compuesta?

4.- ¿Qué tipo de mantenimiento se da a la piscina de tratamiento de los lixiviados y cada que tiempo?

4.- ¿Los lixiviados descargados en la piscina de tratamiento con que especies vegetales son tratados?

5.- ¿Qué nivel de descontaminación tiene el tratamiento que se da a los lixiviados con las especies empleadas actualmente?

Firma del técnico

11.2 Anexo 2. Hoja de registro de lixiviados.



HOJA DE REGISTRO DE LIXIVIADOS					
Técnico		Henry Patricio Chiriboga Guzmán			
Ubicación:		Zamora			
Semana:		del 9 de Mayo al 27 de Julio de 2016			
Fecha		Hora	Caudal de lixiviados promedio 5 Litros	Condiciones Meteorológicas	Caudal saliente
9	Mayo	16:00 a 17:30	14,02	Soleado	13,99
13	Mayo	16:00 a 17:30	14,42	Soleado	14,37
16	Mayo	16:00 a 17:30	13,91	Soleado	13,91
20	Mayo	16:00 a 17:30	6,40	Precipitaciones	6,41
23	Mayo	16:00 a 17:30	6,59	Precipitaciones	6,59
27	Mayo	16:00 a 17:30	14,12	Soleado	13,98
30	Mayo	16:00 a 17:30	5,80	Precipitaciones	5,82
3	Junio	16:00 a 17:30	14,25	Soleado	14,21
8	Junio	16:00 a 17:30	15,30	Soleado	15,30
11	Junio	16:00 a 17:30	14,35	Soleado	14,35
15	Junio	16:00 a 17:30	5,91	Precipitaciones	5,91
18	Junio	16:00 a 17:30	5,48	Precipitaciones	5,48
22	Junio	16:00 a 17:30	13,94	Soleado	13,90
25	Junio	16:00 a 17:30	14,40	Soleado	14,36
27	Junio	16:00 a 17:30	6,45	Precipitaciones	6,46
1	Julio	16:00 a 17:30	5,96	Precipitaciones	5,96
4	Julio	16:00 a 17:30	13,81	Soleado	13,79
8	Julio	16:00 a 17:30	14,53	Soleado	14,52
11	Julio	16:00 a 17:30	14,45	Soleado	14,45
15	Julio	16:00 a 17:30	6,80	Precipitaciones	6,81
18	Julio	16:00 a 17:30	14,28	Soleado	14,26
22	Julio	16:00 a 17:30	6,95	Precipitaciones	6,95
23	Julio	16:00 a 17:30	14,51	Soleado	14,50
Total			256,63		
7 días previos al inicio del proyecto.			97,33		
30 promedios de muestreos total			353,96		
			11,79867		
Caudal Promedio			0,42 l/s		

11.3 Anexo 3. Hoja de registro de las especies. (*Eleocharis Elegans*. (Kunth) Roem. & Schult.)



HOJA DE REGISTRO DE LAS ESPECIES					
Ubicación:		Zamora	Fecha:		Hora: 16:00
Semana:		De la 1 a la 11, del 09 de Mayo al 27 de Julio de 2016			
Especie:		Eleocharis Elegans. (Kunth) Roem. & Schult.			
Semanas	Muestras	Raíz cm	Coloración de las Hojas	Altura cm	Días con lixiviado
1	20 muestras	11,40	Verde	10,95	5
2	20 muestras	12,80	Verde	17,75	12
3	20 muestras	13,90	Verde	24,70	19
4	20 muestras	15,19	Verde	31,05	26
5	20 muestras	16,95	Verde	38,95	34
6	20 muestras	18,15	Verde	47,35	41
7	20 muestras	19,45	Verde	54,65	48
8	20 muestras	21,40	Amarilla	60,60	54
9	20 muestras	23,19	Verde	67,35	61
10	20 muestras	25,20	Amarilla	72,80	68
11	20 muestras	26,95	Verde	78,15	75

11.4 Anexo 3- 1. Hoja de registro de las especies (*Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty)



HOJA DE REGISTRO DE LAS ESPECIES					
Ubicación:		Zamora	Fecha:		Hora: 16:00
Semana:		De la 1 a la 10, del 09 de Mayo al 27 de Julio de 2016			
Especie:		<i>(Chrysopogon zizanioides. (L.) Roberty)</i>			
Semanas	Muestras	Raíz cm	Coloración de las Hojas	Altura cm	Días con lixiviado
1	20 muestras	13,71	Verde	21,00	5
2	20 muestras	15,09	Verde	24,50	12
3	20 muestras	16,49	Verde	27,00	19
4	20 muestras	17,88	Verde	31,40	26
5	20 muestras	19,28	Verde	38,30	34
6	20 muestras	20,67	Verde	46,25	41
7	20 muestras	22,07	Verde	59,35	48
8	20 muestras	23,46	Verde	64,60	54
9	20 muestras	24,86	Verde	71,75	61
10	20 muestras	26,25	Verde	82,30	68
11	20 muestras	27,62	Verde	89,95	75

11.5 Anexo 4. Análisis de Lixiviados; Testigo, Tratamiento 1 y Tratamiento 2, respectivamente.



REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: Ing. Henry Chiriboga
Barrio Benjamín Carrión calle Antonio Reyes
Telf: 0981712552*

Atn: Ing. Henry Chiriboga

Proyecto: Análisis de Lixiviado

Muestra Recibida: 05-sep-16

Tipo de Muestra: 1 Muestra de Lixiviado

Análisis Completado: 14-sep-16

Número reporte Grúntec: 1609033-AG001

Rotulación Muestra:	L.T.01	Limite Máximo Permisible	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	05-sep-16	Tabla 9 Anexo 1, Acuerdo Ministerial 097-A, TULSMA e)	
No. Reporte Grúntec:	1609033-AG001		
Físico Químico:			
Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$ ^(1,2)	2360	N/A	EPA 9050 A / MM-AG/S-02
Dureza Cálctica mg/L *	215	N/A	SM 2340 B/ EPA 6020 / MM-AG-21
Dureza Magnésica mg/L *	126	N/A	SM 2340 B/ EPA 6020 / MM-AG-21
Dureza total mg/L ^(1,2)	341	N/A	SM 2340 B/ EPA 6020 / MM-AG-21
Sólidos Suspendedos Totales mg/L ^(1,2)	141	130	SM 2540 D / MM-AG-05
Aniones y No Metales:			
Amonio mg/L ⁽²⁾	134	N/A	SM 4500 Norg / MM-AG-15
Amonio como Amoniaco mg/L ⁽²⁾	126	N/A	SM 4500 Norg / MM-AG-15
Cloruro mg/L ^(1,2)	176 ^{a)}	1000	EPA 300.1 / MM-AG-37
Sulfato mg/L ^(1,2)	4.5 ^{a)}	1000	EPA 300.1 / MM-AG-37
Parámetros Orgánicos:			
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L ^(1,2)	18	100	SM 5210 B,D / MM-AG-19
Demanda Química de Oxígeno mg/L ^(1,2)	128	200	SM 5220 D / MM-AG-18
Nitrógeno Total Kjeldahl mg/L ^(1,2)	13	50.0	SM 4500 Norg / MM-AG-35
Cadmio mg/L ^(1,2)	<0.0002 ^{b) c) d)}	0.02	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Fósforo mg/L ^(1,2)	1.5 ^{b) c) d)}	10.0	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Hierro mg/L ^(1,2)	28 ^{b) c) d)}	10.0	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Manganeso mg/L ^(1,2)	1.9 ^{b) c) d)}	2.0	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Niquel mg/L ^(1,2)	0.006 ^{b) c) d)}	2.0	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Plomo mg/L ^(1,2)	0.0074 ^{b) c) d)}	0.2	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Potasio mg/L ^(1,2)	151 ^{b) c) d)}	N/A	EPA 6020 B / MM-AG/S-39

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. OAE LE 2C 05-008

⁽²⁾ Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación del SAE

N/A - No Aplica

a) Debido a la naturaleza de la muestra se realiza dilución 5x.

b) La muestra presenta sólidos de color naranja.

c) Debido a la naturaleza de la muestra se realiza dilución 2x.

d) Método de Digestión : EPA 3005a

e) Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

INCERTIDUMBRE (U):

Metales en Agua = 0.30; Demanda Bioquímica de Oxígeno = 0.29; Conductividad en agua = 0.11;

Amonio = 0.12; Demanda Química de Oxígeno = 0.22; Dureza = 0.12; Sólidos Suspendedos Totales = 0.12;

Nitrógeno Total Kjeldahl = 0.12; Aniones = 0.25

Cálculo: C +/- UxC en donde: C=valor medido; U= incertidumbre.

Ing. Isabel Estrella

Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

Página 1 de 3



REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: Ing. Henry Chiriboga
Barrio Benjamín Carrión calle Antonio Reyes
Telf: 0981712552"

Atn: Ing. Henry Chiriboga

Proyecto: Análisis de Lixiviado

Muestra Recibida: 05-sep-16

Tipo de Muestra: 1 Muestra de Lixiviado

Análisis Completado: 14-sep-16

Número reporte Gruentec: 1609033-AG002

Rotulación Muestra:	L.E.01 (E.E)	Límite Máximo Permisible Tabla 9 Anexo 1, Acuerdo Ministerial 097-A, TULSMA e)	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	05-sep-16		
No. Reporte Gruentec:	1609033-AG002		
Físico Químico:			
Conductividad $\mu\text{S/cm}$ ^(1,2)	2100	N/A	EPA 9050 A / MM-AG/S-02
Dureza Cálcica mg/L *	114	N/A	SM 2340 B / EPA 6020 / MM-AG-21
Dureza Magnésica mg/L *	80	N/A	SM 2340 B / EPA 6020 / MM-AG-21
Dureza total mg/L ^(1,2)	194	N/A	SM 2340 B / EPA 6020 / MM-AG-21
Sólidos Suspendedos Totales mg/L ^(1,2)	218	130	SM 2540 D / MM-AG-05
Aniones y No Metales:			
Amonio mg/L ⁽²⁾	114	N/A	SM 4500 Norg / MM-AG-15
Amonio como Amoniaco mg/L ⁽²⁾	108	N/A	SM 4500 Norg / MM-AG-15
Cloruro mg/L ^(1,2)	183 ^{a)}	1000	EPA 300.1 / MM-AG-37
Sulfato mg/L ^(1,2)	3.4 ^{a)}	1000	EPA 300.1 / MM-AG-37
Parámetros Orgánicos:			
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L ^(1,2)	30	100	SM 5210 B,D / MM-AG-19
Demanda Química de Oxígeno mg/L ^(1,2)	132	200	SM 5220 D / MM-AG-18
Nitrógeno Total Kjeldahl mg/L ^(1,2)	69	50.0	SM 4500 Norg / MM-AG-35
Cadmio mg/L ^(1,2)	<0.0002 ^{b) c) d)}	0.02	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Fósforo mg/L ^(1,2)	1.2 ^{b) c) d)}	10.0	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Hierro mg/L ^(1,2)	21 ^{b) c) d)}	10.0	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Manganeso mg/L ^(1,2)	0.66 ^{b) c) d)}	2.0	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Níquel mg/L ^(1,2)	0.005 ^{b) c) d)}	2.0	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Plomo mg/L ^(1,2)	0.0064 ^{b) c) d)}	0.2	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Potasio mg/L ^(1,2)	98 ^{b) c) d)}	N/A	EPA 6020 B / MM-AG/S-39

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. OAE LE 2C 05-008

⁽²⁾ Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación del SAE

N/A - No Aplica

- Debido a la naturaleza de la muestra se realiza dilución 5x.
- La muestra presenta sólidos de color naranja.
- Debido a la naturaleza de la muestra se realiza dilución 2x.
- Método de Digestión : EPA 3005a
- Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

INCERTIDUMBRE (U):

Metales en Agua = 0.30; Demanda Bioquímica de Oxígeno = 0.29; Conductividad en agua = 0.11;

Amonio = 0.12; Demanda Química de Oxígeno = 0.22; Dureza = 0.12; Sólidos Suspendedos Totales = 0.12;

Nitrógeno Total Kjeldahl = 0.12; Aniones = 0.25

Cálculo: C +/- UxC en donde: C=valor medido; U= incertidumbre.



Ing. Isabel Estrella

Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

Página 2 de 3



REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: Ing. Henry Chiriboga
Barrio Benjamín Carrión calle Antonio Reyes
Telf: 0981712552*

Atn: Ing. Henry Chiriboga

Proyecto: Análisis de Lixiviado

Muestra Recibida: 05-sep-16

Tipo de Muestra: 1 Muestra de Lixiviado

Análisis Completado: 14-sep-16

Número reporte Gruentec: 1609033-AG003

Rotulación Muestra:	L.E.02 (C.Z)	Límite Máximo Permisible Tabla 9 Anexo 1, Acuerdo Ministerial 097-A, TULSMA e)	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	05-sep-16		
No. Reporte Gruentec:	1609033-AG003		
Físico Químico:			
Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$ ^(1,2)	1914	N/A	EPA 9050 A / MM-AG/S-02
Dureza Cálcica mg/L *	143	N/A	SM 2340 B/ EPA 6020 / MM-AG-21
Dureza Magnésica mg/L *	87	N/A	SM 2340 B/ EPA 6020 / MM-AG-21
Dureza total mg/L ^(1,2)	230	N/A	SM 2340 B/ EPA 6020 / MM-AG-21
Sólidos Suspendedos Totales mg/L ^(1,2)	28	130	SM 2540 D / MM-AG-05
Aniones y No Metales:			
Amonio mg/L ⁽²⁾	107	N/A	SM 4500 Norg / MM-AG-15
Amonio como Amoniaco mg/L ⁽²⁾	101	N/A	SM 4500 Norg / MM-AG-15
Cloruro mg/L ^(1,2)	141 ^{a)}	1000	EPA 300.1 / MM-AG-37
Sulfato mg/L ^(1,2)	3.0 ^{a)}	1000	EPA 300.1 / MM-AG-37
Parámetros Orgánicos:			
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L ^(1,2)	25	100	SM 5210 B,D / MM-AG-19
Demanda Química de Oxígeno mg/L ^(1,2)	88	200	SM 5220 D / MM-AG-18
Nitrógeno Total Kjeldahl mg/L ^(1,2)	26	50.0	SM 4500 Norg / MM-AG-35
Cadmio mg/L ^(1,2)	<0.0002 ^{b) c) d)}	0.02	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Fósforo mg/L ^(1,2)	0.33 ^{b) c) d)}	10.0	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Hierro mg/L ^(1,2)	3.3 ^{b) c) d)}	10.0	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Manganeso mg/L ^(1,2)	0.76 ^{b) c) d)}	2.0	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Níquel mg/L ^(1,2)	0.004 ^{b) c) d)}	2.0	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Plomo mg/L ^(1,2)	0.0052 ^{b) c) d)}	0.2	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Potasio mg/L ^(1,2)	104 ^{b) c) d)}	N/A	EPA 6020 B / MM-AG/S-39

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. OAE LE 2C 05-008

⁽²⁾ Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación del SAE

N/A - No Aplica

- a) Debido a la naturaleza de la muestra se realiza dilución 5x.
b) La muestra presenta sólidos de color naranja.
c) Debido a la naturaleza de la muestra se realiza dilución 2x.
d) Método de Digestión : EPA 3005a
e) Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

INCERTIDUMBRE (U):

Metales en Agua = 0.30; Demanda Bioquímica de Oxígeno = 0.29; Conductividad en agua = 0.11;

Amonio = 0.12; Demanda Química de Oxígeno = 0.22; Dureza = 0.12; Sólidos Suspendedos Totales = 0.12;

Nitrógeno Total Kjeldahl = 0.12; Aniones = 0.25

Cálculo: C +/- UxC en donde: C=valor medido; U= incertidumbre.



Ing. Isabel Estrella

Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

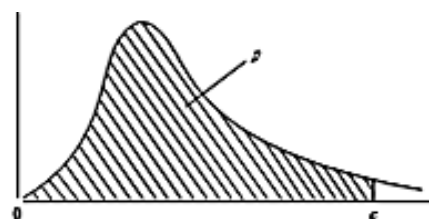
Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

Página 3 de 3

11.6 Anexo 5. Tabla para valores de Chi - cuadrado crítico.

$$p = P(X \leq c)$$



p	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,9	0,95	0,975	0,99	0,995
$\nu=1$	0,00004	0,0002	0,001	0,004	0,016	2,706	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,010	0,020	0,051	0,103	0,211	4,605	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,072	0,115	0,216	0,352	0,584	6,251	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	1,064	7,779	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	1,610	9,236	11,070	12,833	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	2,204	10,645	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	2,833	12,017	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	3,490	13,362	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	4,168	14,684	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,940	4,865	15,987	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	5,578	17,275	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	6,304	18,549	21,026	23,337	26,217	28,300
13	3,565	4,107	5,009	5,892	7,042	19,812	22,362	24,736	27,688	29,819
14	4,075	4,660	5,629	6,571	7,790	21,064	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	8,547	22,307	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	9,312	23,542	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	10,085	24,769	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,390	10,865	25,989	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	11,651	27,204	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,591	10,851	12,443	28,412	31,410	34,170	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	13,240	29,615	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	14,041	30,813	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,260	10,196	11,689	13,091	14,848	32,007	35,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	15,659	33,196	36,415	39,364	42,980	45,559
25	10,520	11,524	13,120	14,611	16,473	34,382	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	17,292	35,563	38,885	41,923	45,642	48,290
27	11,808	12,879	14,573	16,151	18,114	36,741	40,113	43,195	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	18,939	37,916	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	19,768	39,087	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	20,599	40,256	43,773	46,979	50,892	53,672
40	20,707	22,164	24,433	26,509	29,051	51,805	55,758	59,342	63,691	66,766
50	27,991	29,707	32,357	34,764	37,689	63,167	67,505	71,420	76,154	79,490

ν = número de grados de libertad

□

11.7 Anexo 6. Raíces de la especie *Eleocharis elegans* reteniendo solidos suspendidos.



11.8 Anexo 7. Recolección de lixiviados en celda de disposición final del Botadero Controlado.



11.9 Anexo 7-1. Resultados de laboratorio de los lixiviados recolectados en celda de disposición final del Botadero Controlado.



REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: Ing. Henry Patricio Chiriboga
Barrio Benjamin Carrión calle Antonio Reyes
Telf:0981712552

Atn: Ing. Henry Patricio Chiriboga

Proyecto: Análisis de Lixiviado

Muestra Recibida: 27-oct-16

Tipo de Muestra: 1 Muestra de Lixiviado

Análisis Completado: 11-nov-16

Número reporte Gruntec: 1610420-LIX001

Rotulación Muestra:	LBC	Límite Máximo Permisible	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	27-oct-16	Tabla 9 Anexo 1, Acuerdo Ministerial 097-A, TULSMA d)	
No. Reporte Gruntec:	1610420-LIX001		
Físico Químico:			
pH ^(1,2)	8.6	6 - 9	SM 4500 H / MM-AG/S-01
Conductividad μ S/cm ^(1,2)	11180	N/A	EPA 9050 A / MM-AG/S-02
Sólidos Suspendidos Totales mg/L ^(1,2)	1303	130	SM 2540 D / MM-AG-05
Aniones y No Metales:			
Amonio mg/L ^(1,2)	650*	N/A	SM 4500 Norg / MM-AG-15
Amonio expresado como Nitrógeno mg/L ^(1,2)	505*	30	SM 4500 Norg / MM-AG-15
Cloruro mg/L ^(1,2)	955 ^{a)}	1000	EPA 300.1 / MM-AG-37
Sulfato mg/L ^(1,2)	88 ^{a)}	1000	EPA 300.1 / MM-AG-37
Parámetros Orgánicos:			
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L ^(1,2)	576	100	SM 5210 B,D / MM-AG-19
Demanda Química de Oxígeno mg/L ^(1,2)	2400	200	SM 5220 D / MM-AG-18
Nitrógeno Total Kjeldahl mg/L ^(1,2)	690*	50.0	SM 4500 Norg / MM-AG-35
Metales totales:			
Cadmio mg/L ^(1,2)	0.0017 ^{b) c)}	0.02	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Fósforo mg/L ^(1,2)	12* ^{b) c)}	10.0	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Hierro mg/L ^(1,2)	37 ^{b) c)}	10.0	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Manganeso mg/L ^(1,2)	5.7 ^{b) c)}	2.0	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Níquel mg/L ^(1,2)	0.072 ^{b) c)}	2.0	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Plomo mg/L ^(1,2)	0.041 ^{b) c)}	0.2	EPA 6020 B / MM-AG/S-39

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. OAE LE 2C 05-008

⁽²⁾ Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación del SAE

N/A - No Aplica

a) Debido a la naturaleza de la muestra se realiza dilución 25x.

b) Debido a la naturaleza de la muestra se realiza dilución 11x.

c) Método de Digestión : EPA 3015a

d) Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

INCERTIDUMBRE (U) para pH = 0.2 unidades

INCERTIDUMBRE (U):

Metales en Agua = 0.30; Demanda Bioquímica de Oxígeno = 0.29;

Conductividad en agua = 0.11; Amonio = 0.12; Demanda Química de Oxígeno = 0.22;

Sólidos Suspendidos Totales = 0.12; Nitrógeno Total Kjeldahl = 0.12; Aniones = 0.25

Cálculo: C +/- UxC en donde: C=valor medido; U= incertidumbre.

Ing. Isabel Estrella

Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

Página 1 de 1

11.10 Anexo 7-2. Resultados de lixiviados recolectados de la celda de disposición final del Botadero Controlado

PARÁMETROS	Lixiviado B. C.	A.M. 028	Cumple / No cumple
Solidos Suspendidos Totales	1303	130	No cumple
Amonio mg/L	650	N/A	N/A
Amonio como amoniaco mg/L	505	30	No cumple
Cloruro mg/L	955	1000	Cumple
Sulfato mg/L	88	1000	Cumple
Demanda bioquímica de Oxigeno mg/L	576	100	No cumple
Demanda química de oxigeno mg/L	2400	200	No cumple
Nitrógeno total kjeldahl mg/L	690	50.0	No cumple
Cadmio	0,0017	0,02	Cumple
Fosforo	12	10	No cumple
Hierro	37	10	No cumple
Manganeso	5,7	2	No cumple
Níquel	0,72	2,0	Cumple
Plomo	0,041	0,2	Cumple
Ph	8,6	6-9	Cumple

11.11 Anexo 8. Búsqueda de lixiviados en el botadero controlado.

En el siguiente registro fotográfico se evidencia las fugas existentes en el Botadero controlado de la ciudad de Zamora. Las imágenes superiores se identifican como el punto de mayor lixiviación, siendo lixiviados jóvenes según la edad de formación cerca de 5 años, la imagen inferior muestra el segundo punto de lixiviados.

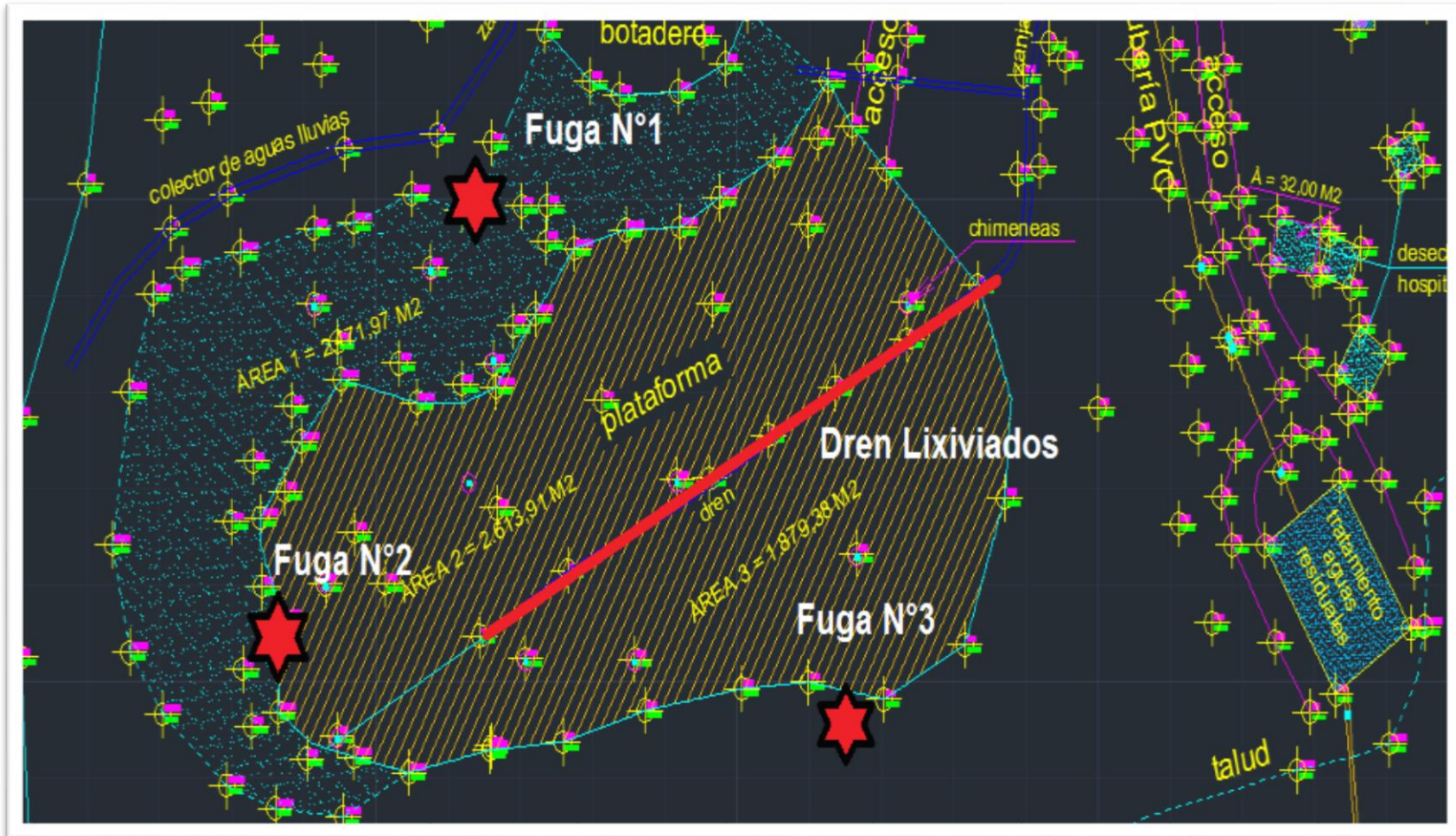


En las siguientes imágenes se muestra el lixiviado más antiguo de la primera celda de disposición final creada hace 20 años. En las imágenes se evidencia la acumulación de los lixiviados (*fotografía superior*) antes de caer por un talud hacia una estructura en construcción que se encuentra a pocos metros del río Zamora.

Fotografía inferior



11.12 Anexo 8-1. Localización de las fugas observadas en el mapa del Botadero Controlado.



Fuente: GAD Zamora, 2016.

12 ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
1 TITULO	1
2 RESUMEN	2
2.1 SUMMARY	3
3 INTRODUCCIÓN	4
4 REVISIÓN DE LITERATURA	6
4.1 Saneamiento Ambiental en el Ecuador	6
4.1.1 Desechos Sólidos.	7
4.1.2 Relleno sanitario.	8
4.1.3 Características generales de los lixiviados de un relleno sanitario.	9
4.2 La fitorremediación	16
4.2.1 Concepto.....	16
4.2.2 Mecanismos de la fitorremediación.....	17
4.2.3 Fases de fitorremediación.....	18
4.2.4 Ventajas y desventajas de la fitorremediación.	19
4.3 Especies potencialmente fitorremediadoras.	21
4.3.1 Chrysopogon zizanioides (L.) Roberty.	21
4.3.2 Eleocharis elegans (Kunth) Roem. & Schult.).....	22
4.4 Resultados de investigaciones en la temática	23

4.4.1	Utilización de <i>Chrysopogon zizanioides</i> . (L.) Roberty, en aguas residuales domésticas industriales. (SAS, 2016).	23
4.4.2	Efectos del <i>Chrysopogon zizanioides</i> . (L.) Roberty para remover sustancias tóxicas en el lixiviado de basuras urbanas. (SAS, 2016).	24
4.4.3	Absorción de metales pesados y purificación de aguas. (Red Internacional Vetiver, 2015).	24
4.4.4	Ensayo hidropónico utilizando una mezcla de aguas negras (del inodoro, tanque séptico) y aguas grises (de la cocina y baño). (Truong & Hart, 2001).	24
4.4.5	Tolerancia y eficiencia de (<i>Typha domingensis</i> . Pers) en la retención de metales y nutrientes de efluentes industriales. (Mufarrege, 2012).	25
4.4.6	Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. (Romero-Aguilar, Colin-cruz, Sanchez Salinas, E., & Ortiz- Hernández , 2009).	25
4.4.7	Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: la EDAR de los gallardos (Almería). (Cano, 2003).	26
4.5	Marco Legal	26
4.5.1	Constitución de la República del Ecuador.	26
4.6	Acuerdo ministerial 061.	27
5	MATERIALES Y MÉTODOS	31
5.1	Materiales	31
5.1.1	Materiales de campo.	31
5.1.2	Herramientas	31
5.1.3	Materiales instalación y construcción.	31
5.1.4	Equipos	32
5.1.5	Materiales de oficina	32
5.2	Métodos	32
5.2.1	Ubicación política y geográfica del área de estudio.	32
5.3	Aspectos biofísicos y climáticos	35
5.3.1	Topografía.	35
5.3.2	Suelo.	35

5.3.3	Hidrología.....	35
5.3.4	Flora y fauna.	35
5.3.5	Clima.....	36
5.4	Tipo de investigación	37
5.4.1	Distribución de tratamientos.....	37
5.4.2	Variables de estudio.	37
5.5	Hipótesis	38
5.5.1	Diseño experimental.	38
5.6	Metodología para diagnosticar el estado actual de los lixiviados generados en los procesos de manejo de los residuos del botadero controlado del cantón Zamora.....	39
5.6.1	Recopilación de información secundaria.....	39
5.6.2	Encuesta a técnicos del botadero controlado.	39
5.7	Metodología para evaluar el potencial fitorremediador de las especies vegetales (<i>Chrysopogon zizanioides</i> . (L.) Roberty) y (<i>Eleocharis elegans</i> . (Kunth) Roem. & Schult.) en el tratamiento de lixiviados generados en el botadero controlado del cantón Zamora.....	40
5.7.1	Selección del sitio donde se ubicarán las piscinas experimentales y sus pasos de construcción.....	40
5.7.1	Especies Vegetales empleadas.	46
5.7.2	Caudal de los lixiviados.....	48
5.7.3	Procedimiento para recolección de las muestras.....	48
5.7.4	Parámetros analizados en el Botadero Controlado del Cantón Zamora. ...	51
5.7.5	Desarrollo del modelo estadístico.	52
6	RESULTADOS	53
6.1	Recopilación de información secundaria.....	53
6.2	Encuesta a técnico del Departamento de Gestión Ambiental encargado del botadero controlado.	54
6.3	Resultados del segundo objetivo.	55
6.3.1	Especies empleadas	55
6.3.2	Monitoreo y control	56
6.3.3	Caudal.....	58

6.3.4	Resultados de los parámetros analizados en el laboratorio, realizados a los lixiviados sin tratar (Testigo), tratamiento uno (T1) y tratamiento dos (T2).....	58
6.3.5	Desarrollo del modelo estadístico no paramétrico chi cuadrado para los parámetros analizados.	62
7	DISCUSIÓN	69
7.1	Para los resultados del primer objetivo	69
7.2	Para los resultados del segundo objetivo.....	70
8	CONCLUSIONES	78
9	RECOMENDACIONES	80
10.	BIBLIOGRAFÍA	81
11	ANEXOS	87
11.1	Anexo 1. Encuesta a técnico del GAD del cantón Zamora	87
11.2	Anexo 2. Hoja de registro de lixiviados.	89
11.3	Anexo 3. Hoja de registro de las especies. (<i>Eleocharis Elegans</i> . (Kunth) Roem. & Schult.)	90
11.4	Anexo 3- 1. Hoja de registro de las especies (<i>Chrysopogon zizanioides</i> . (L.) Roberty)	91
11.5	Anexo 4. Análisis de Lixiviados; Testigo, Tratamiento 1 y Tratamiento 2, respectivamente.	92
11.6	Anexo 5. Tabla para valores de Chi - cuadrado crítico.	95
11.7	Anexo 6. Raíces de la especie <i>Eleocharis elegans</i> reteniendo sólidos suspendidos.	96
11.8	Anexo 7. Recolección de lixiviados en celda de disposición final del Botadero Controlado.	97
11.9	Anexo 7-1. Resultados de laboratorio de los lixiviados recolectados en celda de disposición final del Botadero Controlado.....	98
11.10	Anexo 7-2. Resultados de lixiviados recolectados de la celda de disposición final del Botadero Controlado	99
11.11	Anexo 8. Búsqueda de lixiviados en el botadero controlado.....	100
11.12	Anexo 8-1. Localización de las fugas observadas en el mapa del Botadero Controlado.....	102
12	Índice	103

Índice de Tablas pág.

Tabla 1. <i>Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce</i>	28
Tabla 2. Envases proporcionados por la empresa Gruntec.	50
Tabla 3. Análisis realizados en los laboratorios de la EMAPAZ año 2012.	55
Tabla 4. Parámetros analizados en laboratorio.....	59
Tabla 5. Contingencia con las frecuencias observadas en los tratamientos uno y dos.....	63
Tabla 6. Resultados de las frecuencias observadas.....	64
Tabla 7. Frecuencias esperadas.....	65

Índice de Cuadros pág.

Cuadro 1. Parámetros analizados en el botadero controlado.....	51
-----------------------------------------------------------------------	----

Índice de Figuras pág.

Figura 1. Plano de diseño experimental.....	41
Figura 2. Diseño del interior de las piscinas experimentales.....	45
Figura 3. Altura de hojas de la especie <i>Eleocharis elegans</i> , (Kunth) Roem. & Schult.	56
Figura 4. Crecimiento de raíz de la especie <i>Eleocharis elegans</i> , (Kunth) Roem. & Schult.	57
Figura 5. Crecimiento de hojas de la especie <i>Crhysopogon zizanoides</i> . (L) Roberty.....	57
Figura 6. Crecimiento de la raíz de la especie <i>Crhysopogon zizanoides</i> . (L) Roberty.....	58
Figura 7. Parámetro Sólidos Suspendidos Totales analizado.....	60
Figura 8. Parámetro Nitrógeno Amoniacal (amonio como Amoniac).....	60
Figura 9. Parámetro Nitrógeno Total Kjeldahl.....	61
Figura 10. Parámetro Hierro analizado.....	62

Índice de Fotografías pág.

Fotografía 1. Selección del sitio para la construcción de las piscinas experimentales.	40
Fotografía 2. Collage de la construcción de las piscinas experimentales.....	42
Fotografía 3. Cubierta de las piscinas experimentales.....	43
Fotografía 4. Colocación de material grueso.....	44
Fotografía 5. Colocación del material mediano grava.	44
Fotografía 6. Colocación de capa de tierra arcillo-limosa.....	45
Fotografía 7. Collage, pasó de los lixiviados a las piscinas experimentales.....	46

Fotografía 8. Especie <i>Chrysopogon zizanioides</i> . (L.) Roberty, izquierda y <i>Eleocharis elegans</i> . (Kunth) Roem. & Schult., derecha.....	47
Fotografía 9. Toma de muestra, medición de la temperatura y pH.	49
Fotografía 10. Muestras listas para el traslado a la ciudad de Yantzaza.	50
Fotografía 11. Maquinaria empleada en la compactación y cubrimiento de los residuos orgánicos e inorgánicos.	53
Fotografía 12. Vista del relleno sanitario, sus chimeneas de aireación y eliminación de gases.	54

<u>Índice de Mapa</u>	<u>pág.</u>
-----------------------	-------------

Mapa. 1. Mapa de ubicación del botadero controlado del cantón Zamora.	34
-----------------------------------------------------------------------------------	----