



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

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

SEDE ZAMORA

**TRATAMIENTO DE LOS LIXIVIADOS DEL
RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN YANTZAZA
MEDIANTE EL PROCESO DE
FITORREMEDIACIÓN CON LAS ESPECIES
PASTO ALEMAN (*Echinochloa polystachya*) Y
JACINTO DE AGUA (*Eichhornia crassipes*).**

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

Directora:

Ing. María Luisa Díaz López

AUTOR

Ángel René Fernández Suqui

Zamora – Ecuador

2014



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

PLAN DE CONTINGENCIA

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

CERTIFICACION

Señor Doctor.
Pablo Cabrera Ordoñez, Mg.Sc.
**COORDINADOR GENERAL DEL PLAN DE CONTINGENCIA DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.**
Loja.

De mi especial consideración.

Es muy grato dirigirme a usted para expresarle un atento saludo, augurándole éxitos en tan altas funciones.

En calidad de Directora del Trabajo de Titulación denominado: Tratamiento de los lixiviados del relleno sanitario del cantón Yantzaza mediante el proceso de fitorremediación con las especies pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) y jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), de autoría del señor Ángel Rene Fernández Suqui, de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente del Plan de Contingencia de la Universidad Nacional de Loja, con Sede en Zamora, certifico que se ha realizado dentro del cronograma aprobado, por lo que autorizo su presentación y publicación.

Zamora, 25 de Septiembre de 2014.

Atentamente,

Ing. María Luisa Díaz López, Mg.Sc.
DIRECTORA DE TESIS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
PLAN DE CONTINGENCIA

SEDE ZAMORA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

AUTORIA

Yo, Ángel Rene Fernández Suqui, 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: Ángel Rene Fernández Suqui

FIRMA:

CÉDULA: 1900615004

FECHA: Loja, 28 de Noviembre del 2014

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

Yo, Ángel Rene Fernández Suqui. Declaro ser autor de la Tesis titulada "TRATAMIENTO DE LOS LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN YANTZAZA MEDIANTE EL PROCESO DE FITORREMEDIACIÓN CON LAS ESPECIES PASTO ALEMÁN (*Echinochloa polystachya*) Y JACINTO DE AGUA (*Eichhornia crassipes*)". Como requisito para optar al 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 RDI, 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 28 días del mes de noviembre del dos mil catorce, firma el autor:

AUTOR: Ángel Rene Fernández Suqui

FIRMA: 

CÉDULA: 1900615004

DIRECCIÓN: Calles Manchinatza y Héroes del Cenepa, Yantzaza

CORREO ELECTRÓNICO: angelrfs@hotmail.es

TELÉFONO: 073038307 CELULAR: 0986742185

DATOS COMPLEMENTARIOS

DIRECTOR DE TESIS: Ing. María Luisa Díaz, Mg. Sc.

TRIBUNAL DE GRADO:

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

Ing. Galo Ramos Campoverde, Mg.Sc. (Vocal)

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

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios quien es guía de mi vida, fuente de inspiración, amigo inseparable. Gracias por darme la motivación, facultad para aprender y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres: María Suqui y Manuel Fernández por su interminable apoyo en todo momento de mi vida, por sus enseñanzas y consejos, y por su gran paciencia y perdón ante mis constantes errores. A mis herman@s: Fredy, Raúl, Martha y Edwin, quienes me han permitido y han sido el pilar fundamental para mi superación y alcance de la meta propuesta.

A todos mis amig@s con quienes compartí grandes o pequeñas experiencias que influyeron en mí, para construirme como profesional; por su grandeza de amabilidad y lucha por salir adelante.

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 ingeniera en Manejo y Conservación del Medio Ambiente que con sus valiosos aportes enriquecieron mis conocimientos, encaminaron mi formación personal y apoyaron incondicionalmente el desarrollo de este trabajo. De manera especial agradezco a la Directora de esta Tesis, Ing. María Luisa Díaz y al Coordinador de la Carrera, Ing. Osmani Eduardo López.

Al Municipio del Cantón Yantzaza y la Dirección de Desarrollo Integral Comunitario (DDIC), de carácter especial al director del departamento y a la técnica del relleno Sanitario: Ing. Manuel Agreda, Ing. María Medina y otros empleados del relleno sanitario por su valiosísima apertura y colaboración en el desarrollo del presente trabajo.

El agradecimiento especial a mis familiares y seres queridos: padres, hermanos; a mis compañer@s y amig@s, y a todos quienes de una u otra forma contribuyeron con su incondicional ayuda.

A todos atentamente,

Gracias.

Ángel René Fernández Suqui.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Pág.
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
ÍNDICE GENERAL	vii
A. TÍTULO	1
B. RESUMEN	2
C. INTRODUCCIÓN	6
D. REVISIÓN DE LITERATURA	8
1. Fitorremediación	8
1.1. Conceptos	8
1.2. Mecanismos de Fitorremediación	9
1.2.1 Fitoestabilización	9
1.2.2 Fitovolatilización	9
1.2.3 Rizofiltración	9
1.2.4 Fitodegradación	9
1.2.5 Fitoestimulación	10
1.3 Fases de la fitorremediación	11

1.3.1	Absorción	11
1.3.2	Excreción.....	11
1.3.3	Desintoxicación de contaminantes	11
1.4	Ventajas y desventajas de la fitorremediación.	12
2	Características Generales de las Especies Vegetales a utilizar.....	13
2.1	Pasto alemán (<i>Echinochloa polystachya</i>).....	13
2.2	Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>).....	16
2.2.1	Regulación	16
2.2.2	Crecimiento vegetativo	16
2.2.3	Florecimiento y Fructificación	17
2.2.4	Mecanismo de dispersión.....	17
2.2.5	Hábitat	17
3	Relleno sanitario.....	18
3.1	Concepto	18
3.2	Generación de líquidos y gases	19
3.3	Líquido lixiviado o percolado	19
3.4	Características generales del lixiviado de un relleno sanitario.	20
3.5	Cantidad de las aguas lixiviadas	20
3.6	Tratamiento de lixiviados.....	23
4	Marco Legal.....	23
4.1	Constitución de la República del Ecuador.	23
4.2	Ley de Gestión Ambiental	25
4.3	Ley del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA)	25
5	Estudios realizados en fitorremediación.	27

5.1	Respuestas Fisiológicas de tres especies vegetales nativas sometidas a Tratamiento con Lixiviados de Relleno Sanitario.	27
5.2	Bioabsorción de Metales Pesados por Salvinia Natans de los Lixiviados del Relleno Sanitario Combeima de Ibagué.	28
5.3	Bioensayo con macrofitas acuáticas para el tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Pichacay.	28
E.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
1.	MATERIALES.....	33
1.1.	Materiales de campo	33
1.2.	Materiales de oficina.....	33
2.	MÉTODOS	34
2.1.	Ubicación Política y Geográfica del Área de estudio.	34
2.2.	Aspectos biofísicos y climáticos	36
2.2.1.	Aspectos biofísicos.....	36
2.2.2.	Clima	37
2.3.	Tipo de investigación.....	38
2.4.	Distribución de tratamientos	38
2.5.	Variables en estudio	38
2.6.	Hipótesis.....	39
2.7.	Diseño experimental.....	39
2.8.	Metodología para caracterizar el tratamiento actual de los lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Yantzaza.	39
2.9.	Metodología para determinar el grado de eficiencia de las especies para el tratamiento de lixiviados generados en la celda provisional cerrada del relleno sanitario del cantón Yantzaza.	40
2.9.1	Selección del sitio y los pasos para la construcción de las piscinas experimentales.....	41

2.9.2	Adquisición, aclimatación, siembra y replante de las especies vegetales seleccionadas.	48
2.9.3	Monitoreo y control.....	50
2.9.4	Tipo de envase y cantidad de muestra.....	50
2.9.5	Recolección de la muestra del lixiviado.....	52
2.9.6	Preparación y traslado de la muestra para su análisis.....	53
2.9.7	Parámetros de análisis que se realizó a los lixiviados.....	54
2.9.8	Pasos para desarrollar el modelo estadístico.....	55
2.9.9	Análisis de resultado de laboratorio.....	55
2.10.	Metodología para elaborar una propuesta, para mejorar el manejo de lixiviados en el relleno sanitario del cantón Yantzaza.	56
F.	RESULTADOS	57
1.	Caracterizar el proceso del tratamiento actual a los lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Yantzaza.....	57
1.1.	Resultados de la caracterización a los lixiviados del relleno sanitario realizada por el Municipio.....	60
2.	Determinar el grado de eficiencia de las especies para el tratamiento de lixiviados generados en la celda provisional cerrada del relleno sanitario del cantón Yantzaza.	64
2.1	Resultados de los análisis de laboratorio realizado a los lixiviados sin tratar, tratamiento uno (T1) y tratamiento dos (T2).	64
2.2	Desarrollo del método estadístico no paramétrico “Chi- cuadrado (X2)” para los parámetros establecidos:	73
3.	Elaborar una propuesta para mejorar el manejo de lixiviados en el relleno sanitario del cantón Yantzaza, con la especie vegetal que tenga mayor potencial fitorremediador.....	80

3.1	Medida 1. Ampliación y siembra del jacinto de agua para el sistema de tratamiento final a los lixiviados generados en el relleno sanitario.	81
3.2	Medida 2. Realizar el mantenimiento a las instalaciones que conducen los lixiviados hacia la laguna de tratamiento.....	83
3.3	Medida 3. Capacitación al personal obrero del relleno sanitario sobre el manejo de los lixiviados.....	85
3.4	Medida 4. Implementación de una estrategia para el manejo correcto de la celda provisional cerrada del relleno.	86
G.	DISCUSIÓN.....	89
1.	Para los resultados del primer objetivo.....	89
2.	Para los resultados del segundo objetivo específico	93
3.	Para los resultados del tercer objetivo específico.....	101
H.	CONCLUSIONES	102
I.	RECOMENDACIONES.....	104
J.	BIBLIOGRAFÍA.....	106
K.	ANEXOS.....	111

ÍNDICE DE CUADROS

Nro.	Descripción	Pág.
Cuadro 1.	Ventajas y desventajas de la fitorremediación.....	12
Cuadro 2.	Características del pasto alemán (<i>Echinochloa polystachya</i>).....	14
Cuadro 3.	Composición típica de los lixiviados de rellenos sanitarios.....	20
Cuadro 4.	Producción de aguas lixiviadas en un relleno sanitario	21
Cuadro 5.	Características de los frascos utilizados para el muestreo	51
Cuadro 6.	Parámetros establecidos para el análisis de los lixiviados	54
Cuadro 7.	Caracterización de los resultados de los análisis realizados por el Municipio a los lixiviados del relleno sanitario	61
Cuadro 8.	Resultado de los análisis a los lixiviados sin tratar, tratamiento uno (T1) y tratamiento dos (T2).....	65
Cuadro 9.	Tabla de contingencia con las frecuencias observadas en los tratamientos uno y dos.....	75
Cuadro 10.	Resultados de la suma de las frecuencias observadas	76
Cuadro 11.	Tabla de contingencia con las frecuencias esperadas	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Nro.	Descripción	Pág.
Figura 1.	Mecanismos de Fitorremediación	10
Figura 2.	Morfología del pasto alemán (<i>Echinochloa polystachya</i>)	15
Figura 3.	Morfología del jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>).....	18
Figura 4.	Ubicación geográfica del área de estudio.	35
Figura 5.	Diseño del proceso experimental construido.....	42
Figura 6.	Proceso para el tratamiento de los lixiviados en las piscinas experimentales.....	47
Figura 7.	Resultados del parámetro pH analizado en los tratamientos	66
Figura 8.	Resultados del parámetro Dureza Total analizado en los tratamientos	66
Figura 9.	Resultados del parámetro Sólidos Totales analizado en los tratamientos	67
Figura 10.	Resultados obtenidos del parámetro Alcalinidad analizado en los tratamientos	67
Figura 11.	Resultados obtenidos del parámetro Cloruros analizado en los tratamientos	68
Figura 12.	Resultados del parámetro DBO analizado en los tratamientos	69
Figura 13.	Resultados del parámetro DQO analizado en los tratamientos.....	70
Figura 14.	Resultados obtenidos del parámetro Fenoles analizado en los tratamientos	70
Figura 15.	Resultados del parámetro Nitrógeno Total analizado en los tratamientos.	71
Figura 16.	Resultados del parámetro Hierro analizado en los tratamientos	71
Figura 17.	Resultados obtenidos del parámetro Mercurio analizado en los tratamientos	72
Figura 18.	Resultados del parámetro Plomo	72
Figura 19.	Resultados del parámetro Sodio	73

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Nro.	Descripción	Pág.
Fotografía 1.	Lugar donde se construyeron las piscinas experimentales	41
Fotografía 2.	Piscinas experimentales construidas.....	43
Fotografía 3.	Colocación del plástico sobre las piscinas experimentales.	43
Fotografía 4.	Colocación de piedra mediana sobre la base de la piscina.	44
Fotografía 5.	Colocación de la grava triturada en el fondo de las piscinas experimentales.....	44
Fotografía 6.	Colocación de una capa de tierra en cada una de las piscinas experimentales.....	45
Fotografía 7.	Fotos de la instalación que se realizó para captar el lixiviado y trasladar hacia las piscinas experimentales.	46
Fotografía 8.	Vista de las piscinas experimentales y la cubierta, construidas para realizar la investigación.....	48
Fotografía 9.	Jacintos de agua en el proceso de aclimatación	49
Fotografía 10.	Sembrado de las respectivas plantas en cada piscina experimental construida	50
Fotografía 11.	Frascos utilizados para la recolección de las muestras de los lixiviados	51
Fotografía 12.	Recolección de la muestra del lixiviado sin tratar	52
Fotografía 13.	Recolección de la muestra dos.....	52
Fotografía 14.	Recolección de la muestra tres desde la piscina experimental con Jacinto de agua	53
Fotografía 15.	Observamos la celda de disposición provisional cerrada	57
Fotografía 16.	Vista panorámica de la celda de disposición final de los desechos sólidos.....	58
Fotografía 17.	Filtro percolador para el pretratamiento de los lixiviados.....	59
Fotografía 18.	Laguna de tratamiento de los lixiviados.....	60

ÍNDICE DE ANEXOS

Nro.	Descripción	Pág.
Anexo 1.	Modelo de Encuesta aplicada al director del relleno sanitario.....	111
Anexo 2.	Manejo de los lixiviados en el relleno sanitario	113
Anexo 3.	Conjunto de fotografías del desarrollo experimental de la investigación	114
Anexo 4.	Mapa de ubicación geográfica del Relleno Sanitario del Cantón Yantzaza	116
Anexo 5.	Diseño del proceso para construir las piscinas experimentales	117
Anexo 6.	Resultados de los análisis del lixiviado sin tratar	119
Anexo 7.	Resultados de los análisis al lixiviado del tratamiento uno (T1)	120
Anexo 8.	Resultados de los análisis al lixiviado del tratamiento dos (T2)	121
Anexo 9.	Materiales utilizados para la recolección y envío de las muestras para su análisis en laboratorio	122
Anexo 10.	Determinación del caudal de lixiviados del relleno sanitario	123
Anexo 11.	Determinación del caudal de lixiviado que ingreso a las piscinas experimentales.....	124
Anexo 12.	Reporte general de los resultados del análisis a los lixiviados del relleno sanitario realizado por el Municipio	125
Anexo 13.	Tabla para valores de Chi-cuadrado (χ^2) crítico.....	126
Anexo 14.	Implementación de una cubierta para la laguna de tratamiento final de los lixiviados	127

A. TÍTULO

**TRATAMIENTO DE LOS LIXIVIADOS DEL RELLENO
SANITARIO DEL CANTÓN YANTZAZA MEDIANTE EL
PROCESO DE FITORREMEDIACIÓN CON LAS ESPECIES
PASTO ALEMÁN (*Echinochloa polystachya*) Y JACINTO
DE AGUA (*Eichhornia crassipes*)**

B. RESUMEN

El relleno sanitario de la ciudad de Yantzaza, se ubica en la parroquia Chimbutza, cantón Yantzaza, Provincia de Zamora Chinchipe. Comprende una área de 4,8 has para la disposición final de los residuos sólidos, tiene dos celdas: celda provisional actualmente cerrada y, celda de disposición final definitiva. Desde su funcionamiento viene generando los lixiviados, que son tratados previamente mediante filtros percoladores y finalmente en una laguna de tratamiento biológico por el proceso de fitorremediación con el pasto alemán (*Echinochloa polystachya*). El propósito principal de esta investigación fue Evaluar la capacidad de tratamiento de descontaminación en los lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Yantzaza mediante el proceso de fitorremediación con la especie pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) y jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). Para esto primero se caracterizó trece parámetros de los resultados del último análisis realizado a los lixiviados generados en el relleno sanitario, luego se investigó el mayor potencial fitorremediador entre las especies vegetales pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) y jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para el tratamiento de los lixiviados generados desde la fosa provisional del relleno sanitario, mediante la construcción de dos piscinas experimentales a cuales se ingresó un caudal representativo (0,01 lts/sg) del total del lixiviado generado en la fosa, y se sembró las respectivas especies vegetales. El tiempo establecido para el proceso de la investigación fue de cuatro meses, al final del tercer mes se fijó un tiempo de ingreso y retención de los lixiviados en las piscinas experimentales, se recolecto tres muestras: la primera se cogió del lixiviado antes de ingresar a las piscinas experimentales, la segunda desde los lixiviados que salen de la piscina experimental con pasto alemán (*Echinochloa Polystachya*) y la tercera se cogió de los lixiviados tratados en la piscina experimental con jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). Los resultados obtenidos del laboratorio se procesaron mediante el modelo estadístico Chi cuadrado (X^2), donde se obtuvo que el jacinto de agua tiene mayor potencial fitorremediador frente al

pasto alemán entre los catorce parámetros analizados en el lixiviado objeto de este estudio. Cuatro parámetros (Cloruros, Nitrógeno Total, Sólidos totales y Sodio) han sido tratados con mayor resultado por el jacinto de agua y tres parámetros (Demanda Química de Oxígeno, Hierro y Dureza Total) han sido tratados normalmente con el pasto alemán, tres parámetros (Alcalinidad, Demanda Bioquímica de Oxígeno y potencial de Hidrógeno) no han tenido efecto de fitorremediación en las dos piscinas experimentales, y dos parámetros (Mercurio y Plomo) no tuvieron variación en los resultados de las tres muestras; para el parámetro Sulfatos la asimilación fue igual en los tratamientos y para el parámetro Fenoles no hubo asimilación, pues su concentración aumentó en los tratamientos. Finalmente se elaboró una propuesta para mejorar el tratamiento final de los lixiviados con la especie vegetal jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

SUMMARY

The landfill of Yantzaza city is located in the Chimbutza parish, Yantzaza Canton, Province of Zamora Chinchipe. It contains an area of 4.8 hectares for the final disposal of solid waste, it has two cells: provisional cell is currently closed and the final disposal cell. Since its operation is generating leachate that are pretreated by trickling filters and finally, in a lagoon by the biological treatment process phytoremediation with German grass (*Echinochloa polystachya*). The main purpose of this research was to evaluate the treatment capacity of decontamination in the leachate generated in the landfill Yantzaza Canton through the process of phytoremediation with the species German grass (*Echinochloa polystachya*) and hyacinth water (*Eichhornia crassipes*). For this, first, thirteen parameters was characterized of the results of the latest analysis of the leachate generated in the landfill, then the largest phytoremediation potential was investigated between vegetable species German grass (*Echinochloa polystachya*) and water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) for the treatment of leachate generated from the landfill pit provisional, through the building of two experimental pools to which was deposited a representative flow rate (0.01 liters / seconds) of the total leachate generated in the pit, and the respective vegetable species were planted. The timeframe set to the research process was four months at the end of the third month, it was set a time of admission and retention of leachate in experimental pools, three samples was collected: the first was taken the leachate before entering experimental pools, the second was taken from the leachate leaving the pool with German experimental grass (*Echinochloa Polystachya*) and the third was taken the leachate treated in the experimental pool with hyacinth water (*Eichhornia crassipes*). The results of the laboratory were processed through the statistical model chi-square (X^2), where it was found that the hyacinth water has greater potential phytoremediation against to the German grass between fourteen parameters analyzed in the leachate object of this study. four parameters (Chlorides, Total Nitrogen, Total Solids and Sodium) have been treated with higher

income from water hyacinth and three parameters (chemical oxygen demand, Iron and Total Hardness) have been normally treated with the German grass, three parameters (alkalinity, biochemical oxygen demand and potential Hydrogen) have had no effect in two experimental phytoremediation pools, and two parameters (Lead and Mercury) did not have variation in the results of the three samples; for the Sulfate parameter of assimilation was similar in the treatments for Phenols, there was not assimilation parameter, so its content increased in the treatments. Finally, a proposal was made to improve the final leachate treatment vegetables species with parameter water (*Eichhornia crassipes*).

C. INTRODUCCIÓN

La expansión física de las ciudades por el acelerado crecimiento poblacional y el desarrollo industrial permiten el incremento masivo de los residuos sólidos urbanos, por esto y otros aspectos similares, actualmente la Constitución de la Republica reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir. Adicionalmente declara de interés público la preservación del ambiente, conservación de los ecosistemas y la prevención del daño ambiental entre otros.

La provincia de Zamora Chinchipe no está excluida de esta problemática, por lo que específicamente en el cantón Yantzaza barrio Chimbutza, mediante la gestión de las autoridades competentes, se ha implementado un relleno sanitario para el manejo integral de los desechos sólidos, desde donde se generan los lixiviados, estos son tratados para su descontaminación en una laguna de tratamiento biológico con la especie vegetal pasto alemán (*Echinochloa polystachya*).

El propósito de esta investigación es investigar el potencial fitorremediador de las especies pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) y jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), para lo cual se realizó: la construcción de dos piscinas experimentales, análisis en laboratorio a los lixiviados tratados y la utilización de un modelo estadístico para obtener los resultados, con estos se determinó cuál de las especies vegetales utilizadas tiene mayor capacidad de fitorremediación y de esta forma plantear una alternativa de tratamiento mediante la especie que presento mejores resultados. Otro aspecto fundamental de esta investigación es demostrar la razón para seguir utilizando al pasto alemán para el tratamiento de los lixiviados o reemplazarlo por la especie vegetal jacinto de agua en el caso de que este demuestre mayor potencial fitorremediador en dichos lixiviados.

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

Evaluar la capacidad de tratamiento de descontaminación en los lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Yantzaza mediante el proceso de fitorremediación con la especie pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) y jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

Los objetivos específicos son:

- Caracterizar el tratamiento actual de los lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Yantzaza.
- Determinar el grado de eficiencia de las especies para el tratamiento de lixiviados generados en la celda provisional cerrada del relleno sanitario del cantón Yantzaza.
- Elaborar una propuesta para mejorar el manejo de lixiviados en el relleno sanitario del cantón Yantzaza, con la especie vegetal que tenga mayor potencial fitorremediador.

Este trabajo investigativo se realizó desde el mes de marzo hasta el mes de junio del año 2014.

D. REVISIÓN DE LITERATURA

1. Fitorremediación

1.1. Conceptos

De acuerdo a Agudelo, Macías y Suárez; citados por (Bonilla, 2013), “La fitorremediación es una tecnología alternativa y sustentable, es el uso de plantas asociados al tratamiento in situ de suelos y efluentes contaminados, es una tecnología que surge potencialmente para la limpieza eficaz y barata de una amplia gama de contaminantes”.

Según Núñez, citado por (Jerez, 2013), El termino fitorremediación proviene de *fito*, que en griego significa planta o vegetal, y del termino *remediar*, que proviene del latín *remediare*. Volque y Velazco citados por (Jerez, 2013), señalaron que: “Se trata de una serie de tecnologías o procesos que utilizan plantas para remover, transferir, estabilizar, concentrar y destruir contaminantes (orgánicos e inorgánicos) en suelos, lodos y sedimentos”.

De acuerdo a Banks y Schwab, citados por (Bonilla, 2013), “Algunas plantas destruyen los agentes contaminantes orgánicos degradándolos directamente, mientras que otras toman los contaminantes inorgánicos del suelo o del agua y los concentran en el tejido o la raíz, por tanto se puede usar diversas plantas para la contención, destrucción o extracción de los contaminantes”.

Según Cunnigham, citado por (Bonilla, 2013), “Este grupo de fitotecnologías reúne un gran número de ventajas como: limpieza, economía, no utilizan reactivos químicos, no afectan negativamente a la estructura del suelo, sólo aplican prácticas agrícolas comunes y además el proceso se realiza 'in situ' evitando costos de transporte”. La fitorremediación de acuerdo a sus características del proceso para la remediación de suelos o aguas contaminadas es una alternativa medioambiental respetuosa, frente a

las técnicas físico-químicas. En la fitorremediación interactúan tres factores principales: planta, suelo o agua y el o los contaminantes.

1.2. Mecanismos de Fitorremediación

Existen muchos mecanismos de fitorremediación para la eliminación o remoción de contaminantes. Dependiendo del elemento o residuo a tratar y la especie vegetal a utilizar se manifiesta su complejidad, importancia, metodología y resultados de la investigación.

1.2.1 Fitoestabilización

Es el uso de ciertas especies de plantas para inmovilizar contaminantes presentes en el suelo o en el agua a través de su absorción y acumulación en las raíces o precipitación por la presencia de exudados. Este mecanismo conduce a la estabilización del suelo o agua a través de una reducción en la movilidad, toxicidad y/o biodisponibilidad de los contaminantes (Volke *et al.*, 2005).

1.2.2 Fitovolatilización

Implica la absorción del contaminante, su transporte a la parte aérea de la planta y la liberación como una forma volátil del compuesto (Calvelo, s.f.).

1.2.3 Rizofiltración

Uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua y de otros efluentes acuosos. Se prefieren raíces de plantas terrestres con alta tasa de crecimiento y área superficial para absorber, concentrar y precipitar contaminantes (Diez, 2003).

1.2.4 Fitodegradación

Uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes orgánicos en moléculas más simples. En

determinadas ocasiones, los productos de la degradación le sirven a la planta para acelerar su crecimiento. En otros casos los contaminantes son biotransformados (Diez, 2003).

1.2.5 Fitoestimulación

También denominado rizodegradación, las plantas generan los exudados radiculares que estimulan el crecimiento de los microorganismos nativos capaces de degradar compuestos orgánicos xenobióticos (Diez, 2003). En la figura 1, se demuestra los diferentes mecanismos de la fitorremediación.

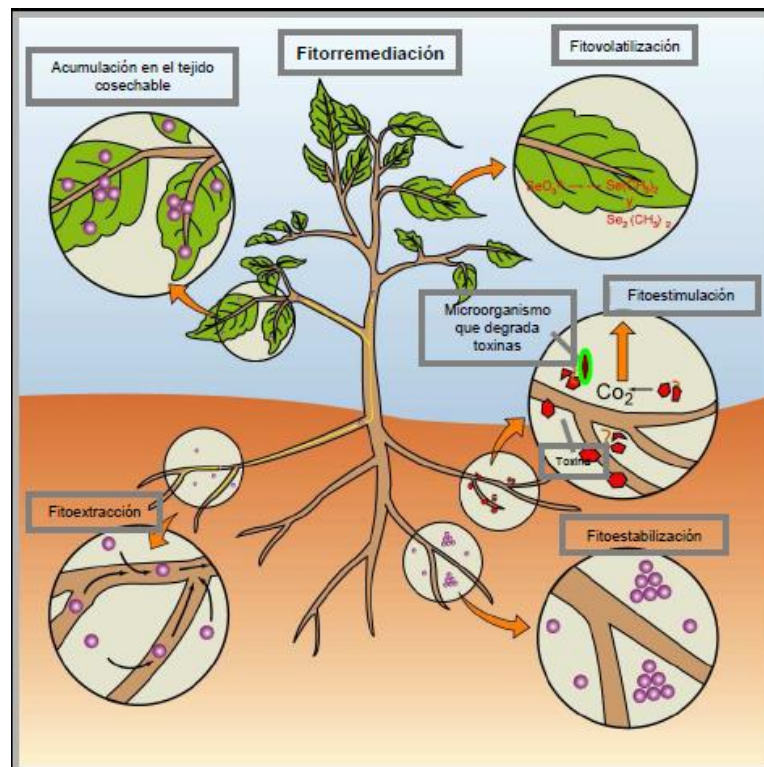


Figura 1. Mecanismos de Fitorremediación

Fuente: (Barid, 2004)

1.3 Fases de la fitorremediación

La fitorremediación del suelo o agua que generalmente consiste en el uso de plantas con capacidad de captar en sus raíces los contaminantes y transportarlos hacia el tallo y las hojas para que estos se eliminen mediante los mecanismos de la fitorremediación. Una planta acumuladora puede realizar cualquiera de los mecanismos de fitorremediación siguiendo tres fases: Absorción, Excreción y Desintoxicación de contaminantes.

1.3.1 Absorción

De acuerdo a (Harvery, 2002), citado por (Bonilla, 2013), La absorción de contaminantes se realiza a través de las raíces y las hojas mediante los estomas y la cutícula de la epidermis. Según (Watt y Evans, 1999), esta absorción ocurre en la rizodermis de las raíces jóvenes, que absorben los compuestos por ósmosis dependiendo de factores externos como la temperatura y el pH del suelo. Otro factor importante en la penetración del contaminante es el peso molecular, quien determinan que estas moléculas atraviesen las membranas celulares de la planta. Después de cruzar la membrana, los contaminantes son distribuidos a través de toda la planta.

1.3.2 Excreción

De acuerdo a Agudela, citado por (Bonilla, 2013), “Los contaminantes que se absorben por las raíces, se excretan vía hojas (fitovolatilización). Cuando las concentraciones de los contaminantes son elevadas, solo pequeñas fracciones (menos del 5 %) se excretan sin cambios en su estructura química”.

1.3.3 Desintoxicación de contaminantes

Según Agudela, citado por (Bonilla, 2013), la desintoxicación de los compuestos orgánicos se lleva a cabo por la vía de la

mineralización hasta dióxido de carbono en el caso de contaminantes químicos orgánicos que se degradan; para altas concentraciones se utiliza la incineración controlada y se desechan las cenizas en los lugares disponibles para este fin. Las ventajas de la fitorremediación radican en que las plantas absorben los metales pesados y gran variedad de contaminación en sus raíces, evitando la contaminación de aguas subterráneas, mientras que la desventaja radica en que el metal pesado utiliza el ciclo biológico de la planta, por tanto la descontaminación toma tiempo. Las plantas utilizadas en el proceso de fitorremediación pueden tener varias opciones para su disposición final como la incineración o el confinamiento de las mismas.

1.4 Ventajas y desventajas de la fitorremediación.

El proceso de fitorremediación tiene ciertas ventajas y desventajas lo que resulta impredecible que puede ser aplicada en todos los casos específicos de manera eficiente, ya que conlleva factores muy importantes como: tipo de la planta, tipo del terreno o líquido y el contaminante considerado. El siguiente cuadro indica algunas ventajas y desventajas del proceso de fitorremediación.

Cuadro 1. Ventajas y desventajas de la fitorremediación

Ventajas	Desventajas
<p>1. Aplicado a una gran cantidad de compuestos, orgánicos como inorgánicos.</p> <p>2. Aplicable tanto en sustratos sólidos y líquidos y de forma in-situ y ex-situ.</p> <p>3. Su aplicación in-situ ejerce un</p>	<p>1. Restringida a sitios con contaminación superficial, o bien, se encuentra dentro de la zona de la raíz o de las plantas utilizadas.</p> <p>2. Su aplicación puede requerir de muchos años.</p>

<p>mínimo impacto sobre los terrenos donde es aplicada.</p> <p>4. Reduce la cantidad de desechos en un más de un 95%.</p> <p>5. No requiere de equipo caro o personal altamente especializado.</p> <p>6. En aplicaciones a larga escala, la energía química de los materiales almacenados podría ser utilizada para generar energía térmica.</p> <p>7. Aplicaciones in-situ disminuyen la propagación de los contaminantes vía aérea o por el agua.</p>	<p>3. Restringida a sitios con una concentración baja en contaminantes.</p> <p>4. Restringida por condiciones climáticas de las plantas utilizadas.</p> <p>5. Requiere de una disposición adecuada de las plantas o biomasa, una vez que son cosechadas.</p> <p>6. Puede afectar la biodiversidad si se introducen especies no nativas para remediar.</p> <p>7. La utilización futura de los productos de estas plantas contaminadas es causa de preocupación.</p>
---	--

Fuente: (Ghosh y Singh, 2005)

2 Características Generales de las Especies Vegetales a utilizar.

2.1 Pasto alemán (*Echinochloa polystachya*)

Esta especie vegetal es originaria de Centro América, específicamente se introdujo de Costa Rica en 1959, por el Centro de Investigaciones Agronómicas, sección Zootecnia actualmente Instituto de Investigaciones Zootécnicas (CENIAP-FONAIAP) comenzándose a propagar y evaluar en el año 1974, en el sitio. Zulia (Sur del Lago de Maracaibo), y

Guárico (calabozo), etc. Es una gramínea que crece en forma de macolla, sus tallos pueden alcanzar dos metros de altura cuando son jóvenes, su inflorescencia es una panícula abierta y sus espiguillas son infértiles. Sus hojas son alternas no pubescentes. Es un pasto de excelente calidad ideal para la alimentación de ganado bovino. El periodo de establecimiento varía entre 4 y 6 meses (Ribas, 1981). En el siguiente cuadro se especifican algunos detalles importantes de este pasto.

Cuadro 2. Características del pasto alemán (*Echinochloa polystachya*)

Aspecto	Detalle
Nombre común	Pasto Alemán
Nombre científico	<i>Echinochloa polystachya</i>
Origen	Centro América
Otros nombres	Alemán, hierba de cayena, zacate alemán, janeiro.
Consumo	Pastoreo, más recomendable: pastoreo rotativo.
Clima favorable	Crece normalmente entre 0 y 1200 msnm
Tipo de suelo	Con mediana a alta fertilidad, preferiblemente suelos húmedos o inundables. Arcillosos.
Tipo de siembra	La semilla es poco viable, se siembra por estolones
Plagas y enfermedades	Gusano comedor de follaje, áfido amarillo (<i>Siva phlava</i>)
Toxicidad	No se han presentado casos
Tolera	Terrenos pantanosos, inundaciones
Precipitación	1000 – 3500 mm/año. No tolera sequías
Altitud	0 -1200 msnm

No tolera	Verano o sequias muy extensas
Asociaciones	Con especies de centrocema.
Ciclo vegetativo	Perenne, persistente

Fuente: Información recopilada por el autor.

Según (Cerrato *et al.*, 2006), el pasto alemán es una de las plantas probadas con éxito en la fitorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo.

La siguiente figura indica la morfología general del pasto alemán (*Echinochloa polystachya*).

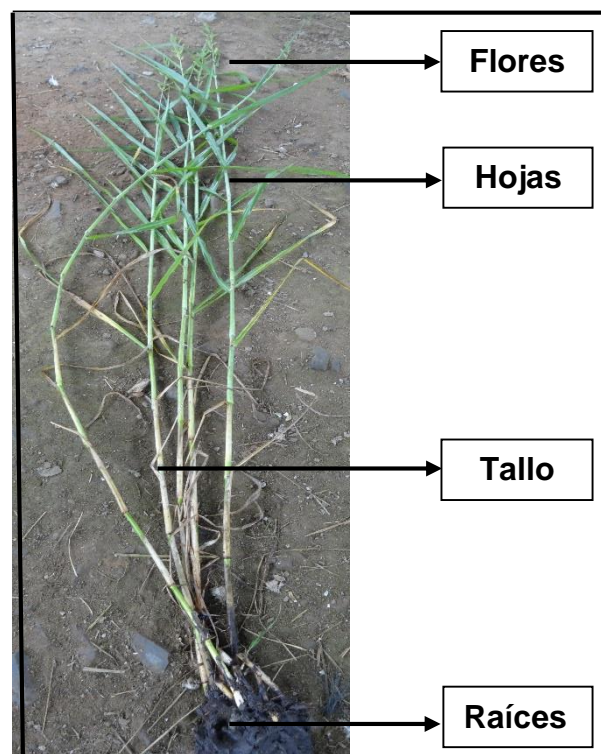


Figura 2. Morfología del pasto alemán (*Echinochloa polystachya*)

Fuente: Elaborado por el autor

2.2 Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

El jacinto de agua es una maleza acuática perenne que flota libremente en la superficie del agua, esta planta es nativa de Brasil y fue introducida a Estados Unidos en 1884 como planta ornamental para jardines acuáticos. La reproducción del jacinto de agua ocurre principalmente de forma vegetativa por medio de la producción de estolones. La producción de semillas también ocurre aunque con un bajo porcentaje de germinación. Bajo temperaturas óptimas de crecimiento, la biomasa del jacinto de agua puede duplicarse en un mes por medio de reproducción vegetativa. Esta alta capacidad reproductiva provoca la formación de colonias densas flotando en el agua. Por consiguiente se reduce el flujo de agua en los embalses, cantidad de oxígeno, navegación y crecimiento de otras plantas acuáticas. Además el jacinto de agua puede ser utilizado como hospedero de larvas de mosquito. Por tales razones, el jacinto de agua es considerada como una de las peores malezas a nivel mundial también conocido con el término World's Worst Weeds o las peores malas hierbas del mundo (Wilfrido y John, s.f.). La estructura principal del jacinto de agua está constituida por un tejido de polisacáridos estructurales como celulosa y hemicelulosa, además de lignina, un polímero aromático, heterogéneo e insoluble en ácidos (Agunbiade *et al.*, 2009).

2.2.1 Regulación

De acuerdo a (Wilfrido y John, s.f.). El jacinto de agua no está listado en la lista federal de especies nocivas de Estados Unidos. Sin embargo es listada como especie nociva en Alabama y considerada invasora en algunos sitios de Estados Unidos.

2.2.2 Crecimiento vegetativo

El jacinto de agua crece formando rosetas que a su vez están conectadas por estolones, en etapas tempranas de colonización las rosetas son pequeñas y crecen esparcidas; en esta misma etapa, los

peciolos son cortos y crecen horizontalmente a la superficie del agua. A medida que la densidad de plantas aumenta, el tamaño de cada roseta aumenta y los peciolos son más largos y crecen perpendicularmente a la superficie del agua. Los peciolos son esponjosos e inflados en el centro. Sin embargo, en etapas tardías, los peciolos anchos en el centro pueden no estar presentes. La forma de las hojas es ovada y miden aproximadamente 1.5"- 4.5" de ancho (4-12 cm), las hojas saludables son de color verde oscuro (Wilfrido y John, s.f.).

2.2.3 Florecimiento y Fructificación

La inflorescencia del jacinto de agua es una espiga que se compone de hasta ocho flores violáceas, cada panoja crece desde el centro de cada roseta, las semillas son ovoides y pueden permanecer latentes en el sedimento hasta siete años.

2.2.4 Mecanismo de dispersión

La diseminación del jacinto de agua ocurre mayormente por el rompimiento de las rosetas conectadas a la colonia principal. En adición, la base del tallo puede desarrollar nuevas plantas luego del daño por congelación o aplicaciones de herbicidas. Aunque la producción de plántulas por medio de semilla no es común, si podría facilitar nuevas infestaciones (Wilfrido y John, s.f.).

2.2.5 Hábitat

El jacinto de agua habita en cuerpos de agua dulce como lo son: ríos, lagos, charcas y embalses de los trópicos y subtrópicos localizados a latitudes no mayores de 40°N y 45°S. Temperaturas menores de 0°C afectan su crecimiento al igual que alta salinidad; sin embargo, cuerpos de agua eutrofizados que contienen niveles altos de nitrógeno, fosforo, potasio al igual que aguas contaminada con metales pesados como cobre y plomo no limitan su crecimiento. El jacinto de agua puede anclarse y

enraizar en suelos saturados de agua por un corto periodo de tiempo (Wilfrido y John, s.f.). La siguiente figura muestra la morfología del jacinto de agua.

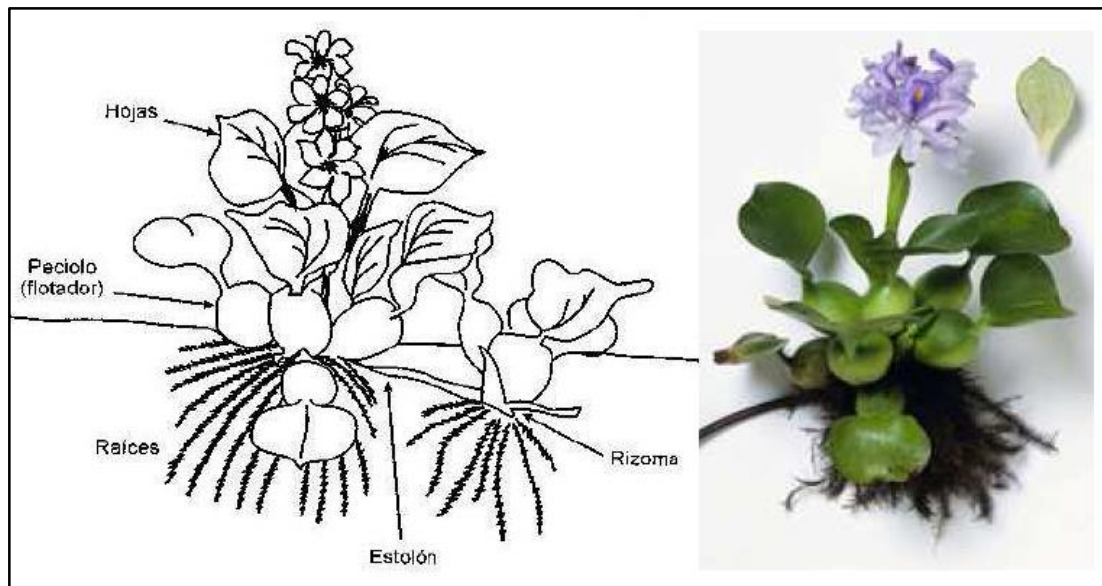


Figura 3. Morfología del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)

Fuente: (Romero, 2005)

3 Relleno sanitario.

3.1 Concepto

El relleno sanitario es una técnica de disposición final de los residuos sólidos en el suelo que no causa molestias ni peligro para la salud o la seguridad pública, tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de su clausura; esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más estrecha posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que pueden causar los líquidos y gases producidos por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

Hace poco menos de un siglo en Estados Unidos, surgió el relleno sanitario como resultado de las experiencias, de compactación y cobertura de los residuos con equipo pesado; desde entonces, se emplea este término para

aludir al sitio en el cual los residuos son primero depositados y luego cubiertos al final de cada día de operación.

En la actualidad el relleno sanitario moderno se refiere a una instalación diseñada y operada como una obra de saneamiento básico, que cuenta con elementos de control lo suficiente seguros y cuyo éxito radica en la adecuada selección del sitio, en su diseño y, por supuesto, en su óptima operación y control (Jaramillo, 1991).

3.2 Generación de líquidos y gases

Casi todos los residuos sólidos sufren cierto grado de descomposición, pero es la fracción orgánica la que presenta los mayores cambios. Los subproductos de la descomposición están integrados por líquidos, gases y sólidos (Jaramillo, 1991).

Esta investigación se centra únicamente en el tratamiento de los subproductos líquidos que es un elemento de la descomposición integrada de los residuos sólidos.

3.3 Líquido lixiviado o percolado

La descomposición o putrefacción natural de la basura produce un líquido maloliente de color negro, conocido como lixiviado o percolado, parecido a las aguas residuales domésticas, pero mucho más concentrado.

Las aguas de lluvia que atraviesan las capas de basura aumentan su volumen en una proporción mucho mayor que la que produce la misma humedad de los residuos sólidos municipales, de ahí que es importante interceptarlas y desviarlas para evitar el incremento de lixiviado; de lo contrario, podría haber problemas en la operación del relleno y contaminación en las corrientes, nacimientos de agua y pozos vecinos (Jaramillo, 1991).

3.4 Características generales del lixiviado de un relleno sanitario.

El lixiviado es el líquido contaminado que drena de un relleno sanitario, varía ampliamente en cuanto a su composición, según la antigüedad del relleno y del tipo de residuos que contiene. En el siguiente cuadro se indican las concentraciones típicas de los componentes y sus límites representativos (Henry, 1999).

Cuadro 3. Composición típica de los lixiviados de rellenos sanitarios

Antigüedad del relleno	Nuevo (< 2 años)	Antiguo (> 10 años)
Componente	Valor típico	Valor Típico
DQO	3,0000-60,000	100-500
DBO ₅	2,000-30,000	100-200
COT	1,500-20,000	80-160
Sólidos totales		
En suspensión	200-2,000	100-400
Nitrógeno total	20-1600	100-160
Fosforo total	5-100	5-10
Alcalinidad	1,000-10,000	200-1,000
Dureza total	300-10,000	200-500
Hierro	50-1,200	20-200
Plomo	2	0,01-0,5
Potasio	200-1,000	50-400
pH	6	6,6-7,5
Sodio	200-2,500	100-200
Cloro	200-3,000	100-400
Sulfatos	50-1,200	20-50

Fuente: (Johannessen, 1999).

3.5 Cantidad de las aguas lixiviadas

La cantidad de las aguas lixiviadas que se producen en un relleno sanitario depende de factores diferentes:

- La precipitación

- El área del relleno
- El modo de operación (relleno manual o compactado con maquinaria, sistema de compactación)
- El tipo de basura

El siguiente cuadro da un resumen de la cantidad de las aguas lixiviadas en situaciones diferentes:

Cuadro 4. Producción de aguas lixiviadas en un relleno sanitario

TIPO DE RELLENO	Producción de aguas lixiviadas (% de la precipitación)	Producción de aguas lixiviadas (m ³ /(ha*día))		
		Precipitación 700 mm/año	Precipitación 1500 mm/año	Precipitación 3000 mm/año
Relleno manual	60	11,51	24,66	49,32
Relleno compactado con maquinaria liviana	40	7,67	16,44	32,88
Relleno compactado con maquinaria pesada	25	4,79	10,27	20,55

Fuente: (Jaramillo, 1991)

El cuadro muestra que la producción de aguas lixiviadas puede ser extremadamente alta en rellenos manuales que se encuentren en regiones con alta pluviosidad, la minimización de las aguas lixiviadas es especialmente importante para rellenos manuales sujetos a precipitaciones

elevadas, ya que es difícil el tratamiento de una cantidad muy alta de aguas lixiviadas que se pueden generar. Las medidas más importantes para la minimización de aguas lixiviadas en rellenos manuales son:

- No construir el relleno en áreas completamente planas o en trincheras, pero si en terrazas o sobre un terreno ligeramente inclinado para una parte de las aguas lluvia puedan desaguarse en la superficie, sin percolar al cuerpo de basura.
- Cubrir las celdas terminadas con tierra y sembrar plantas con alta capacidad de absorción para secar el terreno.
- Construir drenes de aguas lluvias alrededor de las celdas para evitar que se infiltre agua desde afuera al cuerpo de basura.
- Cubrir las celdas con plástico de invernadero desechado o con helecho. Este método no sirve en trincheras excavadas, solamente en celdas que tienen la forma de terraza o que son construidas sobre terrenos inclinados (Roben, 2002).

En aquellos rellenos compactados con maquinaria se puede minimizar la cantidad de las aguas lixiviadas con las siguientes medidas:

- Buena maquinaria de compactación (compactadora pesada).
- Colocación de la basura en capas delgadas (no más de 30 cm de espesor).
- Compactación adecuada (la máquina debe pasar por lo menos un mínimo de 20 veces sobre el mismo lado).
- Construcción de una capa de basura con un espesor de 2 m al fondo del cuerpo de basura. Esa basura se deja a la biodegradación

aeróbica y se compacta más tarde. Sirve como filtro para las aguas lixiviadas de más arriba (Roben, 2002).

3.6 Tratamiento de lixiviados

El tratamiento de los lixiviados de un relleno sanitario consiste en llevar a cabo operaciones o procesos con los que se busca remover gran parte de sus contaminantes antes de la disposición final. Determinar el tratamiento adecuado para los lixiviados es complicado, se trata de residuos líquidos con altos contenidos de sustancias tanto orgánicas como inorgánicas, así como una enorme variabilidad química, lo que dificulta la selección de una metodología de tratamiento adecuada. Cada lixiviado proveniente de un relleno sanitario debe ser evaluado individualmente y sometido a pruebas de tratabilidad para encontrar el sistema de tratamiento adecuado para su manejo (Méndez, 2009).

4 Marco Legal

4.1 Constitución de la República del Ecuador.

La Constitución de la República del Ecuador entre algunos de sus artículos establece:

Artículo 3, título I, de los Elementos Constitutivos del Estado, “Son deberes primordiales del Estado, entre otros: Proteger el patrimonio natural y cultural del país y proteger el medio ambiente”.

Artículo 14, título II, Derechos. Capítulo segundo, de los derechos del buen vivir, “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados”.

Artículo 15, “El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua”.

Artículo 30, “Las personas tienen derecho a un hábitat seguro y saludable, y a una vivienda adecuada y digna, con independencia de su situación social y económica”.

En la sección novena del capítulo sexto, Derechos de libertad, artículo 66, se ratifica que, “El Estado protegerá el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice un desarrollo sustentable. El derecho a una vida digna, que asegure la salud, alimentación y nutrición, agua potable, vivienda, saneamiento ambiental, educación, trabajo, empleo, descanso y ocio, cultura física, vestido, seguridad social y otros servicios sociales necesarios”.

Artículo 71. Del capítulo séptimo sobre los derechos de la naturaleza, “La naturaleza o Pachamama, 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 observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema”.

Artículo 73, “El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales”.

4.2 Ley de Gestión Ambiental

El artículo 28 establece que, “Los ciudadanos tienen derecho a participar en la gestión ambiental, a través de consultas, audiencias públicas, iniciativas, propuestas o cualquier forma de asociación entre el sector público y el privado. El incumplimiento del proceso de consulta al que se refiere el artículo 88 de la Constitución tornará inejecutable la actividad de que se trate y será causal de nulidad de los contratos respectivos”.

4.3 Ley del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA)

El Libro VI, Anexo 1. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, literal 4.2.1.15 menciona, Los lixiviados generados en los rellenos sanitarios cumplirán con los rangos y límites establecidos en las normas de descargas a un cuerpo de agua. El literal 4.2.1.21 indica que, Los sedimentos, lodos y sustancias sólidas provenientes de sistemas de potabilización de agua y de tratamiento de desechos y otras tales como residuos del área de la construcción, cenizas, cachaza, bagazo, o cualquier tipo de desecho doméstico o industrial, no deberán disponerse en aguas superficiales, subterráneas, marinas, de estuario, sistemas de alcantarillado y cauces de agua estacionales secos o no, y para su disposición deberá cumplirse con las normas legales referentes a los desechos sólidos no peligrosos.

El Anexo 2. Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados, literal 2.39 define al lixiviado como: Líquido que percola a través de los residuos, formado por el agua proveniente de precipitaciones, pluviales o escorrentías. El lixiviado puede provenir además de la humedad de los residuos, por reacción o descomposición de los mismos y que arrastra sólidos disueltos o en suspensión y contaminantes que se encuentran en los mismos residuos.

El literal 2.43 indica que Relleno sanitario es: Una 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.

El literal 4.1.1.3 sobre el manejo, almacenamiento y disposición de residuos peligrosos. Indica que: Es necesario contar con muros de contención, y fosas de retención para la captación de los residuos de los lixiviados, los lixiviados deberán ser recogidos y tratados para volverlos inocuos. Por ningún motivo deberán ser vertidos o descargados sobre el suelo sin previo tratamiento y aprobación de la entidad ambiental de control.

El Anexo 6 referente a: Normas de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos, en el literal 4.10.2.5 relacionado con la Recolección de lixiviados indica que: Se deberán localizar los sitios donde se ubicarán los filtros o canales para los lixiviados, además se diseñarán y construirán los mismos, para que los lixiviados por gravedad se dirijan hacia las partes bajas, y luego a su tratamiento como paso previo a su disposición final.

En el literal 4.10.2.6 menciona que: Se deberá diseñar un tanque de almacenamiento, con una capacidad de por lo menos tres días de producción en el mes más lluvioso. El tanque de almacenamiento deberá tener su correspondiente diseño estructural.

En el literal 4.10.3 indica que: Se deberá realizar como mínimo los siguientes análisis físico químicos a los lixiviados captados como efluentes del Botadero de desechos sólidos: Temperatura, pH, DBO₅, DQO, sólidos

totales, nitrógeno total, fósforo total, dureza, alcalinidad, calcio, magnesio, cloruros, sulfatos, hierro, sodio, potasio, sólidos disueltos, plomo, mercurio, cadmio, cromo total, cianuros, fenoles y tensoactivos. Basándose en los resultados obtenidos inicialmente, se deberá decidir el listado de los parámetros a medir periódicamente.

El literal. 4.12.11 puntualiza que: Los lixiviados generados deben ser tratados, de tal manera que cumplan con lo establecido en la Norma de Aguas, en lo referente a los parámetros establecidos para descarga de los efluentes a un cuerpo de agua.

5 Estudios realizados en fitorremediación.

5.1 Respuestas Fisiológicas de tres especies vegetales nativas sometidas a Tratamiento con Lixiviados de Relleno Sanitario.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar las respuestas fisiológicas de tres especies vegetales tropicales expuestas a riego lixiviado y su uso potencial en procesos de biorremediación. El proyecto se realizó en el invernadero ubicado dentro de la Universidad del Valle, donde se llevó a cabo el montaje de tres especies vegetales: *Colocasia esculenta*, *Heliconia psittacorum* y *Cyperus haspan*. Estas especies fueron sometidas a una fase inicial de aclimatación durante cinco semanas y una fase de tratamiento con riego de lixiviados del relleno sanitario de Presidente ubicado en el Municipio de San Pedro en el departamento del Valle del Cauca durante ocho semanas.

Como variables fisiológicas se evaluaron el potencial hídrico y la clorofila, además, se midió la humedad relativa y la temperatura. En el análisis estadístico de los datos obtenidos se realizó una prueba no paramétrica basada en el Coeficiente de Correlación de Spearman, para evaluar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos para cada especie. De las tres especies tratadas con riego de lixiviados, la especie que

mostró menos tolerancia al tratamiento fue *Cyperus haspan*, en comparación con la respuestas fisiológicas de clorofila y potencial hídrico en *Colocasia esculenta* y *Heliconia psittacorum*. Esto permitió demostrar que son especies relativamente tolerantes a la exposición de lixiviados. Los resultados sugieren un posible potencial fitorremediador para su uso en humedales construidos para el tratamiento de lixiviados (Aulestia, 2012).

5.2 Bioabsorción de Metales Pesados por *Salvinia Natans* de los Lixiviados del Relleno Sanitario Combeima de Ibagué.

Este trabajo evaluó la capacidad de *Salvinia natans*, planta acuática del género *Salvinia seguier*, para retener los metales pesados Pb, Zn, Cu, Cd y Hg en soluciones a diferentes concentraciones y a un pH entre 4.0 y 4.5. Se observó que tiene una capacidad de retención de Pb de 5.5 ppm y 2,94 ppm de Cu, saturándose a los 10 días. Retiene hasta por 5 días 2.9 ppm de Zn y 0.92 ppm de Cd. Su respuesta fue negativa frente al Hg y frente a los lixiviados del Relleno Sanitario Combeima de Ibagué. En soluciones de mezcla de los cationes en mención, no modificó la respuesta dada en los tratamientos independientes lo cual fue comprobado estadísticamente a través de un análisis multivariado. (Flores y Cotes, 2006).

5.3 Bioensayo con macrofitas acuáticas para el tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Pichacay.

El presente estudio se realizó en los predios pertenecientes a la Empresa Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC); ubicados en el sector de Pichacay de la parroquia Santa Ana. Según Holdridge estas áreas pertenecen a la zona de vida Bosque Seco Montano Bajo (bs MB); caracterizadas por bajas precipitaciones con una media de 650 mm, temperatura media 15°C y altitud de 2650 msnm. El trabajo se realizó entre los meses de marzo a junio del 2008 razón por la cual la elevada pluviosidad mantenía elevada la humedad ambiental y la evapotranspiración fue baja, así como la evaporación del agua usada en los tratamientos. Las unidades

experimentales las constituyeron tanques metálicos de 55 galones divididos longitudinalmente, con lo cual la capacidad máxima es de 27,5 galones.

Estas unidades se colocaron en un espacio techado con plástico de invernadero de una superficie total de 14 x 8 metros (112 m²). Con la cubierta evitamos que las condiciones climáticas interfieran en el estudio y con la transparencia del plástico se permite a las plantas el normal desempeño fisiológico.

Las especies utilizadas en el trabajo fueron tres micrófitas acuáticas con capacidad de biodepuración de agua. El jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*) fue colectado del sector de “La Josefina”, Berro (*Nasturtium officinale*) recogido desde el sector de Yanaturo de la parte posterior del Vivero de la EMAC y Elodea (*Elodea densa*) se extrajo del estanque ubicado en el parque Quetzal en el sector el arenal. Estas especies fueron llevadas y sembradas en las unidades experimentales tres semanas antes de adicionar el lixiviado en agua para que tenga un tiempo de adaptación. Para conocer la respuesta de las especies de micrófitas a la presencia de lixiviados se dividió el trabajo en dos fases:

Fase a) Respuesta de las especies a diferentes concentraciones de lixiviados disueltos en el agua.

Similar a trabajo realizado por (Petri, 2005), se colocaron diferentes concentraciones de lixiviados para determinar la tolerancia de las especies y las respuestas de las mismas a la solución. Cada especie se sometió a un gradiente de concentraciones de lixiviado:

Testigo: (0%).

T1: 0,5%.

T2: 2%.

T3: 5% y **T4:**10%.

La dilución se efectuó en 60 litros de agua, colocando 0; 1, 2, 3 y 6 litros de lixiviado, respectivamente. Se realizaron tres repeticiones por cada tratamiento. El total de unidades experimentales fue de 45.

Fases b) Remoción de contaminantes presentes en el lixiviado disuelto en las unidades experimentales.

Esta fase de trabajo conto con doce unidades experimentales en las que se colocó una concentración de lixiviado de 2% del agua, debido al adecuado desarrollo de todas las especies en esta concentración registrado en la fase a). En cada tanque se colocaron 60 litros de agua y 1,2 litros de lixiviado, el mismo lixiviado que se colocó en los tanques se llevó a laboratorio para conocer la carga exacta de contaminantes aportados en las diferentes especies. Por cada especie se realizaron cuatro repeticiones teniendo un total de 12 unidades experimentales, las mismas que fueron colocadas al azar dentro de un espacio de 12 m².

Las muestras para los análisis se realizaron durante un mes (a los 8, 15 y 30 días) para conocer la capacidad de depuración de las diferentes especies y la respuesta con el transcurrir del tiempo, el agua de cada unidad experimental se analizó individualmente en el laboratorio de ETAPA (Empresa Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable y alcantarillado) ubicados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Cuenca. Para la comparación estadística de los resultados obtenidos por las tres especies se utilizaron los análisis realizados a los 30 días del tratamiento y se sometieron al análisis estadístico mediante la prueba de Scheffe, luego de un mes de la aplicación se procedió a evaluar las plantas de las diferentes especies y en las distintas concentraciones de lixiviado.

En este caso únicamente se presenta de esta investigación los resultados de: Evaluación del crecimiento de la especie jacinto de agua a diferentes concentraciones de lixiviado y los análisis de laboratorio sobre la depuración

del lixiviado en dilución del 2%, los demás resultados se puede observar en (Carrión y Cuenca, 2008).

El siguiente cuadro muestra la evaluación del crecimiento del jacinto de agua en diferentes porcentajes de concentración de lixiviados.

Evaluación del crecimiento de la especie jacinto de agua a diferentes concentraciones de lixiviado.

TRATAMIENTOS	DESARROLLO FOLIAR	DESARROLLO RADICULAR
Testigo	Planta madre con 3 hijuelos, hojas bastante bajas no muy verdes	Raíces color negro-lila, 25 cm de largo
0,50%	Plantas madres con 3 hijuelos, hojas bastante bajas no muy verdes	Raíces color negro-lila, 40 cm de largo.
2%	Plantas madres con 4 hijuelos, hojas largas no muy verdes.	Raíces largas y frondosas de coloración marrón de 60 cm de largo.
5%	Plantas madres con 4 hijuelos, hojas largas verdes intensas.	Raíces largas y frondosas de coloración marrón de 45 cm de largo.
10%	Plantas madres con muchos hijuelos (hasta 10). Mayor cantidad de hojas más bajas y verdes intensas.	Raíces largas y frondosas de coloración negra de 50 cm de largo.

Resultados de los análisis de laboratorio sobre la depuración del lixiviado en dilución del 2% con la especie jacinto de agua.

Para determinar la capacidad depurativa de las diferentes especies de macrofitas acuáticas estudiadas se realizó una disolución del 2% ya que en el análisis cualitativo se observaron los mejores resultados de desarrollo y

tolerancia al lixiviado en este tratamiento. Para iniciar el trabajo se analizó el lixiviado que fue colocado en disolución en los tanques de tratamiento. A partir del análisis se calcularon los valores de los compuestos en la disolución, como se observa a continuación:

Determinación de los distintos parámetros presentes en el lixiviado analizado y el cálculo de los valores en disolución.

Análisis del lixiviado de partida			
Parámetro	Unidades	Análisis	Disolución
DBO5	Mg/l	9400	188
NTK	Mg/l	1629,93	32,59
Fósforo total	Mg/l	34,88	0,69
Conductividad	uS/cm	20400	408
Plomo inicial	Ug/l	128,7	2,570
Cadmio inicial	Ug/l	9,9	0,198
pH		7,66	7,66

Resultados de la depuración de los siguientes parámetros por la especie jacinto de agua a los 8, 15 y 30 días.

Parámetro	jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>)					
	8 días	% 8 días	15 días	% 15 días	30 días	% 30 días
DBO5 (mg/l)	62,25	33,1	17,25	9,2	5,25	2,8
NKT (mg/l)	11,8	36,1	6,4	19,8	3,0	9,2
Fosforo T. (mg/l)	0,35	50,7	0,455	65,9	0,24	34,8
Conductividad	396,5	97,2	335	81,9	291,25	71,4
pH	6,63		6.60		6,52	
Cadmio					2,775	
Plomo					12,3	

E. MATERIALES Y MÉTODOS

1. MATERIALES

1.1. Materiales de campo

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

- Herramientas: barreta, nivel, lampa, serrucho, flexómetro, martillo, clavos.
- Materiales de instalación y construcción:
 - Tuvo pvc de 2 plg, codo de 45° reducción de 4 plg a 2 plg.
 - Manguera de 1/2 pulgada, uniones y tes
 - Grifos, silicona, teflón
 - Plástico, grapas, listones de madera
- GPS
- Cronómetro
- Recipientes de plástico y vidrio para las muestras
- Cámara fotográfica
- Libreta y hojas de registro
- Vehículo
- Celular

1.2. Materiales de oficina

Entre los materiales de oficina más utilizados fueron:

- Computador, impresora, scanner e Internet
- Calculadora
- Fuentes de información: Internet, libros y revistas
- Estudio de impacto ambiental del relleno sanitario
- Hojas de papel bond, anillados
- Medios de almacenamiento: flas memory, CDs

- Bolígrafos, tablero, borrador, etc.

2. MÉTODOS

2.1. Ubicación Política y Geográfica del Área de estudio.

Esta investigación se desarrolló dentro del área del Relleno sanitario que se encuentra ubicado en el barrio Chimbutza de la parroquia Yantzaza, Cantón Yantzaza en la provincia de Zamora Chinchipe.

El sitio donde se encuentra el relleno sanitario está cerca de la vía troncal amazónica, a 730 metros en línea recta y tiene un área total de 4,8 Has. Específicamente las piscinas de experimentación se encuentran ubicadas en la parte baja del relleno sanitario, lugar donde mediante tuberías llegan los lixiviados hacia una laguna de tratamiento y posteriormente a su descarga final. Las piscinas experimentales están ubicadas en las siguientes coordenadas UTM (X: 749937 y Y: 9582761).

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

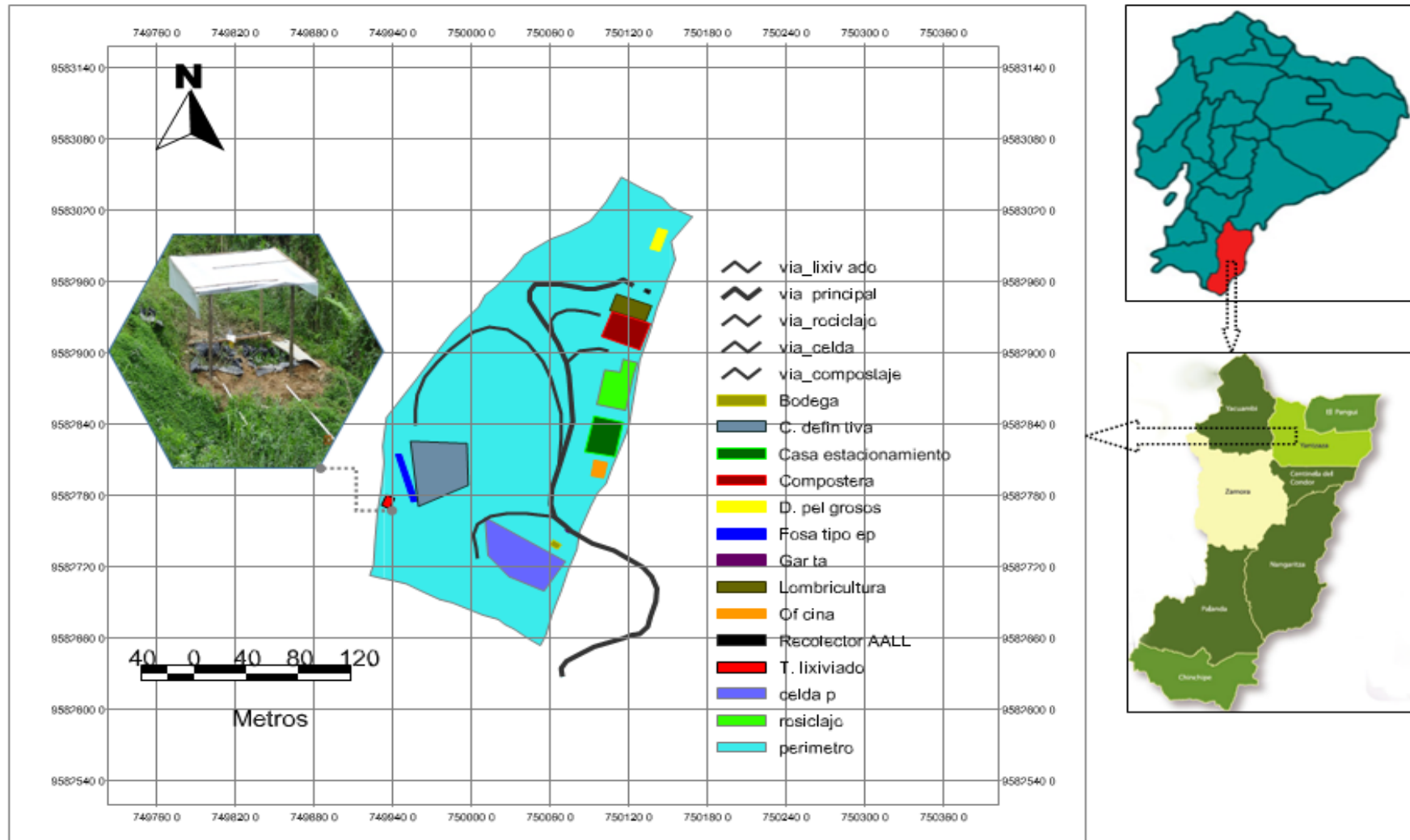


Figura 4. Ubicación geográfica del área de estudio.

2.2. Aspectos biofísicos y climáticos

2.2.1. Aspectos biofísicos

- **Topografía**

El sitio donde fueron construidas las piscinas experimentales presenta una topografía semiplana seguida de pendientes altas y bajas que descienden hasta un valle que rodea una parte de esta área.

- **Suelo**

Son suelos desarrollados sobre diferentes tipos de rocas como metamórficas e intrusivas por lo que se constituyen como un conjunto de suelos de color amarillento moderadamente profundos de textura arcillosa y franco arcilloso. En esta zona el suelo es usado o destinado principalmente para la ganadería como pastizales y agricultura mediante cultivos (EslA del Relleno Sanitario, 2006).

- **Hidrología**

El sector donde está ubicado el relleno sanitario, está cerca del río Zamora, la quebrada Chimbutza y particularmente el sitio se encuentra rodeado en cierta parte por un estero.

- **Flora y fauna**

En esta zona debido al incremento poblacional del barrio Chimbutza que se encuentra a una distancia considerable del área del relleno, la mayoría de la vegetación primaria es remplazada por la presencia de hierbas (pastizales) y cultivos, existe en bajos porcentajes la presencia de bosques.

En lo referente a la fauna del sector actualmente esta ha sido afectada por la apertura de pastos, cultivos y la implementación del relleno sanitario,

quedando únicamente en el sitio la mayoría de animales silvestres como guatusas (*Dasyprocta fuliginosa*), armadillos (*Dasypus novemcinctus*), conejos (*Sylvilagus brasiliensis*), etc. Y aves de menor tamaño como: garrapateros (*Crotophaga ani*), pecho amarillo (*Myiozetetes similis*), tangaras (*Aglaia cyanicollis*), etc. Que se han adaptado en el lugar, como aspecto especial debido a que en el sitio se encuentra el relleno sanitario, existe la presencia de las aves denominadas comúnmente gallinazo (*Coragyps atratus*).

2.2.2. Clima

- **Temperatura**

El cantón Yantzaza tiene una temperatura promedio anual de 23,2°C, los meses de mayor temperatura están comprendidos entre los meses de septiembre y diciembre; y los meses de menor temperatura están comprendidos entre febrero y mayo (PODT Yantzaza, 2008).

- **Precipitación.**

Yantzaza pertenece al régimen pluviométrico tipo V, con lluvias abundantes y distribuidas durante todo el año, con mayor precipitación en el primer semestre del año. También el cantón Yantzaza pertenece a la zona súper húmeda, la cual se caracteriza por tener las precipitaciones mayores a 2000 mm/año. El periodo de mayor precipitación corresponde a los meses desde marzo a julio, en donde se concentra el 48% de la precipitación anual. (PODT Yantzaza, 2008).

- **Humedad relativa**

Los datos promedios anuales de este aspecto indican que la humedad relativa en esta zona es constante y homogénea, los registros muestran que se encuentra sobre el 80% y 90%, siendo esta una

característica de las regiones climáticas como: muy húmedo subtropical y lluvioso temperado (PODT Yantzaza, 2008).

- **Velocidad y dirección del viento**

El promedio de velocidad mínima del viento en la zona es de 2,3 m/s, la dirección de los vientos es más hacia el Noroeste con velocidades de 0,5 a 1 m/s, en todo el cantón Yantzaza (PODT Yantzaza, 2008).

2.3. Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo cuantitativo, debido a que los aspectos de su proceso y obtención de resultados se enfocan principalmente en el uso y recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico.

2.4. Distribución de tratamientos

Los tratamientos que se utilizaron para realizar esta investigación son las especies vegetales pasto alemán y jacinto de agua.

Tratamiento 1 (T1): pasto alemán (*Echinochloa polystachya*).

Tratamiento 2 (T2): jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

2.5. Variables en estudio

Variable independiente

Potencial fitorremediador de la especie

Variable dependiente

Nivel de descontaminación de lixiviados

2.6. Hipótesis

En los lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Yantzaza, la efectividad del tratamiento de dichos lixiviados por el proceso de fitorremediación; difiere o no entre el uso de la especie vegetal pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) y jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

2.7. Diseño experimental

El experimento se desarrolló utilizando el método estadístico no paramétrico denominado “Chi-cuadrado o X^2 ”, aplicado a los resultados del análisis de laboratorio realizado a los lixiviados de los tratamientos en las piscinas experimentales construidas.

2.7.1. Modelo matemático

El modelo matemático del método estadístico establecido se basa en la siguiente formula:

$$X^2 = \sum \frac{(fo - fe)^2}{fe}$$

Dónde: **fo** = Frecuencia del valor observado

fe = Frecuencia del valor esperado

2.8. Metodología para caracterizar el tratamiento actual de los lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Yantzaza.

Para recopilar la información sobre el manejo de los lixiviados generados en el relleno sanitario y realizar la caracterización de los lixiviados se realizaron las siguientes actividades.

2.8.1 Recopilación de información secundaria

Se revisó los estudios existentes realizados para el diseño e implementación del relleno sanitario (Estudio de impacto ambiental y memoria técnica) para, conocer el funcionamiento del sistema implementado para la recolección de los lixiviados, la vida útil, capacidad del relleno sanitario, entre otros.

2.8.2 Encuesta a Técnicos del relleno sanitario.

Se realizó una encuesta al Ing. Víctor Agreda encargado del relleno sanitario para conocer el proceso actual del tratamiento a los lixiviados desde su punto de generación hasta su disposición final (ver anexo 1). La información obtenida mediante este instrumento de investigación se detalla en la sección de resultados.

2.8.3 Caracterización de los lixiviados del relleno sanitario

Para realizar esta actividad se realizó el trámite respectivo al Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Yantzaza, para solicitar la información correspondiente a los análisis físico-químicos realizados a los lixiviados del relleno sanitario y se estableció los parámetros a caracterizar. Esta información recopilada y analizada se detalla en la sección de resultados.

2.9. Metodología para determinar el grado de eficiencia de las especies para el tratamiento de lixiviados generados en la celda provisional cerrada del relleno sanitario del cantón Yantzaza.

Para dar cumplimiento a este objetivo se realizaron las siguientes actividades.

2.9.1 Selección del sitio y los pasos para la construcción de las piscinas experimentales.

- **Selección del sitio**

En base al diagnóstico realizado, se eligió el lugar donde se construyó las dos piscinas experimentales (Ver fotografía 1), tomando en cuenta el sentido de las tuberías instaladas en el relleno para la recolección de los lixiviados desde la celda provisional hacia el filtro percolador de tratamiento previo y finalmente hacia la laguna de tratamiento y disposición final de los lixiviados.



Fotografía 1. Lugar donde se construyeron las piscinas experimentales

- **Pasos para la construcción de las piscinas experimentales.**

Para iniciar este proceso se realizó un diseño general de la estructura de esta investigación. La Figura 5 muestra el detalle del proceso experimental que se construyó.

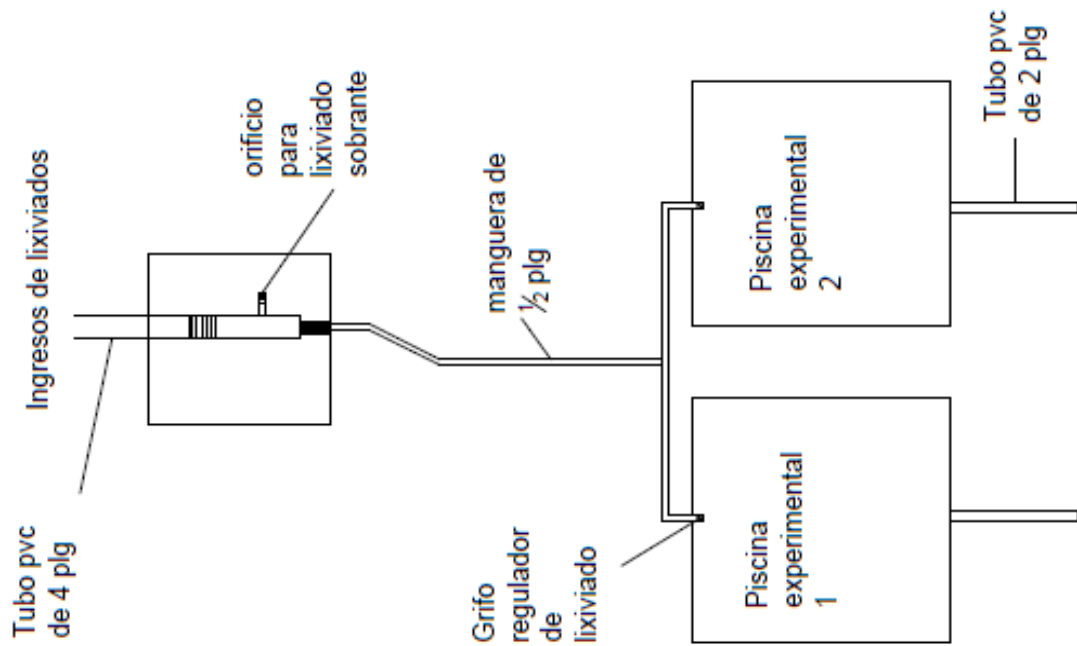


Figura 5. Diseño del proceso experimental construido

Con este diseño se inició la construcción de este experimento de acuerdo a los siguientes pasos:

Paso 1: Se construyeron dos piscinas para la experimentación, con las siguientes dimensiones:

Largo: Un metro (1 m)

Ancho: Un metro (1 m)

Profundidad: 0.50 m

La siguiente fotografía indica las piscinas experimentales que se construyeron.



Fotografía 2. Piscinas experimentales construidas

Paso 2: Para evitar la filtración de los lixiviados, se colocó en cada una de las piscinas una capa de plástico de color negro reforzado.



Fotografía 3. Colocación del plástico sobre las piscinas experimentales.

Paso 3: En el fondo de cada piscina, se ubicó de manera uniforme una capa de diez centímetros de piedra mediana.



Fotografía 4. Colocación de piedra mediana sobre la base de la piscina.

Paso 4: En las piscinas experimentales, sobre la piedra mediana, se colocó 5 cm de grava triturada (Fotografía 5) para facilitar el desarrollo de las especies vegetales.



Fotografía 5. Colocación de la grava triturada en el fondo de las piscinas experimentales

Paso 5: Luego se colocó una capa de seis centímetros de tierra en cada una de las piscinas, para favorecer el crecimiento de las especies vegetales a introducir.



Fotografía 6. Colocación de una capa de tierra en cada una de las piscinas experimentales

Paso 6: Se realizó las conexiones de tubería y manguera para trasladar los lixiviados desde la caja final de revisión de la celda provisional a las piscinas de experimentación.

Paso 7: Se procedió a realizar el ingreso de los lixiviados hacia las piscinas experimentales mediante la colocación de grifos en la parte final de la instalación (Ver fotografía 7), con la finalidad de regular el caudal de lixiviado que ingreso a la piscina, se determinó el caudal de lixiviados generados en la celda durante seis días no consecutivos (Ver anexo 10), de manera que tres días fueron soleados y tres días con precipitaciones, también se determinó el caudal de la celda de disposición final, tomando una medición cada día señalado. (Ver anexo 10).



Captación de los lixiviados desde la caja de revisión



Traslado de los lixiviados hacia las piscinas experimentales



Instalación para el ingreso del lixiviado a las piscinas



Instalación de la tubería para desagüe de lixiviados.

Fotografía 7. Fotos de la instalación que se realizó para captar el lixiviado y trasladar hacia las piscinas experimentales.

Del caudal de lixiviados generados en la celda provisional cerrada del relleno con un promedio aproximado de 0,09 lts/s, mediante las instalaciones realizadas se tomó únicamente un caudal de 0,01 lts/s, para que ingrese a las piscinas (Ver anexo 11) hasta finalizar el periodo de la investigación. Cada piscina tiene un volumen de 500 litros de almacenamiento de lixiviados.

El proceso consistió en ingresar mediante las llaves de paso (grifos) los lixiviados a cada piscina de manera constante los tres primeros meses, luego a partir del cuarto mes tomando en cuenta que al final de este se realizaron la toma de muestras para el análisis en laboratorio, se realizó el ingreso del lixiviado por el lapso de una hora, cumplido este tiempo establecido se procedió a cerrar el grifo, para que el lixiviado ingresado sea tratado y retenido durante un tiempo aproximado de dos días, cumplido este tiempo se procedía nuevamente abrir el grifo para continuar el proceso. Todo el proceso tuvo una duración de cuatro meses, pero durante el primer mes solo se observó el crecimiento de las especies, por lo que del periodo de la investigación (cuatro meses) el tiempo de tratamiento a los lixiviados fue de tres meses. La figura 5 indica el proceso establecido para el tratamiento de los lixiviados en las piscinas experimentales.

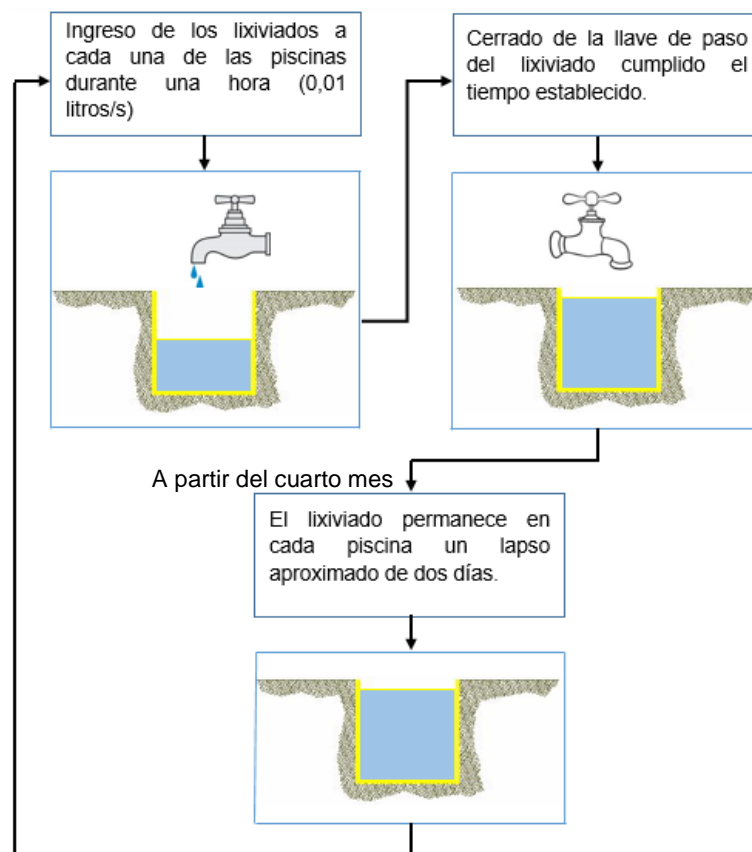


Figura 6. Proceso para el tratamiento de los lixiviados en las piscinas experimentales

La construcción de las piscinas experimentales, colocación de la cubierta e instalación de las conexiones necesarias de ingreso de los lixiviados (ver foto 8), fue realizado durante dos días no consecutivos.



Fotografía 8. Vista de las piscinas experimentales y la cubierta, construidas para realizar la investigación.

2.9.2 Adquisición, aclimatación, siembra y replante de las especies vegetales seleccionadas.

a) Adquisición.

Los estolones del pasto alemán se cogió de los lugares aledaños al sitio de la investigación, y la especie jacinto de agua fue adquirida y transportada desde la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Zumbi.

b) Aclimatación

El pasto alemán no tuvo ningún tipo de acondicionamiento para ser sembrado en la piscina experimental correspondiente, pero si el jacinto de agua, al cual se le hizo una aclimatación natural para que pierda en una parte considerable los

elementos que tiene absorbido desde su lugar de adquisición. Esto consistió en colocar las plantas de jacinto de agua en un recipiente grande con agua durante ocho días, el agua del recipiente se cambió una vez por día. La fotografía 9 muestra al jacinto de agua en el proceso de aclimatación.



Fotografía 9. Jacintos de agua en el proceso de aclimatación

c) Siembra

La siembra de las especies vegetales seleccionadas en las piscinas de experimentación se realizó mediante la siguiente densidad de plantas: el jacinto de agua se sembró aproximadamente con una densidad de 20 plantas (Ver fotografía 10), y el pasto alemán se sembró en la piscina correspondiente con una densidad de 15 plantas.



Fotografía 10. Sembrado de las respectivas plantas en cada piscina experimental construida

Algunas de las plantas sembradas en las piscinas experimentales, no se adaptaron debido al cambio de ambiente y características de su hábitat original, por lo que se procedió a realizar el replante de las plantas afectadas por otras de buenas condiciones, esto ocurrió únicamente con la especie jacinto de agua teniendo que hacer el replante de ocho plantas.

2.9.3 Monitoreo y control

El monitoreo y control de las plantas sembradas se realizó durante los cuatro meses correspondientes: marzo, abril, mayo y junio, para el reingreso de los lixiviados hacia las piscinas en el tiempo establecido (una hora) se realizó cada dos días a partir del cuarto mes hasta el día de la recolección de las muestras.

2.9.4 Tipo de envase y cantidad de muestra

- **Tipo de envase.**

Los envases para la recolección de las muestras fueron proporcionados por la empresa GRUNTEC, estos son de diferente tipo y tamaño de acuerdo a los parámetros previstos para analizar.



Fotografía 11. Frascos utilizados para la recolección de las muestras de los lixiviados

La cantidad de muestra a tomar esta dado por el volumen total del envase, cada envase varía su tamaño de acuerdo el parámetro que se analizó. La cantidad de lixiviado o muestra que se recogió desde las piscinas de experimentación para el análisis, y las características de los respectivos frascos se detalla en el siguiente cuadro.

Cuadro 5. Características de los frascos utilizados para el muestreo

Parámetro	Tipo de envase	Cant.	Cantidad (ml)
Físico químicos	Plástico	1	500
Aniones y no metales	Plástico	1	1000
Parámetros orgánicos	Plástico	1	40
Metales	Plástico	1	40

Fuente: Información recopilada por el autor

2.9.5 Recolección de la muestra del lixiviado

A los cuatro meses de instalado el experimento se procedió a realizar la toma de tres muestras que corresponden a: muestra uno, recolectada de los lixiviados antes de ingresar a los tratamientos.



Fotografía 12. Recolección de la muestra del lixiviado sin tratar

Esta muestra sirvió como testigo para comparar el nivel de descontaminación entre los dos tratamientos de las piscinas experimentales. Luego se recogió la muestra dos proveniente desde los lixiviados que salen de la piscina de tratamiento con el pasto alemán (*Echinochloa polystachya*).



Fotografía 13. Recolección de la muestra dos

El envase para recoger y colocar en los recipientes de muestreo (jarra de un litro) una vez recogido la muestra dos, se procedió a lavar para que no se altere el contenido de la muestra siguiente a recolectar. La muestra tres (Ver fotografía 14), fue recolectada desde los lixiviados que salen de la piscina de tratamiento con la especie vegetal jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).



Fotografía 14. Recolección de la muestra tres desde la piscina experimental con Jacinto de

2.9.6 Preparación y traslado de la muestra para su análisis

Una vez tomada las tres muestras en los recipientes respectivos, se procedió a realizar el etiquetado correspondiente a cada uno de los recipientes con la siguiente información:

- Rotulación de la muestra.
- Fecha:
- Hora de muestreo:
- Cantidad recolectada:
- Nombre de la persona que recolecta la muestra:
- Ubicación:
- Análisis:

Las muestras tomadas fueron trasladadas conjuntamente con las muestras que envía el Municipio para su respectivo análisis al laboratorio de la empresa GRUNTEC, más detalles (ver anexo 9).

2.9.7 Parámetros de análisis que se realizó a los lixiviados

Los parámetros de análisis a realizar en las muestras de los lixiviados, tomados desde antes del ingreso y luego de su paso por las piscinas de experimentación, han sido establecidos de acuerdo a lo que estipula el TULSMA, en el libro VI, anexo 6, literal 4.10.3 con respecto al análisis de lixiviados. Los parámetros analizados (cuadro 6) en esta investigación son los siguientes:

Cuadro 6. Parámetros establecidos para el análisis de los lixiviados

N°	PARÁMETRO	SIMBOLOGÍA
Físico químico		
1	Potencial de hidrogeno	pH
2	Dureza Total	Dureza T.
3	Sólidos Totales	Solidos T.
Aniones y No metales		
4	Alcalinidad total	Alcalinidad T.
5	Cloruro	
6	Sulfato	
Parámetros orgánicos		
7	Demanda Bioquímica de Oxigeno	DBO
8	Demanda Química de Oxigeno	DQO
9	Fenoles	
10	Nitrógeno Total.	Nitrógeno T.
Metales totales		
11	Hierro	Fe
12	Mercurio	Hg
13	Plomo	Pb
14	Sodio	Na

2.9.8 Pasos para desarrollar el modelo estadístico.

Una vez realizado el análisis de laboratorio a las dos muestras de lixiviados para evaluar que especie vegetal utilizada, presenta mayor potencial de fitorremediación, mediante el modelo estadístico establecido se determinó si existe o no diferencia significativa entre los resultados obtenidos de los dos tratamientos.

Los pasos para el desarrollo del modelo estadístico (Chi-cuadrado) son los siguientes:

Paso 1: Realizar una conjetura.

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

Paso 3: Calcular el valor de X^2 *calc.*

Paso 4: Determinar el valor de “p” y el grado de libertad.

Paso 5: Obtener el valor crítico.

Paso 6: Realizar una comparación entre el Chi-cuadrado calculado y el valor crítico

Paso 7: Interpretar la comparación.

El nivel de significancia establecido para este cálculo es de 0,05.

El proceso desarrollado para calcular el Chi-cuadro se encuentra en la sección 2.2 de los resultados del segundo objetivo.

2.9.9 Análisis de resultado de laboratorio

Se procedió a comparar los resultados obtenidos de los lixiviados antes del ingreso a la piscina de experimentación, con los resultados del análisis del lixiviado que sale de las piscinas de experimentación y estos a su vez con los límites permisibles máximos

establecidos en el TULSMA y otras normas nacionales e internacionales que se utilizaron en esta investigación. Esto se detalla en la sección de resultados.

2.10. Metodología para elaborar una propuesta, para mejorar el manejo de lixiviados en el relleno sanitario del cantón Yantzaza.

Para el cumplimiento a este objetivo se procedió a partir de los resultados que se obtuvo del análisis de laboratorio a los lixiviados salientes desde las piscinas del proceso de fitorremediación con las especies: pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) y jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), y se procedió a realizar una propuesta para el tratamiento de los lixiviados del relleno.

F. RESULTADOS

1. Caracterizar el proceso del tratamiento actual a los lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Yantzaza.

En lo referente a la recopilación de información secundaria, los aspectos más importantes extraídos desde el Estudio de Impacto Ambiental y memoria técnica del relleno sanitario acerca de los lixiviados generados en este relleno sanitario se presentan son los siguientes resultados.

El relleno sanitario tiene una proyección de vida útil de 15 años aproximadamente a partir de su instalación, para el funcionamiento tiene dos celdas principales para la recolección de los lixiviados: La celda de disposición provisional (Ver Fotografía 15) con un área aproximada de 1600 m², que actualmente se encuentra cerrada.



Fotografía 15. Observamos la celda de disposición provisional cerrada

Y la celda de disposición final con un área aproximada de 1850 m² que actualmente se encuentra en uso (Fotografía 16).



Fotografía 16. Vista panorámica de la celda de disposición final de los desechos sólidos

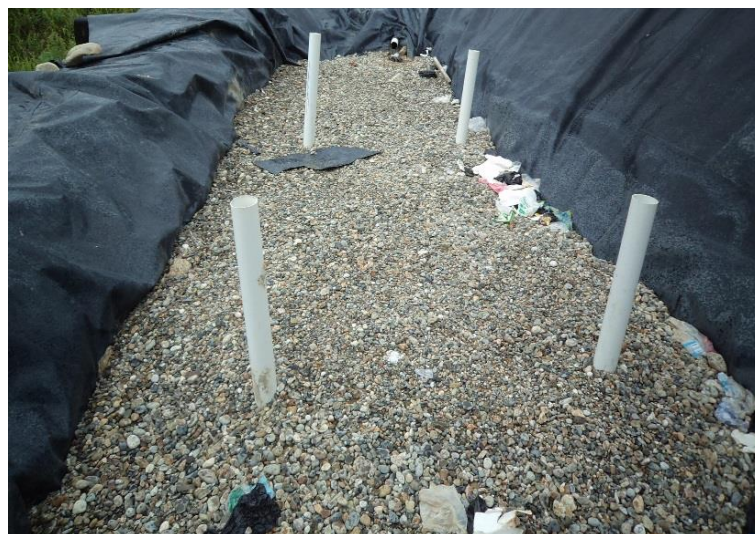
Cada celda tiene instalado en su base un sistema de recolección de los lixiviados mediante tubería pvc perforada de 4 pulgadas. En cuanto al drenaje de los lixiviados, a pesar de tener canales periféricos para interceptar y desviar las aguas de escorrentía, la lluvia que cae directamente sobre la superficie del relleno aumenta significativamente el volumen de lixiviado, por lo tanto, se ha construido un sistema de drenaje en las zanjas que sirve de base antes del depósito de residuos con el objeto de retener el líquido lixiviado en el interior del relleno.

En lo referente al Sistema de tratamiento de lixiviados la evacuación del lixiviado generado en el relleno se lo realiza mediante zanjas de drenaje construidas en el fondo del relleno. Estos drenes están constituidos por piedras las cuales actúan adicionalmente como filtro biológico, debido a la capa biológica que se desarrolla alrededor del medio filtrante.

Adicionalmente al tratamiento que se produce en el sistema de drenaje, se ha previsto el diseño del tratamiento del lixiviado, mediante filtros percoladores (Fotografía 17), estos filtros tienen un volumen aproximado de

27 m³, están rellenos de piedra común o piedra pómez cuyo tamaño medio granular es de 4 a 8 cm, su altura desde su base es de 2,50 m. Dicho tamaño de grano se conserva en toda la altura del filtro, excepto en una capa final de 20 cm de espesor que disminuye entre 2 y 4 cm. En el fondo de los filtros, para facilitar la salida del agua, se dispone una capa de soporte de 15 cm de altura, con piedras entre 8 y 10 cm.

El filtro percolador se lo ha diseñado de forma abierta, con el fin de posibilitar la aireación natural, adicionalmente se ha construido sobre el suelo natural taludes perimetrales. En el fondo se ha dispuesto una red de tuberías colectoras (160 mm), con laterales de 110 mm dispuestos cada 2 metros, unidos a un ramal ascendente que, a partir de un codo de 45°, emerge en la superficie en una longitud de hasta 0.50 metros. Las tuberías laterales tienen perforaciones de 1 cm de diámetro cada 20 centímetros de longitud.



Fotografía 17. Filtro percolador para el pretratamiento de los lixiviados

Celda de tratamiento biológico.

La celda de tratamiento biológico (Fotografía 18) en forma de un polígono con un área de 60 m² y un metro de profundidad, está ubicada en la parte baja del relleno sanitario, y es el lugar donde se descargan todos los

lixiviados generados en el relleno, previo a su paso por las zanjas de recolección, filtros percoladores y cajas de revisión, en su base existe una red de tuberías perforadas para la recolección de los lixiviados hacia su disposición final. Para el tratamiento del lixiviado se utiliza el proceso de fitorremediación con la especie vegetal pasto alemán (*Echinochloa polystachya*).



Fotografía 18. Laguna de tratamiento de los lixiviados

1.1. Resultados de la caracterización a los lixiviados del relleno sanitario realizada por el Municipio.

Los resultados de la caracterización de los lixiviados generados en el relleno sanitario para los parámetros establecidos en esta investigación se obtuvieron del último reporte de análisis realizado a los lixiviados por parte del Municipio. Dichos análisis corresponden al 31 de diciembre del año 2013 (Ver anexo 12).

De acuerdo a los resultados de la caracterización a los lixiviados del relleno sanitario realizados por el Municipio se obtuvieron los siguientes datos.

Cuadro 7. Caracterización de los resultados de los análisis realizados por el Municipio a los lixiviados del relleno sanitario

Rotulación Muestra:	Descarga del lixiviados después del tratamiento en la laguna.	Límite máximo permisible tabla 12 TULSMA	Método adaptado de referencia
Físico químico			
pH	7,6	5 – 9	SH 4500 H
Dureza T. (mg/L)	305	300	Resolución 2115, 2007
Sólidos Totales (mg/L)	1696	1600	SM 2540 B
Aniones y no metales			
Cloruro (mg/L)	225	1000	EPA 300.1
Sulfato (mg/L)	40	1000	EPA 300.1
Parámetros orgánicos			
DBO (mg/L)	54	100	SM 5210 B,D
DQO (mg/L)	180	250	SM 5220 D
Fenoles (mg/L)	<0,001	0,2	EPA 420.1
Nitrógeno T. (mg/L)	<10	100*	
Metales totales			
Hierro	2,9	10	EPA 6020 A
Mercurio	<0,0006	0,005	EPA 6020 A
Plomo	<0,003	0,2	EPA 6020 A
Sodio	247	200**	EPA 6020 A

*(Romero, 2005)

**Norma oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994

Fuente: Departamento de Desarrollo Integral Comunitario, GAD Yantzaza.

En lo concerniente a la caracterización de los parámetros en los lixiviados se obtuvo los siguientes resultados:

Parámetros Físico químicos.

En el cuadro 7 el valor de pH es de 7,6 el cual está dentro de los límites máximos permisibles de acuerdo al TULSMA. El valor del parámetro caracterizado para Dureza Total es de 305 mg/L, el cual sobrepasa el límite permisible 300 mg/L, establecido en la resolución 2115 del 2007. El resultado del parámetro Sólidos Totales es de 1696 mg/L, el cual sobrepasa los límites permisibles establecidos por el TULSMA.

Parámetros de aniones y no metales.

En el cuadro 7 el resultado del parámetro Cloruros es de 225 mg/L, el cual está dentro del límite máximo permisible establecido por el TULSMA y del parámetro Sulfatos es de 40 mg/L, lo que también está dentro del límite máximo permisible establecido por el TULSMA.

Parámetros orgánicos

En el cuadro 7 el valor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es de 54 mg/L el cual está dentro de los límites máximos permisibles de acuerdo al TULSMA. El valor del parámetro Demanda Química de Oxígeno (DQO) es de 180 mg/L, el cual está dentro del límite máximo permisible establecido en el texto ambiental nacional TULSMA. El valor del parámetro Fenoles es menor a 0,001 mg/L, el cual se ubica dentro del límite permisible establecido por el TULSMA. El valor del parámetro Nitrógeno Total es menor a 10 mg/L, el cual está dentro del límite permisible establecido por Romero, 2005.

Parámetros metales totales

En cuanto al análisis caracterizado del parámetro Hierro el resultado en el cuadro 7 es 2,9 mg/L, el cual está dentro del límite máximo permisible establecido por el TULSMA; el valor del Mercurio es menor a 0,0006 mg/L, el cual está dentro del límite máximo permisible de acuerdo al TULSMA; El valor del parámetro Plomo es de 0,003 mg/L por lo tanto se encuentra dentro del límite máximo permisible establecido según el TULSMA; y el valor del parámetro Sodio es de 247 mg/L, el cual sobrepasa el límite permisible establecido por NOM-127-SSA1-1994.

También se realizó una encuesta al Dr. Víctor Agreda director encargado temporal del relleno sanitario y a la Ing. María Medina técnica del relleno, acerca de algunos aspectos importantes sobre el tratamiento de los lixiviados generados en este relleno sanitario, y se obtuvo los siguientes resultados.

- La cantidad de lixiviados generado en el relleno sanitario desde la celda de disposición provisional (actualmente cerrada) y la celda de disposición final (actualmente en uso), corresponde aproximadamente a la cantidad de 0,28 litros/segundo.
- En lo concerniente al proceso de caracterización de los lixiviados para su respectivo análisis en laboratorio, se recolecto las siguientes cantidades de muestras en recipientes de tipo, capacidad y almacenamiento diferentes como se detalla a continuación: La muestra para los análisis físico químicos se recogió en un recipiente estéril de plástico con un volumen de 500 ml, para los análisis de aniones y no metales se recogió en dos recipientes estériles de vidrio con un volumen de 500 ml cada uno, la muestra para los parámetros orgánicos se recolecto en un recipiente estéril de vidrio con un volumen de 1000 ml, y la muestra para los parámetros de metales totales se recogió en un recipiente de plástico estéril de 40 ml.
- Debido al crecimiento poblacional en especial dentro sector urbano tanto en la ciudad de Yantzaza como en sus dos parroquias: Chicaña y los Encuentros, la cantidad aproximada de residuos que ingresan al relleno sanitario actualmente corresponde a: 4550 kg/día de basura biodegradable y un total aproximado de 10590 kg/día de basura no biodegradable.
- En el relleno sanitario se ha implementado para el tratamiento final de los lixiviados, una laguna de tratamiento con la especie vegetal pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) en un área aproximada de 60 m², se ha escogido este tipo de tratamiento debido a que esta planta posee una característica de fitorremediación considerable y también por la presencia de esta planta en los alrededores del relleno sanitario. En cuanto a la eficiencia de la laguna para el tratamiento de los lixiviados de acuerdo a

los análisis realizados, se ha obtenido que algunos de los parámetros analizados, sus resultados están por debajo de los límites permisibles establecidos en el TULSMA por lo que consideramos según nuestro criterio, que este método de tratamiento final a los lixiviados es bueno.

- El sistema para la recolección de los lixiviados en el relleno sanitario es mediante tuberías de cuatro pulgadas perforadas y colocadas en la forma de espina de pescado conectados hacia un sistema central de recolección sobre la base de las celdas. Además se cuenta con un sistema de impermeabilización del talud y base de las celdas para evitar la contaminación del agua freática mediante la colocación de geomembrana.
- Existe un sistema de mantenimiento para la laguna de tratamiento de los lixiviados que consiste en la extracción, limpieza y el replante inmediato de la especie vegetal pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) para continuar con el proceso (esta actividad no se está realizando actualmente), únicamente se realiza el mantenimiento constante en los alrededores de la laguna de tratamiento a través de la eliminación de malezas que se desarrollan en esta área.

2. Determinar el grado de eficiencia de las especies para el tratamiento de lixiviados generados en la celda provisional cerrada del relleno sanitario del cantón Yantzaza.

2.1 Resultados de los análisis de laboratorio realizado a los lixiviados sin tratar, tratamiento uno (T1) y tratamiento dos (T2).

Los resultados del análisis a los lixiviados sin tratar, tratamiento uno y tratamiento dos obtenidos del laboratorio de la empresa GRUNTEC, se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 8. Resultado de los análisis a los lixiviados sin tratar, tratamiento uno (T1) y tratamiento dos (T2)

N°	PARÁMETROS	Lixiviado sin tratar	(T1) Pasto alemán	(T2) Jacinto de Agua.	L/p
Físico químicos					
1	pH	7,3	7,8	7,6	5-9
2	Dureza total mg/L	470	366	373	300 ¹⁾
3	Sólidos Totales mg/L	2491	1770	1688	1600
Aniones y no metales					
4	Alcalinidad T. mg/L	772	1270	1263	250 ²⁾
5	Cloruro mg/L	156	158	150	1000
6	Sulfato mg/L	<1,0	<0,5	<0,5	1000
Parámetros orgánicos					
7	DBO mg/L	14	32	100	100
8	DQO mg/L	150	142	151	250
9	Fenoles mg/L	0,003	0,004	0,004	0,2
10	Nitrógeno T mg/L	143	97	90	100 ³⁾
Metales totales					
11	Hierro mg/L	21	3,3	4,9	10
12	Mercurio	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,005
13	Plomo mg/L	<0,0025	<0,0025	<0,0025	0,2
14	Sodio mg/L	190	184	175	200 ⁴⁾

1) Resolución 2115, 2007 2) Suarez, 2004 3) Romero, 2005 4) NOM-127-SSA1-1994

Se analizó los datos del análisis en laboratorio a los lixiviados sin tratar, tratamiento uno, tratamiento dos, y se estableció los siguientes resultados.

Parámetro potencial de Hidrogeno (pH)

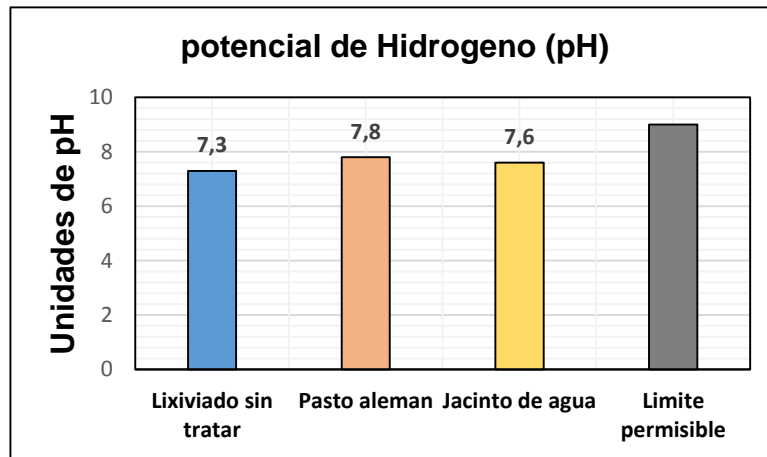


Figura 7. Resultados del parámetro pH analizado en los tratamientos

En la figura 7, los resultados del parámetro pH son: lixiviado sin tratar 7,3 tratamiento con pasto alemán 7,8 y el tratamiento con jacinto de agua 7,6; existe un incremento del pH en los tratamientos y dichos resultados están dentro del límite máximo permisible de acuerdo al TULSMA.

Parámetro Dureza Total

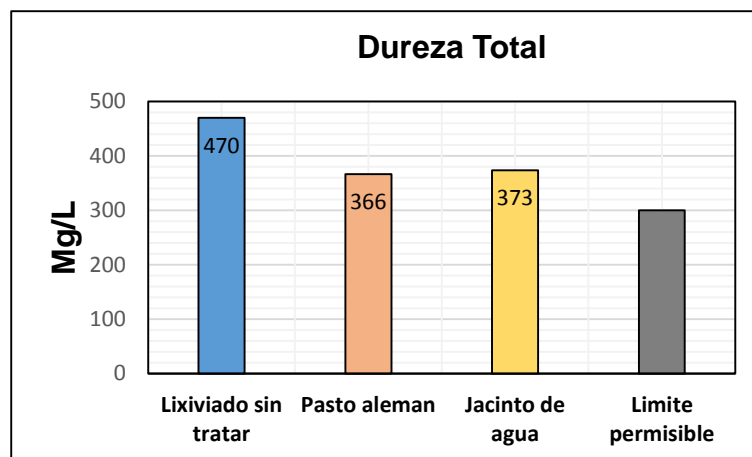


Figura 8. Resultados del parámetro Dureza Total analizado en los tratamientos

En la figura 8, los valores del parámetro dureza total son: lixiviado sin tratar 470 mg/L, lixiviado tratado con pasto alemán 366 mg/L y lixiviado tratado con jacinto de agua 373 mg/L; los tratamientos sobrepasan el límite permisible.

Parámetro Sólidos Totales

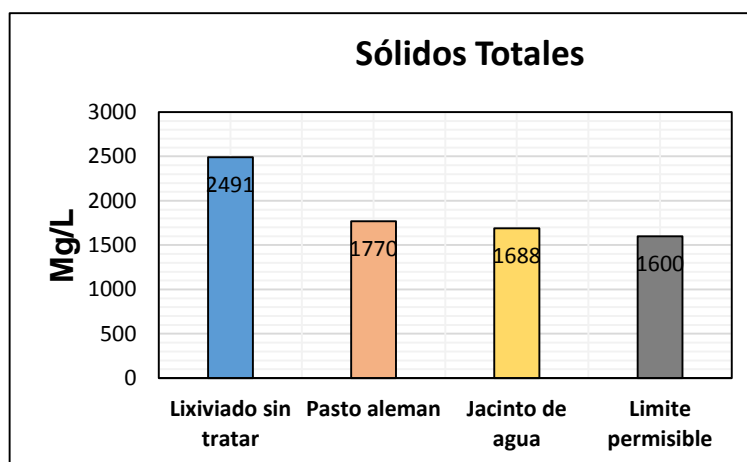


Figura 9. Resultados del parámetro Sólidos Totales analizado en los tratamientos

De acuerdo a la figura 9, los resultados del parámetro Sólidos totales fueron: lixiviado sin tratar 2491 mg/L, lixiviado tratado con pasto alemán 1770 mg/L y lixiviado tratado con jacinto de agua 1688 mg/L; estos valores están fuera del límite máximo permisible establecido por el TULSMA.

Parámetro Alcalinidad

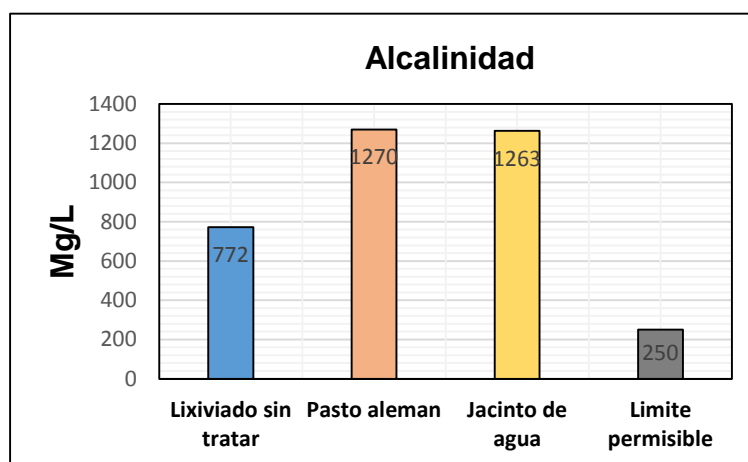


Figura 10. Resultados obtenidos del parámetro Alcalinidad analizado en los tratamientos

En la figura 10, los resultados del parámetro Alcalinidad son: lixiviado sin tratar 772 mg/L, lixiviado tratado con pasto alemán 1270 mg/L y lixiviado tratado con jacinto de agua 1263 mg/L, los resultados de los tratamientos están fuera del límite máximo permisible.

Parámetro Cloruros.

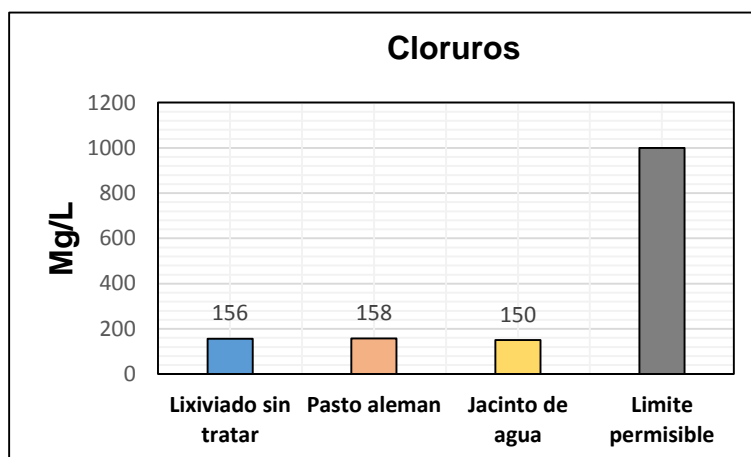


Figura 11. Resultados obtenidos del parámetro Cloruros analizado en los tratamientos

En la figura 11, los resultados del parámetro de Cloruros son: lixiviado sin tratar 156 mg/L, lixiviado tratado con pasto alemán 158 mg/L y lixiviado tratado con jacinto de agua 150 mg/L, los cuales están dentro del límite máximo permisible según el TULSMA.

Parámetro Sulfatos.

En el cuadro 8, el valor de este parámetro analizado son: lixiviados sin tratar igual a <1,0 mg/L, lixiviado tratado con pasto alemán <0,5 mg/L y tratamiento con jacinto de agua <0,5 mg/L, estos resultados están dentro del límite máximo permisible establecido en el TULSMA.

Parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno

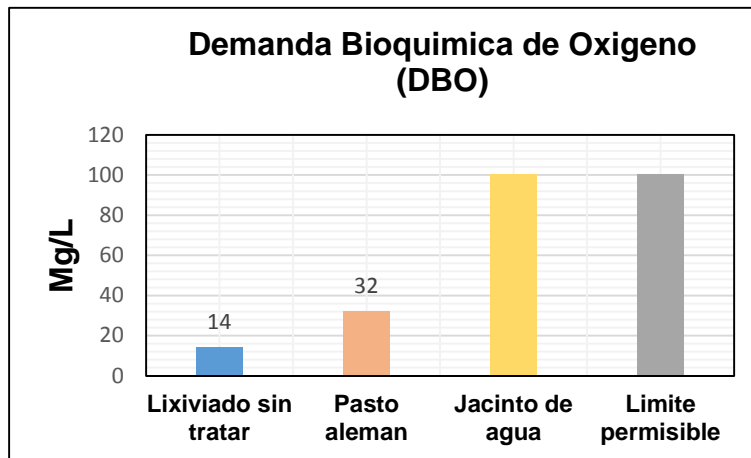


Figura 12. Resultados del parámetro DBO analizado en los tratamientos

Según la figura 12, los resultados analizados del parámetro DBO son: lixiviado sin tratar 14 mg/L, lixiviado tratado con pasto alemán: 32 mg/L y lixiviado tratado con jacinto de agua: 100 mg/L, dichos resultados demuestran que el lixiviado sin tratar tiene una concentración menor de DBO que el mismo lixiviado tratado con pasto alemán (T1) y jacinto de agua (T2); cabe destacar que el lixiviado en los tratamientos uno y dos no recibió ningún tratamiento con respecto a este parámetro, siendo uno de los más importantes en un efluente y el mejor asimilado por el jacinto de agua. Dichos resultados demuestran que a pesar del incremento de la concentración de DBO en los tratamientos, los resultados están dentro o igual al límite permisible según el TULSMA.

Parámetro Demanda Química de Oxígeno (DQO)

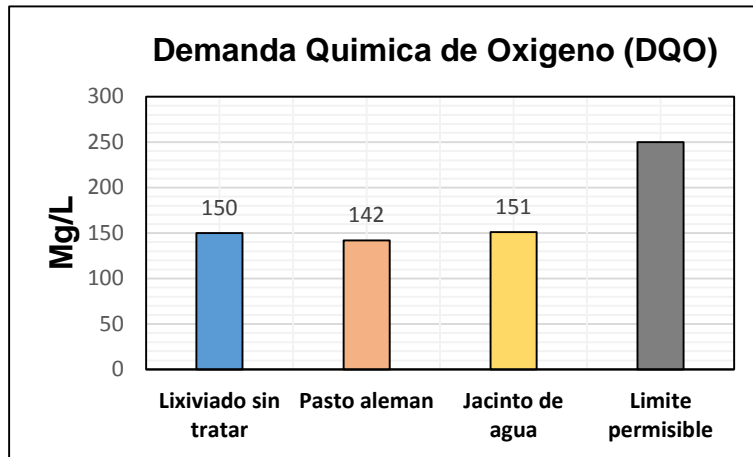


Figura 13. Resultados del parámetro DQO analizado en los tratamientos

De acuerdo a la figura 13, los resultados analizados del parámetro DQO son: lixiviados sin tratar 150 mg/L, lixiviado tratado con pasto alemán: 142 mg/L y lixiviado tratado con jacinto de agua 151 mg/L. Estos resultados están dentro del límite máximo permisible establecido en el TULSMA. Es importante resaltar que de acuerdo al resultado de laboratorio la concentración de DQO en el tratamiento con el jacinto de agua incrementa en una unidad.

Parámetro Fenoles

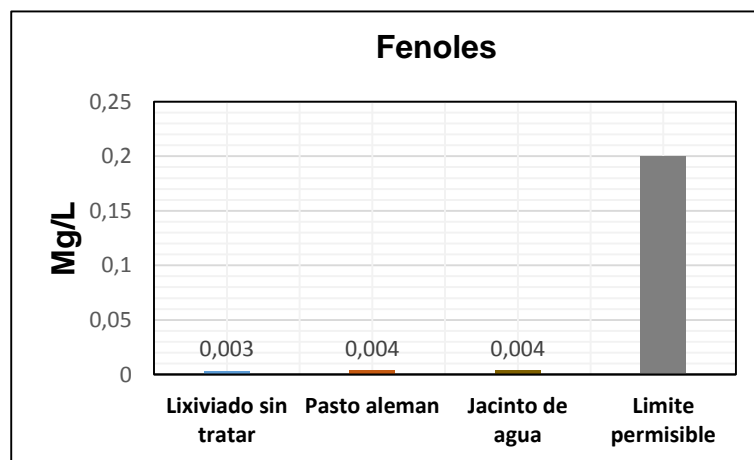


Figura 14. Resultados obtenidos del parámetro Fenoles analizado en los tratamientos

En la figura 14, el valor del parámetro Fenoles en el lixiviado sin tratar es 0,003 mg/L, tratamiento con pasto alemán 0,004 mg/L y tratamiento con jacinto de agua 0,004 mg/L, los cuales están dentro del límite máximo permisible.

Parámetro Nitrógeno Total

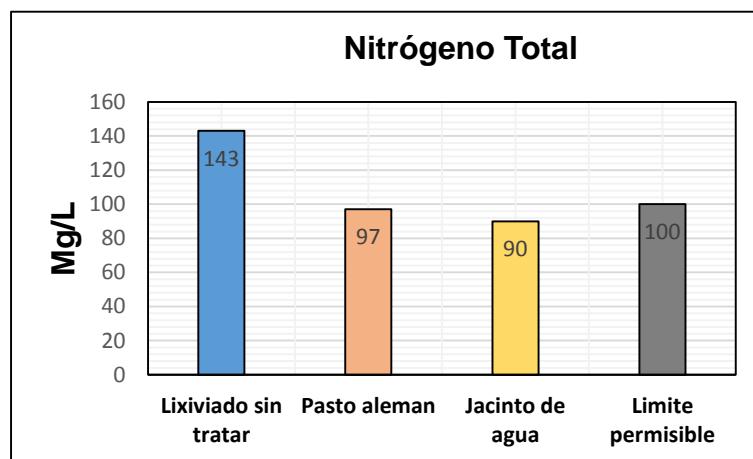


Figura 15. Resultados del parámetro Nitrógeno Total analizado en los tratamientos.

Los resultados del parámetro Nitrógeno Total como se muestra en la figura 15 son: lixiviado sin tratar 143 mg/L, lixiviado tratado con pasto alemán 97 mg/L y lixiviado tratado con jacinto de agua 90 mg/L, estos resultados están bajo el límite máximo permisible establecido por (Romero, 2005).

Parámetro Hierro

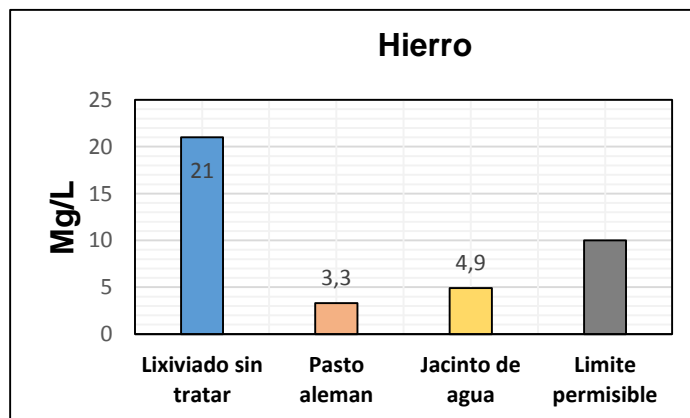


Figura 16. Resultados del parámetro Hierro analizado en los tratamientos

En la figura 16 los valores del parámetro Hierro son: lixiviado sin tratar 21 mg/L, lixiviado tratado con pasto alemán 3,3 mg/L y lixiviado tratado con jacinto de agua 4,9 mg/L, los resultados están dentro de los límites permisibles.

Parámetro Mercurio

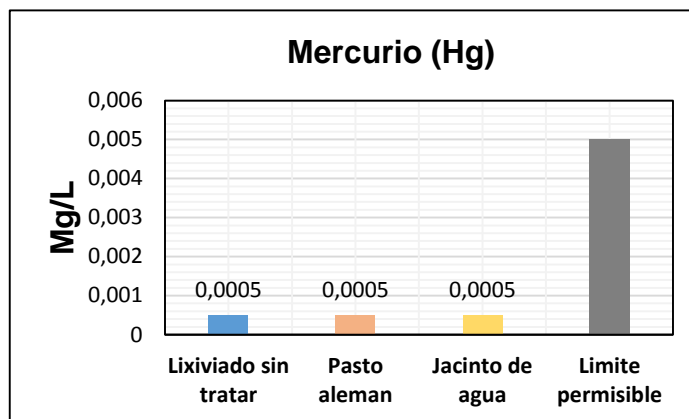


Figura 17. Resultados obtenidos del parámetro Mercurio analizado en los tratamientos

Los resultados analizados del parámetro Mercurio de acuerdo a la figura 17 son: lixiviado sin tratar menor a 0,0005 mg/L, lixiviado tratado con pasto alemán menor a 0,0005 y lixiviado tratado con jacinto de agua menor a 0,0005 mg/L. Estos resultados están dentro del límite permisible del TULSMA.

Parámetro Plomo

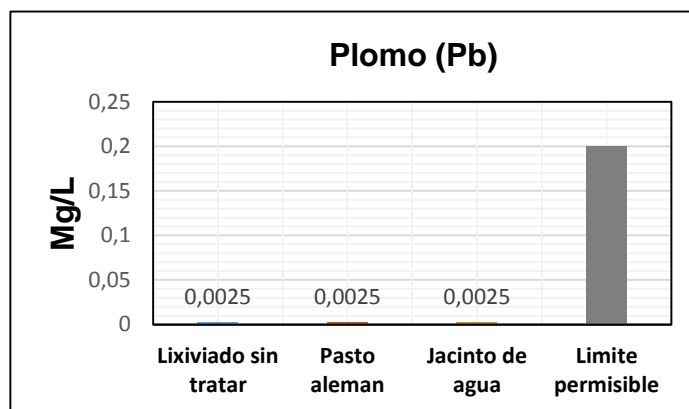


Figura 18. Resultados del parámetro Plomo

De acuerdo a la figura 18, los resultados analizados de parámetro Plomo son: lixiviado sin tratar 0,0025 Mg/L, lixiviado tratado con pasto alemán 0,0025 Mg/L y lixiviado tratado con jacinto de agua 0,0025 Mg/L; dichos resultados se ubican dentro del límite permisible establecido por el TULSMA.

Parámetro Sodio

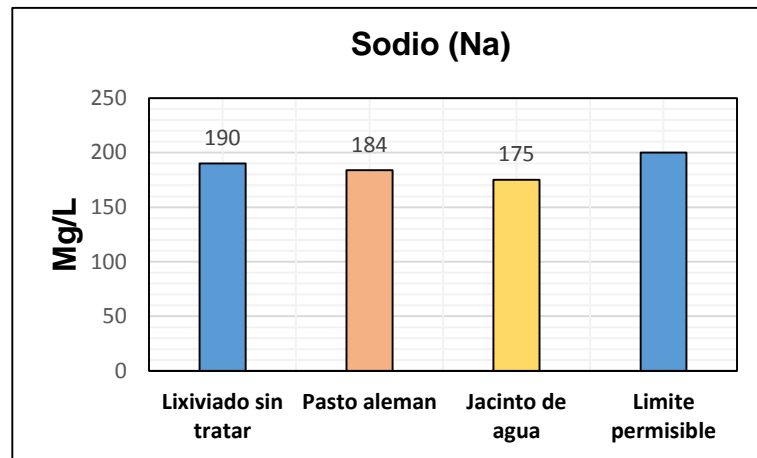


Figura 19. Resultados del parámetro Sodio

En la figura 19 los valores del parámetro Sodio son: lixiviado sin tratar 190 mg/L, lixiviado tratado con pasto alemán 184 mg/L y lixiviado tratado con jacinto de agua 175 mg/L, estos resultados están dentro del límite permisible tomado para este estudio.

2.2 Desarrollo del método estadístico no paramétrico “Chi-cuadrado (X²)” para los parámetros establecidos:

El propósito del desarrollo de este método estadístico es calcular el valor del Chi-cuadrado y el valor crítico (v.c) para realizar el contraste de las hipótesis planteadas en esta investigación.

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

1. Hipótesis

La descontaminación de lixiviados en el relleno sanitario del cantón Yantzaza, depende del potencial fitorremediador de las especies a utilizar.

2. Planteamiento de la hipótesis nula y la hipótesis alternativa

Hipótesis Nula (H₀)

La efectividad del tratamiento de los lixiviados por el proceso de fitorremediación, no difiere entre el uso de la especie vegetal pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) y jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

Hipótesis Alternativa (H₁)

La efectividad del tratamiento de los lixiviados por el proceso de fitorremediación, si difiere entre el uso de la especie vegetal pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) y jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

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 pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) y jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

Cuadro 9. Tabla de contingencia con las frecuencias observadas en los tratamientos uno y dos

Parámetro	Tratamiento 1	Tratamiento 2
pH	7,8	7,6
Dureza T.	366	373
Sólidos T.	1770	1688
Alcalinidad T.	1270	1263
Cloruro	158	150
Sulfato	0,5	0,5
DBO	32	100
DQO	142	151
Fenoles	0,004	0,004
Nitrógeno T.	97	90
Hierro	3,3	4,9
Mercurio	0,0005	0,0005
Plomo	0,0025	0,0025
Sodio	184	175

Con los datos del cuadro 9, correspondiente a las frecuencias observadas en los resultados analizados de los lixiviado tratados en las piscinas experimentales (Tratamiento 1 y Tratamiento 2), 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.

Cuadro 10. Resultados de la suma de las frecuencias observadas

Parámetro	Tratamiento	Tratamiento	Total
	1	2	
pH	7,8	7,6	15,4
Dureza T.	366	373	739
Sólidos T.	1770	1688	3458
Alcalinidad T.	1270	1263	2533
Cloruro	158	150	308
Sulfato	0,5	0,5	1
DBO	32	100	132
DQO	142	151	293
Fenoles	0,004	0,004	0,008
Nitrógeno T.	97	90	187
Hierro	3,3	4,9	8,2
Mercurio	0,0005	0,0005	0,001
Plomo	0,0025	0,0025	0,005
Sodio	184	175	359
Total	4030,607	4003,007	8033,614

Con los datos del cuadro 10. Se utilizó la siguiente fórmula para determinar los valores de las frecuencias esperadas.

$$Fe = (\Sigma c. * \Sigma f.) / \Sigma \text{ total}$$

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 del cuadro 10, se obtuvo las frecuencias esperadas de los resultados del análisis a los lixiviados de los tratamientos uno y dos.

Cuadro 11. Tabla de contingencia con las frecuencias esperadas

Parámetro	Tratamiento 1	Tratamiento 2
pH	7,7265	7,6735
Dureza T.	370,7694	368,2306
Sólidos T.	1734,9401	1723,0599
Alcalinidad T.	1270,8511	1262,1489
Cloruro	154,5291	153,4709
Sulfato	0,5017	0,4983
DBO	66,2267	65,7733
DQO	147,0033	145,9967
Fenoles	0,0040	0,0040
Nitrógeno T.	93,8212	93,1788
Hierro	4,1141	4,0859
Mercurio	0,0005	0,0005
Plomo	0,0025	0,0025
Sodio	180,1167	178,8833

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

$$X^2 = \sum \frac{(fo - fe)^2}{fe}$$

Donde:

X^2 = Chi cuadrado

fo = Frecuencia del valor observado

fe = Frecuencia del valor esperado

Desarrollo del procedimiento para el cálculo del Chi-cuadrado (χ^2)

$$\begin{aligned} \chi^2 = & ((7,8 - 7,7265)^2/7,7265) + ((7,6 - 7,6735)^2/7,6735) + ((366 - \\ & 370,7694)^2/370,7694) + ((373 - 368,2306)^2/368,2306) + ((1770 - \\ & 1734,9401)^2/1734,9401) + ((1668 - 1723,0599)^2/1723,0599) + \\ & ((1270 - 1270,8511)^2/1270,8511) + ((1263 - \\ & 1262,1489)^2/1262,1489) + ((158 - 154,5291)^2/154,5291) + ((150 \\ & - 153,4709)^2/153,4709) + ((0,5 - 0,5017)^2/0,5017) + ((0,5 - \\ & 0,4983)^2/0,4983) + ((32 - 66,2267)^2/66,2267) + ((100 - \\ & 65,7733)^2/65,7733) + ((142 - 147,0033)^2/147,0033) + ((151 - \\ & 145,9967)^2/145,9967) + ((0,004 - 0,0040)^2/0,0040) + ((0,004 - \\ & 0,0040)^2/0,0040) + ((97 - 93,8212)^2/93,8212) + ((90 - \\ & 93,1788)^2/93,1788) + ((3,3 - 4,1141)^2/4,1141) + ((4,9 - \\ & 4,0859)^2/4,0859) + ((0,0005 - 0,0005)^2/0,0005) + ((0,0005 - \\ & 0,0005)^2/0,0005) + ((0,0025 - 0,0025)^2/0,0025) + ((0,0025 - \\ & 0,0025)^2/0,0025) + ((184 - 180,1167)^2/180,1167) + ((175 - \\ & 178,8833)^2/178,8833). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \chi^2 = & 0,0007 + 0,0007 + 0,0614 + 0,0618 + 0,7085 + 0,7134 + 0,0006 + \\ & 0,0006 + 0,0780 + 0,0785 + 0,0000 + 5,921 \times 10^{-6} + 17,6888 + \\ & 17,8107 + 0,1703 + 0,1715 + 4,71 \times 10^{-8} + 4,74 \times 10^{-8} + 0,1077 + \\ & 0,1084 + 0,1611 + 0,1622 + 5,8813 \times 10^{-9} + 5,9219 \times 10^{-9} + \\ & 2,9407 \times 10^{-8} + 2,9609 \times 10^{-8} + 0,0837 + 0,0843. \end{aligned}$$

$$\chi^2 = 38,2528$$

4. Determinamos el valor de "p" y el grado de libertad.

Se determinó el valor de "p".

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

P = 1- 0,05

P = 0,95

Se determinó el grado de libertad (V)

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

$$V = (14 - 1) * (2 - 1)$$

$$V = (13) * (1)$$

$$V = 13$$

5. Obtener el valor crítico

De acuerdo a la tabla para valores de Chi-cuadrado (X^2). Ver anexo 14, el valor crítico (vc) es:

$$vc = 22,362$$

6. Realizar una comparación entre el Chi-cuadrado calculado (X^2 calc.) y el valor crítico (vc).

X^2 calc	\leq	vc
38,2528		22,362

7. Interpretar la comparación

Si el valor del Chi-cuadrado calculado es menor o igual que el Chi-cuadrado crítico entonces se acepta la hipótesis nula, caso contrario no se la acepta.

El Chi-cuadrado calculado: 38,2528 es mayor que el Chi-cuadrado crítico: 22,362 entonces se rechaza la **hipótesis nula (Ho)**: La efectividad del tratamiento de los lixiviados por el proceso de fitorremediación, no difiere entre el uso de la especie vegetal pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) y jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). Y se acepta 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 pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) y jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

- 3. Elaborar una propuesta para mejorar el manejo de lixiviados en el relleno sanitario del cantón Yantzaza, con la especie vegetal que tenga mayor potencial fitorremediador.**

PROPUESTA.

Introducción.

El relleno sanitario ha sido implementado en el año 2009 para el tratamiento integral de los desechos sólidos que se generan en el cantón Yantzaza y sus dos parroquias aledañas “Los Encuentros” y “Chicaña”. Los lixiviados que se generan en el relleno son tratados en una laguna mediante el proceso de fitorremediación con pasto alemán (*Echinochloa polystachya*). La siguiente propuesta está enfocada a proponer que el tratamiento final de los lixiviados del relleno sanitario se realice con la especie vegetal jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) debido a que en el desarrollo de esta investigación utilizando un modelo estadístico no paramétrico se obtuvo resultados que esta especie tiene mayor potencial fitorremediador tomando en cuenta únicamente el número de parámetros asimilados frente a la otra especie pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) que actualmente se utiliza para el tratamiento final de los lixiviados en el relleno sanitario.

Objetivo.

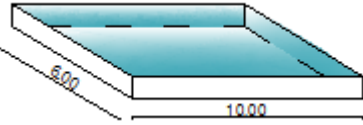
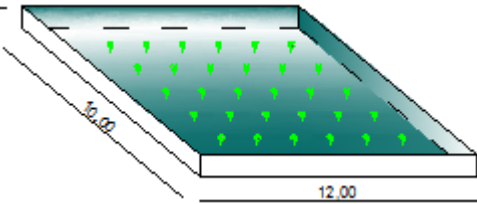
Elaborar una propuesta para mejorar el tratamiento de los lixiviados del relleno sanitario del cantón Yantzaza.

Desarrollo.

El objetivo de esta propuesta está basada en los resultados de esta investigación, específicamente en los resultados de los análisis de laboratorio a los lixiviados del relleno sanitario que fueron tratados para disminuir su concentración de contaminantes con dos especies vegetales utilizadas en esta investigación, por un lapso total de cuatro meses mediante el proceso de fitorremediación. Los resultados obtenidos mediante el uso de un modelo estadístico no paramétrico “Chi-cuadrado” demostraron que frente a los parámetros establecidos en esta investigación la especie vegetal que tiene mayor potencial fitorremediador es el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), por lo que se propone que el tratamiento para disminuir el nivel de contaminantes de los lixiviados se realice con esta especie. La definición de que el jacinto de agua tiene mayor potencial fitorremediador frente al pasto alemán se refiere en cuanto al número de parámetros asimilados en cada especie (pasto alemán 3, jacinto de agua 4) sin tomar en cuenta la importancia de los parámetros para determinar el nivel de contaminación de un efluente (DBO y DQO). Además la siguiente propuesta presenta algunas medidas adicionales para mejorar el funcionamiento y el tratamiento de los lixiviados generados en el relleno. La estructura principal de la propuesta consta de: la medida, actividades y costos.

La siguiente medida trata sobre la ampliación de la laguna de tratamiento de los lixiviados.




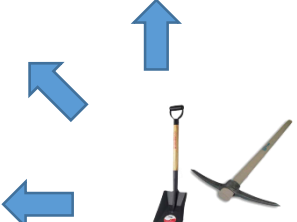
- 3.1 Medida 1.** Ampliación y siembra del jacinto de agua para el sistema de tratamiento final a los lixiviados generados en el relleno sanitario.

Medida 1	Ampliación y siembra del jacinto de agua para el sistema de tratamiento final a los lixiviados generados en el relleno sanitario.
Actividades	<p>Las actividades más importantes para el cumplimiento de esta medida, se consideraron las siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar las instalaciones necesarias para recoger los lixiviados generados en el relleno sanitario y dejar libre el área a intervenir como es la laguna de tratamiento final. 2. Ampliar el área de la laguna del tratamiento final de los lixiviados mediante la excavación del suelo con una retroexcavadora, el área actual de la laguna es de 60 m² por lo que debería ampliarse a 120 m² como mínimo. <p>Piscina existente para el tratamiento final de los lixiviados. (A= 60 m²)</p>  <p>Proyección de las dimensiones ampliadas que deberá tener la piscina del tratamiento final de los lixiviados con jacinto de agua (A = 120 m²).</p> 

	<p>3. Ampliado el área se deberá colocar y realizar todos las actividades que conlleva para el tratamiento de los lixiviados en la nueva laguna como:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Geomembrana b. Instalación de tuberías para el ingreso de los lixiviados y para su vertido hacia su descarga final. c. Las plantas destinadas a la siembra deberán tener un proceso de aclimatación. d. Realizar la siembra de la especie vegetal jacinto de agua que comparada con la especie pasto alemán en esta investigación, ha tenido mayor potencial fitorremediador para los lixiviados del relleno sanitario. e. Se deberá realizar el replante de las plantas que no se adaptaron al lugar. 												
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Componente/actividad/recurso</th> <th style="text-align: right;">Precio \$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Instalación para desviar los lixiviados temporalmente de la laguna de tratamiento.</td> <td style="text-align: right;">80</td> </tr> <tr> <td>Excavación del suelo con retroexcavadora</td> <td style="text-align: right;">200</td> </tr> <tr> <td>Geomembrana (130 m²)</td> <td style="text-align: right;">280</td> </tr> <tr> <td>Siembra de la especie vegetal</td> <td style="text-align: right;">40</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Total</td> <td style="text-align: right;">600</td> </tr> </tbody> </table>	Componente/actividad/recurso	Precio \$	Instalación para desviar los lixiviados temporalmente de la laguna de tratamiento.	80	Excavación del suelo con retroexcavadora	200	Geomembrana (130 m ²)	280	Siembra de la especie vegetal	40	Total	600
Componente/actividad/recurso	Precio \$												
Instalación para desviar los lixiviados temporalmente de la laguna de tratamiento.	80												
Excavación del suelo con retroexcavadora	200												
Geomembrana (130 m ²)	280												
Siembra de la especie vegetal	40												
Total	600												
Costos													

La siguiente medida trata sobre la revisión de las instalaciones que conducen los lixiviados desde su lugar de generación hasta el sitio de tratamiento.

- 3.2 Medida 2.** Realizar el mantenimiento a las instalaciones que conducen los lixiviados hacia la laguna de tratamiento.

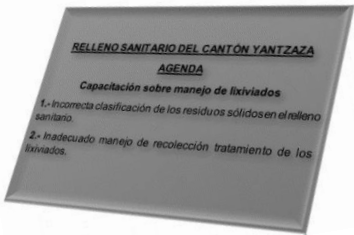
Medida 2	Realizar el mantenimiento a las instalaciones que conducen los lixiviados hacia la laguna de tratamiento.
Actividades	<p>Como una guía para desarrollar esta medida se plantea las siguientes actividades:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar una revisión del estado actual de todas las zanjas y tuberías superficiales por los que circulan los lixiviados. 2. Realizar una limpieza intensiva del filtro percolador y cajas de revisión de los lixiviados que circulan por el mismo, que son generados desde la celda provisional cerrada.
	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>Filtros percoladores</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Cajas de revisión</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>Celda de tratamiento final de lixiviados</p> </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <ol style="list-style-type: none"> 3. Limpiar la maleza y escombros que se encuentran en el lugar por donde se encuentran las zanjas y las instalaciones de las tuberías para la recolección y transporte de los lixiviados hacia la laguna de tratamiento.

	4. Como una estrategia complementaria y opcional para mejorar el tratamiento final de los lixiviados es implementar la construcción de una cubierta para la piscina ampliada. (Las actividades y el costo de esta estrategia se detalla ampliamente en el anexo 14).	
Costos	Componente/actividad/recurso	Precio \$
	Obreros	30
	Limpieza: filtro percolador y cajas de revisión.	50
	Limpieza de maleza y escombros	20
	Total	100

La siguiente medida corresponde a una capacitación al personal obrero del relleno sanitario sobre: lo que causa la incorrecta clasificación de los residuos sólidos que ingresan al área de clasificación y el inadecuado manejo de recolección y tratamiento de los lixiviados.


3.3 Medida 3. Capacitación al personal obrero del relleno sanitario sobre el manejo de los lixiviados.

Medida 3	Capacitación al personal obrero del relleno sanitario sobre el manejo de los lixiviados.
Actividades	<p>Las principales actividades para cubrir esta medida, se han considerado las siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Organizar un taller de capacitación al personal obrero sobre los temas de: <ul style="list-style-type: none"> • Incorrecta clasificación de los residuos sólidos que ingresan al área de clasificación. • El inadecuado manejo de recolección y tratamiento de los lixiviados.

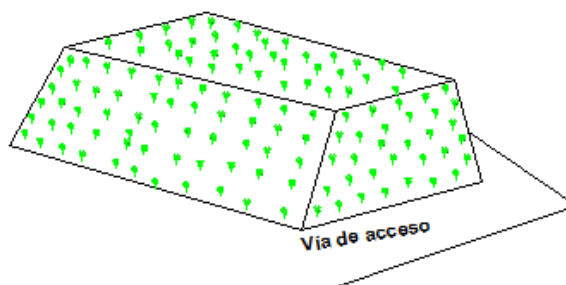
	<p>2. Realizar la capacitación a los obreros en el lugar adecuado, (la siguiente figura muestra un modelo de agenda para la capacitación).</p> <div data-bbox="708 465 1062 698" style="text-align: center;">  </div> <p>3. Establecer indicadores de participación por parte de los obreros que reciben la capacitación como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Registros de asistencia y fotografías. 												
Costos	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Componente/actividad/recurso</th> <th style="text-align: center;">Precio \$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Personal de logística para la capacitación</td> <td style="text-align: center;">30</td> </tr> <tr> <td>Contratación de técnicos para el taller</td> <td style="text-align: center;">200</td> </tr> <tr> <td>Local para realizar la capacitación</td> <td style="text-align: center;">50</td> </tr> <tr> <td>Crípticos y hojas volantes de información</td> <td style="text-align: center;">20</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Total</td> <td style="text-align: center;">300</td> </tr> </tbody> </table>	Componente/actividad/recurso	Precio \$	Personal de logística para la capacitación	30	Contratación de técnicos para el taller	200	Local para realizar la capacitación	50	Crípticos y hojas volantes de información	20	Total	300
Componente/actividad/recurso	Precio \$												
Personal de logística para la capacitación	30												
Contratación de técnicos para el taller	200												
Local para realizar la capacitación	50												
Crípticos y hojas volantes de información	20												
Total	300												

De acuerdo a Roben (2002), “Se debe cubrir las celdas terminadas con tierra y sembrar plantas con alta capacidad de absorción para secar el terreno”. El relleno sanitario tiene una celda cerrada cubierta con arena, por lo que las precipitaciones caen directamente sobre el área de la celda incrementando la generación de lixiviados. La siguiente medida se enfoca en dar solución a este aspecto.

3.4 Medida 4. Implementación de una estrategia para el manejo correcto de la celda provisional cerrada del relleno.

Medida 4	Implementación de una estrategia para el manejo correcto de la celda provisional cerrada del relleno.
<p>Actividades</p>	<p>Las actividades más importantes para este aspecto se han considerado las siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Habilitar un área para cultivar las plantas nativas dentro del vivero forestal del Municipio. 2. Recolectar las semillas de las plantas nativas como: Tunashe (<i>Pollalesta discolor</i>), cedro (<i>Cedrela montana</i>), Porotillo (<i>Tabebuia sp</i>) y otros. 3. Cuando se declare el cierre definitivo a la celda provisional se deberá preparar las plantas del vivero para la siembra. 4. Traslado y siembra de las plantas en el área de la celda cerrada, para ello se realizaran las siguientes subactividades: <ul style="list-style-type: none"> • Sembrar las plantas en hoyos de 30 cm de profundidad y 30 cm de ancho incluyendo la colocación de abonos. <p>La figura muestra la celda provisional cerrada de RRSS del relleno sanitario.</p>  <p>El diagrama muestra una estructura tridimensional que representa una celda provisional cerrada de RRSS. La estructura es un rectángulo con una parte superior plana y una parte inferior que se estrecha hacia los lados, formando una especie de caja con un borde superior más grueso. En la parte superior de la estructura, se lee 'Celda de disposición provisional cerrada de RRSS'. En la parte inferior, se indica 'Vía de acceso'.</p>

La siguiente figura muestra una proyección de como quedara la celda una vez que sobre su superficie se siembre las plantas escogidas.



- Para determinar el espacio de la siembra entre cada plantas se deber tomar en cuenta que las plantas sembradas una vez que alcancen su etapa completa de crecimiento cubran de manera uniforme la superficie de la celda provisional cerrada definitivamente.

5. Se deberá realizar el seguimiento y monitoreo de las plantas sembradas mediante las siguientes actividades:

- Riego de las plantas en crecimiento.
- Replante de las plantas que no se han desarrollado
- Limpieza de malezas y mantenimiento de las plantas sembradas.

	Componente/actividad/recurso	Precio \$
Costos	Habilitación del vivero	200
	Recolección de las plantas propias del lugar	100
	Sembrado y mantenimiento de las semillas en el vivero	20
	Traslado y siembra de las plantas	20
	Seguimiento y monitoreo	30
	Precio total	370

G. DISCUSIÓN

1. Para los resultados del primer objetivo.

Caracterizar el tratamiento actual de los lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Yantzaza.

El resultado del parámetro **pH** caracterizado es 7,6 el mismo que comparado con el límite máximo permisible de 5 a 9, el pH del lixiviado está dentro de los límites permisibles, este resultado nos permite deducir que los lixiviados caracterizados con respecto a este parámetro se encuentra en la fase III y IV de la descomposición bioquímica de los residuos en el interior del relleno, al respecto (Mendoza y López, 2004), manifiestan que: El pH de los lixiviados asciende a un rango comprendido entre 6,8 a 8 cuando se encuentran en la fase cuatro correspondiente a la fermentación del metano producido, dentro de las cinco fases de la descomposición bioquímica de los residuos.

El resultado del parámetro **Dureza Total** caracterizado es 305 mg/L, comparado con el límite máximo permisible de 300 mg/L, se deduce que la Dureza Total del lixiviado sobrepasa el límite permisible, este resultado posiblemente se da debido al contacto directo entre el lixiviado y el suelo acumulado en la laguna de tratamiento, al respecto (Sancho y Verdú, 2004), establecen que; la Dureza Total de un lixiviado viene dado por la cantidad de sales cálcicas y magnésicas y por el contacto con el suelo durante el tiempo de retención en el tratamiento.

El resultado del parámetro **Sólidos Totales** es 1696 mg/L, comparado con el límite máximo permisible de 1600 mg/L, se deduce que este parámetro sobrepasa el límite permisible con un valor de 96 mg/L. Este resultado posiblemente se da debido a la gran cantidad de materia disuelta (orgánica e inorgánica) y sólidos sedimentables no disueltos en el lixiviado. (Rigola, 1990), argumenta que los Sólidos Totales de un lixiviado corresponden a la suma de los sólidos disueltos y de los sólidos en suspensión.

El resultado del parámetro **Cloruros** caracterizado es 225 mg/L, comparado con el límite máximo permisible de 1000 mg/L se deduce que la cantidad de Cloruros en el lixiviado está dentro del límite máximo permisible, su presencia en el lixiviado es posiblemente porque es un líquido contaminado, al respecto (Sandoval, 2002), expresa que los Cloruros se difunden con facilidad y frecuentemente son utilizados como una señal de contaminación de un cuerpo de agua.

El resultado del parámetro **Sulfatos** caracterizado es 40 mg/L, esto comparado con el límite máximo permisible de 1000 mg/L, se deduce que el parámetro Sulfato del lixiviado está dentro del límite máximo permisible establecido. Este resultado posiblemente se da debido a la baja concentración de azufre en el lixiviado. (Sandoval, 2002), al respecto describe que los sulfatos son la forma más común del azufre en los Rellenos sanitarios.

El resultado del parámetro **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)** caracterizado es 54 mg/L, comparado con el límite máximo permisible de 100 mg/L, se deduce que la DBO del lixiviado está dentro de los límites permisibles. Este resultado posiblemente se da por la producción de cantidades significativas de ácidos orgánicos. Al respecto (Mendoza y López, 2004), manifiestan que: de las V fases básicas para la descomposición bioquímica de los residuos en el seno de un relleno sanitario, durante la fase III la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se incrementa significativamente debido a la disolución de ácidos orgánicos en el lixiviado. Según (Mendoza y López, 2004), en lo referente a la duración de las fases de la descomposición de los residuos sólidos manifiestan que: Las fases I y II se da en los rellenos de 1 a 2 años, la fase III se da en los rellenos de 3 a 5 años, la fase IV se da en los rellenos de 6 a 10 años y la fase V se da en los rellenos mayores a 10 años. Razón por lo que tomando en cuenta que el relleno empezó a funcionar desde el año 2010, los residuos

sólidos se encuentran aproximadamente en la fase III de la descomposición de estos residuos.

El resultado del parámetro **Demanda Química de Oxígeno (DQO)** caracterizado es 180 mg/L, comparado con el límite permisible máximo de 250 mg/L se tiene que la DQO del lixiviado está dentro del límite permisible, pero a su vez estos lixiviados requieren gran cantidad de oxígeno para su oxidación con medios químicos como lo establecido en el Diccionario Ambiental (2005), La Demanda Química de Oxígeno expresa la cantidad necesaria de oxígeno para estabilizar, oxidándolos, los contaminantes químicos.

El resultado del parámetro **Fenoles** caracterizado es menor a 0,001 mg/L, que comparado con el límite permisible máximo de 0,2 mg/L, este parámetro está dentro del límite permisible y nos permite deducir que posiblemente en estos lixiviados existe baja concentración de Fenoles, si existe alta concentración de este parámetro en el lixiviado es un problema, al respecto (Barla, s.f.), manifiesta que la mayoría de los fenoles son resistentes a la degradación biológica y son tóxicos en altas concentraciones.

El resultado del parámetro **Nitrógeno Total** es menor a 10 mg/L, comparado con el límite máximo permisible de 100 mg/L establecido por (Romero, 2005), se determina que este parámetro del lixiviado cumple con el límite permisible, este resultado se da posiblemente debido a que mientras aumenta la edad del lixiviado la concentración de este parámetro disminuye, lo que concuerda con (Kulikowska y Klimiuk, 2008), quienes afirmaron 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.

El resultado del parámetro **Hierro** de 2,9 mg/L, comparado con el límite máximo permisible de 10 mg/L, se deduce que cumple con el límite máximo

permisible, esto posiblemente debido a que en este relleno sanitario se reciclan por separado los objetos de acero, lata y otros similares, lo que concuerda con (Jerez, 2013), quien argumenta: los niveles altos o bajos de concentración de hierro en el lixiviado se atribuyen principalmente a la cantidad de objetos de acero arrojados en el relleno sanitario.

El resultado del parámetro **Mercurio** es menor a 0,0006 mg/L, comparado con el límite máximo permisible de 0,005 mg/L, se deduce que los lixiviados del relleno con respecto a este parámetro cumple con el límite permisible establecido en el TULSMA, este resultado posiblemente se da por la baja concentración de mercurio en el lixiviado, (Ocampo, 2012), ratifica: “No resulta extraño encontrar mercurio en las aguas lixiviadas de rellenos sanitarios, pero en bajas concentraciones como la del relleno sanitario de Cartagena Colombia que tiene una concentración de mercurio en el lixiviado correspondiente a 0,015 mg/L”.

El resultado del parámetro **Plomo** caracterizado es 0,003 mg/L, que comparando con el límite máximo permisible de 0,2 mg/L, se deduce que la concentración del Plomo en el lixiviado está dentro del límite permisible máximo establecido en el TULSMA, este resultado se da posiblemente a la baja concentración de Plomo existente en el lixiviado, lo que coincide con (Kjeldsen *et al.*, 2005), quienes afirman que una de las causas para la carencia de metales pesados se relaciona con el equilibrio de solubilidad de los metales pesados en el relleno, 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.

El resultado del parámetro **Sodio** es de 247 mg/L, comparado con el límite máximo permisible establecido por NOM-127-SSA1-1994 igual a 200 mg/L, se deduce que el lixiviado caracterizado con respecto a este parámetro sobrepasa el límite máximo permisible con un valor de 47 mg/L, este resultado posiblemente se da por la presencia de residuos domésticos e industriales en el interior del relleno, (Sandoval, 2002), resalta que el origen

del sodio en los lixiviados es debido al intensivo uso de sales de sodio en la industria, o como parte de las actividades domésticas.

De la caracterización realizada a los trece parámetros, tres parámetros: Dureza Total, Sólidos Totales, y Sodio no han disminuido su concentración en la laguna de tratamiento biológico final con el pasto alemán, más bien se incrementó su concentración después del tratamiento; del parámetro fenoles sus resultados antes y después del tratamiento se mantienen, por lo que el sistema de tratamiento final en el relleno sanitario, no es malo tampoco excelente para el tratamiento de los parámetros indicados en esta investigación. Cabe mencionar que estos 13 parámetros son parte de los 21 establecidos en el TULSMA para la descarga de lixiviados tratados hacia un cuerpo de agua dulce.

Aunque los trece parámetros caracterizados no son tratados eficientemente en la laguna de tratamiento biológico del relleno, nueve de los trece parámetros no sobrepasan los límites permisibles establecidos por la normativa ambiental nacional y otras tomadas en cuenta para esta investigación.

El tratamiento de los lixiviados generados en este relleno sanitario, se ha convertido en la tarea más difícil de enfrentar debido a que la celda provisional cerrada no tiene ningún tipo de protección para las aguas lluvia y al limitado espacio que tiene el relleno sanitario destinado para el tratamiento final de los lixiviados. Al respecto (Jaramillo, 1991), menciona que: las aguas lluvia que atraviesan las capas de basura aumentan su volumen en una proporción mucho mayor que la producida por la misma humedad de los residuos sólidos municipales.

2. Para los resultados del segundo objetivo específico

Determinar el grado de eficiencia de las especies para el tratamiento de lixiviados generados en la celda provisional cerrada del relleno sanitario del cantón Yantzaza.

El resultado del parámetro **pH** en el lixiviado sin tratar es 7,3 en el tratamiento con pasto alemán es 7,8 y en el tratamiento con jacinto de agua es 7,6, estos resultados aunque se incrementan en los tratamientos, están dentro del límite máximo permisible de 5-9 mg/L establecido por el TULSMA. Estos resultados nos demuestran que los lixiviados tienen un pH con tendencia a ser alcalino, al respecto (Carrión y Cuenca, 2008), en su estudio obtuvieron resultados similares de 7,11 unidades de pH al tratar un lixiviado con jacinto de agua con un tiempo retenido de 8 días.

El resultado del parámetro **Dureza total** en el lixiviado sin tratar es 470 mg/L, en el tratamiento con el pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) es 366 mg/L y en el tratamiento con jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*) es de 373 mg/L, estos resultados permiten determinar por un lado que, sobrepasan el límite máximo permisible de 300 mg/L establecido en la resolución 2115, 2007 y por otro que, con respecto a este parámetro el pasto alemán tiene mayor potencial fitorremediador que el jacinto de agua en un tiempo de retención no consecutivo de tres meses, este resultado se da posiblemente a que el pasto alemán podría asimilar mejor las sales cálcicas y magnésicas presentes en el lixiviado, al respecto (Sancho y Verdú, 2004), establecen que: La Dureza Total de un lixiviado viene dado por la cantidad de sales cálcicas y magnésicas y por el contacto con el suelo durante el tiempo de retención en el tratamiento.

Los resultados del parámetro **Sólidos Totales** analizados en laboratorio indican que el valor del lixiviado sin tratar fue 2491 mg/L, del lixiviado tratado con pasto alemán, 1770 mg/L y del lixiviado tratado con jacinto de agua fue 1688 mg/L, estos resultados están fuera del límite máximo permisible de 1600 mg/L establecido por el TULSMA. También se deduce que el jacinto de agua tiene mayor potencial fitorremediador frente al pasto alemán con respecto a este parámetro, este resultado es posiblemente porque el jacinto de agua asimila los sólidos disueltos y en suspensión ya que los sólidos

totales según (Rigola, 1990), se componen de los sólidos disueltos y en suspensión.

Los resultados analizados del parámetro **Alcalinidad** demuestra que el lixiviado sin tratar tiene un valor de 772 mg/L, en el tratamiento con el pasto alemán este resultado se incrementa a 1270 mg/L y en el tratamiento con jacinto de agua el resultado es 1263 mg/L, estos valores indican que los resultados del lixiviado sin tratar y de los tratamientos, sobrepasaron el límite máximo permisible de 250 mg/L establecido por (Suarez, 2004). Deduciéndose que los resultados del parámetro alcalinidad de un lixiviado son siempre altos como en el estudio de (Contreras y Suarez, 2006), que obtienen un resultado de 6875 mg/L de alcalinidad en el lixiviado tratado en su estudio.

Los resultados del parámetro **Cloruros** indica que a partir del lixiviado sin tratar con un valor de 156 mg/L, en el tratamiento con pasto alemán este valor se incrementa a 158 mg/L y en el tratamiento con jacinto de agua disminuye a 150 mg/L en un tiempo de tratamiento de dos días, se determinó que a pesar de las variaciones en los resultados tanto del lixiviado sin tratar como de los tratamientos, están dentro del límite máximo permisible de 1000 mg/L establecido en el TULSMA, según Omán citado por (Jerez, 2013), los Cloruros representa la concentración de contaminantes de naturaleza inorgánica en los lixiviados, de lo que se puede deducir que el jacinto de agua tiene mayor potencial fitorremediador para asimilar las concentraciones de contaminantes inorgánicos frente al pasto alemán.

Los resultados obtenidos en laboratorio del parámetro **Sulfatos** indica que el lixiviado sin tratar tuvo un valor menor a 0,1 mg/L y en los tratamientos con pasto alemán y jacinto de agua en un tiempo de retención de tres meses se tuvo un valor menor a 0,5 mg/L, dichos resultados nos permiten deducir que están dentro del límite máximo permisible de 1000 mg/L según el TULSMA. Al respecto (Camacho y Ordoñez, 2008), manifiestan que: los sulfatos son compuestos que representan características químicas inorgánicas en los

lixiviados. Por lo que se podría deducir que el pasto alemán y jacinto de agua en este periodo de tratamiento tienen igual potencial fitorremediador para asimilar los compuestos inorgánicos de los lixiviados tratados.

El resultado de la **Demanda Bioquímica de Oxígeno** (DBO) del lixiviado sin tratar es 14 mg/L, lixiviado tratado con pasto alemán 32 mg/L y lixiviado tratado con jacinto de agua 100 mg/L, comparados con el límite máximo permisible de 100 mg/L, estos resultados están dentro del límite máximo permisible. Dichos resultados demuestran que el jacinto de agua en el tratamiento de los lixiviados con un tiempo de tres meses no asimila la DBO del lixiviado, notándose que hubo un incremento de 86 mg/L de DBO en el lixiviado tratado con esta especie. Lo que no coincide con algunos estudios como con el de (Carrión y Cuenca, 2008), donde utilizando el jacinto de agua se lograron altas remociones de DBO (182,75 mg/L), utilizando la combinación de 60 litros de agua con 1,2 litros de lixiviado y un mes de retención para el tratamiento. De lo que se puede deducir que en esta investigación el incremento de la DBO en los lixiviados tratados con el jacinto de agua posiblemente se da, porque se utilizó el lixiviado puro y también posiblemente porque según (Maine *et al.*, 2007), el jacinto de agua contribuye a la disminución del contenido de oxígeno en el tratamiento, más aun cuando existe abundancia de plantas adultas, las mismas que ya no asimilan este parámetro sino que al contrario lo incrementan, lo que debe ser mejorada con el retiro periódico del jacinto de agua.

Los resultados obtenidos del análisis de laboratorio al parámetro **Demanda Química de Oxígeno** nos demuestran que con respecto al resultado del lixiviado sin tratar 150 mg/L, en el tratamiento con el pasto alemán disminuye a 142 mg/L y en el tratamiento con el jacinto de agua de acuerdo a los resultados obtenidos de laboratorio se incrementa a 151 mg/L, dichos resultados están dentro del límite máximo permisible de 250 mg/L establecido por el TULSMA. Estos resultados nos permiten deducir que con respecto a este parámetro el pasto alemán tiene mayor potencial

fitorremediador que el jacinto de agua. Es importante mencionar que la DQO es también uno de los parámetros más importantes en las aguas residuales pero en esta investigación a pesar de que el jacinto de agua es considerado como una planta adecuada para la remoción de este parámetro, como en el estudio realizado por (Camacho y Ordoñez, 2008), quienes obtienen la remoción del 70 % de la DQO del tratamiento de un lixiviado con el jacinto de agua en un tiempo de retención de dos meses. No se ha logrado tener resultados similares. alguna de las razones para obtener de estos resultados es que no se hizo el retiro de las plantas adultas tomando en cuenta que el jacinto de agua puede redoblar su peso en 15 días y el tratamiento tuvo una duración total de 3 meses, según (Camacho y Ordoñez, 2008), cuando existe acumulación de plantas adultas de jacinto de agua, la concentración de DQO en el tratamiento incrementa.

Los resultados del parámetro **Fenoles** analizado en laboratorio indican que en el lixiviado sin tratar el valor obtenido es 0,003 mg/L y este valor se incrementa en los tratamientos con el pasto alemán y jacinto de agua a un valor de 0,004 mg/L, se determinó que el incremento en los tratamientos es mínimo, por lo que estos resultados están dentro del límite máximo permisible de 0,2 mg/L estipulado en el TULSMA, y que en el proceso de tratamiento por el pasto alemán y jacinto de agua no se da ningún proceso de fitorremediación a este parámetro. Este resultado posiblemente es debido a que los fenoles no fueron asimilados con este tipo de tratamiento al respecto (Barla, s.f.), demostró que los fenoles son resistentes a la degradación biológica.

Los resultados analizados de **Nitrógeno Total** demuestran que el valor del lixiviado sin tratar es 143 mg/L, en el tratamiento con el pasto alemán disminuye a 97 mg/L y en el tratamiento con jacinto de agua disminuye a 90 mg/L ubicándose así los resultados dentro del límite máximo permisible de 100 mg/L establecido por (Romero, 2005). Estos resultados permitieron deducir que el jacinto de agua tiene mayor potencial fitorremediador frente al

pasto alemán con un tiempo de retención del tratamiento de tres meses no consecutivos, según (Camacho *et al.*, 2008), el nitrógeno en los lixiviados representan los nutrientes que toman los sistemas biológicos para su metabolismo, por lo que el jacinto de agua asimila más cantidad de Nitrógeno Total que el pasto alemán, debido a su estructura esponjosa.

Los resultados del parámetro **Hierro** indican que el tratamiento con pasto alemán con un valor de 3,3 mg/L y el tratamiento con jacinto de agua con un valor de 4,9 mg/L son excelentes para el tratamiento de este parámetro con respecto al lixiviado sin tratar con un valor de 21 mg/L de Hierro, de lo que se puede deducir que los resultados de los tratamientos están dentro del límite máximo permisible de 10 mg/L establecido en el TULSMA, estos resultados se dan posiblemente debido a que estas especies vegetales tienen un potencial fitorremediador para este parámetro, concordando con el estudio de (Aulestia, 2012) que otras especies vegetales como *Colocasia esculenta*, *Heliconia psittacorum* y *Cyperus haspan* tienen un posible potencial fitorremediador para el tratamiento de lixiviados.

De acuerdo a los resultados obtenidos con respecto al análisis de concentración y fitorremediación del **Mercurio** tanto en el lixiviado sin tratar, como en los tratamientos con pasto alemán y jacinto de agua respectivamente, el valor es menor a 0,0005 mg/, estos resultados están dentro del límite máximo permisible de 0,005 mg/L establecido en el TULSMA. Este resultado posiblemente se da por la baja concentración del mercurio en el lixiviado tratado lo que se contrasta con el estudio de (Ocampo, 2012), quien manifiesta: Es normal la presencia de bajas concentraciones de mercurio en los lixiviados de rellenos sanitarios. O porque mediante este proceso los metales no son absorbidos rápidamente, al respecto Carvajal y Curutchet, citados por (Carrión y Cuenca, 2008), manifiestan que aunque el proceso de absorción de muchos contaminantes es muy rápido, los metales pesados son absorbidos lentamente por las raíces de plantas acuáticas.

Los resultados del análisis de laboratorio del parámetro **Plomo** en los lixiviados del tratamiento con pasto alemán y jacinto de agua no demostraron procesos de fitorremediación, el valor obtenido en el análisis de 0,0025 mg/L es el mismo valor en el lixiviado sin tratar, resultado que a pesar de no ser asimilado en los tratamientos, está dentro del límite máximo permisible de 0,2 mg/L establecido por el TULSMA. Este resultado posiblemente se da debido a la baja concentración de este metal en el lixiviado tratado o por lo que mediante este proceso de investigación según (Carrión y Cuenca, 2008), los metales son absorbidos lentamente por plantas acuáticas. También este resultado es similar a los resultados del estudio realizado por (Morales, 2007) dicho valor es 0,099 mg/L de concentración de plomo.

Los resultados del parámetro **Sodio** para el lixiviado sin tratar tuvo un valor de 190 mg/L, para el tratamiento con pasto alemán este valor disminuye a 184 mg/L y para el tratamiento con jacinto de agua con respecto al lixiviado sin tratar este valor disminuye a 175 mg/L. con lo que se puede determinar que estos resultados se encuentran dentro del límite máximo permisible de 200 mg/L establecidos por la norma 127-SSA1-1994. Y que el jacinto de agua tiene mayor potencial fitorremediador con respecto a este parámetro frente al pasto alemán, este resultado posiblemente se da debido a que la estructura del jacinto de agua es esponjosa y crece rápidamente, lo que concuerda con (Mendoza y López, 2004): Los elementos como el potasio, sodio y otros presentes en el lixiviado sirven como nutrientes para el crecimiento biológico.

De los catorce parámetros analizados en laboratorio se ha obtenido que el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) tiene mayor potencial fitorremediador únicamente en cuatro parámetros, estos son: Sólidos Totales con 32,24%. Cloruros con 3,85%, Nitrógeno Total con 37,06% y Sodio con 7,89%. Por lo tanto de acuerdo a esta investigación y con los resultados obtenidos de laboratorio el jacinto de agua no ha asimilado los parámetros DBO y DQO que son importantes dentro del análisis del nivel de contaminación de un

efluente tratado. Una de las posibles razones del porque el jacinto de agua asimiló mejor los parámetros antes mencionados frente al pasto alemán, podría ser debido a que en el desarrollo del proceso experimental a partir de la tercera semana se observó la presencia de microorganismos en el interior de la piscina del tratamiento uno, dando así origen a la fitorremediación por estimulación que según (Diez, 2003), también denominado rizodegradación, las plantas generan los exudados radiculares que estimulan el crecimiento de los microorganismos nativos. Este caso no se presentó en la piscina con pasto alemán al mismo tiempo, sino que se observó la presencia de unos pocos microorganismos después del segundo mes en el desarrollo del experimento.

La especie pasto alemán, tiene mayor potencial fitorremediador únicamente en tres parámetros como son: Dureza Total con 22,13%. DQO con 5,33% y Hierro con el 84,28% de los catorce parámetros analizados, determinándose en esta investigación que esta especie asimila uno de los parámetros más importantes de las aguas residuales como es la DQO.

Los parámetros como pH, Alcalinidad y DBO tratados en las piscinas experimentales y analizados en laboratorio, sus resultados sobrepasaron el valor del resultado en el lixiviado sin tratar. Pero a su vez estos parámetros no sobrepasan los límites permisibles establecidos en el TULSMA, a excepción del parámetro Alcalinidad que sobrepasa el límite permisible de 250 mg/L establecido en la resolución 2115 de 2007, lo que indica que tanto el pasto alemán como el jacinto de agua no son eficientes para el tratamiento del parámetro Alcalinidad.

Los parámetros como Fenoles, Mercurio y Plomo en los tratamientos no recibieron ningún tipo de asimilación en las piscinas experimentales con pasto alemán y jacinto de agua, pero dichos resultados no sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos en el TULSMA.

3. Para los resultados del tercer objetivo específico

Elaborar una propuesta para mejorar el manejo de lixiviados en el relleno sanitario del cantón Yantzaza, con la especie vegetal que tenga mayor potencial fitorremediador.

El relleno sanitario está construido para el correcto manejo de los residuos y el tratamiento de los lixiviados, pero el incremento de la basura por el aumento de la población, requiere que mediante la aplicación de la propuesta realizada en esta investigación para el mejoramiento del tratado de los lixiviados y del relleno en general sea una prioridad de ejecución.

Las medidas dos y cuatro establecidas en la propuesta se las realizo porque en el sitio donde está construido el relleno sanitario y toda la zona en general siempre se dan precipitaciones, esta cae directamente sobre la superficie de la celda provisional cerrada y sobre la laguna de tratamiento final incrementando la cantidad del lixiviado. Lo que según (Roben, 2002), “Se debe evitar la caída directa de las precipitaciones sobre la superficie de las celdas de disposición de los residuos sólidos y sobre los proceso de tratamiento final de los lixiviados”.

La ejecución de las medidas uno, dos y cuatro planteadas en la propuesta de esta investigación para mejorar el tratamiento de los lixiviados generados en el relleno sanitario, contribuirán con más del 50 % para mejorar el tratamiento de los lixiviados tanto en su punto de origen como en su tratamiento final.

H. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados y aspectos relevantes obtenidos en esta investigación se ha considerado importante plantear las siguientes conclusiones:

- En el relleno sanitario del cantón Yantzaza la laguna de tratamiento biológico final de los lixiviados debido al espacio limitado del lugar es pequeña.
- Actualmente no se realiza el mantenimiento total de la laguna de tratamiento final de los lixiviados, únicamente se realiza la limpieza de la maleza que rodea la laguna de tratamiento biológico.
- De los trece parámetros caracterizados y comparados con los límites permisibles, tres parámetros están fuera de los límites permisibles, y el parámetro Fenoles sus resultados antes y después del tratamiento no varía, en consecuencia el tratamiento biológico utilizado en el relleno sanitario es regular.
- El tratamiento con jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) es parcialmente beneficioso ya que demostró mayor potencial fitorremediador que el pasto alemán específicamente en los siguientes parámetros: Sólidos Totales, Cloruros, Nitrógeno Total y Sodio. Pero no demostró ningún tipo de asimilación para los parámetros más importantes de un efluente como son la DBO y DQO.
- El jacinto de agua y el pasto alemán tienen igual potencial fitorremediador para los parámetros: Sulfatos, Fenoles, Mercurio y Plomo.

- Con base en los resultados obtenidos se comprobó estadísticamente que el pasto alemán tiene mayor potencial fitorremediador únicamente en los parámetros: Hierro, DQO, y Dureza Total. Es importante destacar que en esta investigación el pasto alemán asimila uno de los parámetros más importantes del contenido de contaminación de un efluente como es la Demanda Química de Oxígeno.
- Los resultados del modelo estadístico desarrollado en esta investigación demostraron que: el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) tiene mayor potencial fitorremediador frente al pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) tomando en cuenta únicamente el número mayor de parámetros asimilados por cada especie y no el nivel de descontaminación de los parámetros DBO y DQO que son importantes en el tratamiento de un efluente. Por lo tanto es necesario rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alternativa (H_1) planteadas en esta investigación.
- Esta investigación se complementa con la propuesta realizada en el desarrollo de esta investigación, la misma que se realizó tomando en cuenta cual especie vegetal tuvo mayor número de parámetros asimilados y no tomando en cuenta la asimilación de las especies a los parámetros importantes de un efluente como son: DBO y DQO.

I. RECOMENDACIONES

- Las cunetas o zanjas de recolección, instalaciones de drenaje, geomembrana, cajas de revisión, y filtros percoladores de pretratamiento para los lixiviados deben recibir constantemente un mantenimiento de limpieza externa o interna de acuerdo a la situación del caso y la forma de la estructura.
- Es conveniente que las especies vegetales a utilizar en un proceso de fitorremediación, cuando son trasplantadas desde un lugar a otro, la planta debe pasar por un periodo de aclimatación de un mes para que elimine todos los residuos que tiene almacenado en sus raíces y tejidos desde el lugar donde fue sustraído.
- Es necesario e importante que las piscinas para el tratamiento final de los lixiviados del relleno sanitario con la especie vegetal jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*) sean de dimensiones considerables para efectuar retiradas periódicas de la biomasa del jacinto de agua y permitir que las plantas puedan seguir creciendo y mejorando su potencial fitorremediador.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, y tomando en cuenta la información existente sobre las propiedades positivas del jacinto de agua para asimilar los parámetros más importantes de un efluente como la DBO, DQO y metales pesados, se recomienda que para mejorar el tratamiento de los lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Yantzaza se use el jacinto de agua para asimilar los siguientes parámetros: Cloruros, Nitrógeno total, Sólidos totales y Sodio; y posteriormente con la ampliación de la piscina de tratamiento y las retiradas periódicas del jacinto de agua del tratamiento, se logre asimilar los parámetros importantes antes mencionados.

- El relleno sanitario del cantón Yantzaza, por su reciente implementación, el proceso de descomposición de los residuos sólidos se encuentra en la fase tres de la descomposición de los mismos en el interior del relleno, se recomienda que para obtener los resultados absolutos de la concentración de contaminantes en los lixiviados en este relleno sanitario, se continúe realizando estudios similares con pasto alemán y jacinto de agua por lo menos en las cuatro fases de descomposición de los residuos sólidos del relleno, sugiriéndose de ser posible realizar los estudios en las cinco fases del proceso de descontaminación de los residuos sólidos.
- Debido a que la propuesta se realizó en función de la especie vegetal que tuvo mayor número de parámetros asimilados, y no tomando en cuenta la asimilación de las especies a los parámetros importantes de un efluente como son: DBO y DQO. La recomendación para la ejecución de esta propuesta en su totalidad es opcional, pero si es importante que la autoridad competente gestione las acciones necesarias; para que se ejecuten las medidas encaminadas específicamente al mantenimiento del sistema de tratamientos de los lixiviados, en el relleno sanitario del cantón Yantzaza.

J. BIBLIOGRAFÍA

- Agunbiade, F; Olu-Owolabi, B; Adebawal K. 2009. "Phytoremediation potential of *Eichornia Crassipes* in metal-contaminated coastal wáter". *Bioresource Technol.* Vol 100. pp 4521-4526.
- Aulestia, K. 2012. Respuestas fisiológicas de tres especies vegetales nativas sometidas a tratamiento con lixiviados de relleno sanitario. Tesis. Santiago de Cali. CL. Universidad del Valle. 62 p.
- Barla, R, s.f. Diccionario para la Educación Ambiental.
- Barid, C. 2004. Química Ambiental. España. Reverte S.A.
- Bonilla Valencia, SR. 2013. Estudio para tratamientos de biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el método de fitorremediación. Tesis Ing. Ambiental. Quito, EC, UPS. 95 p. Disponible en (dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4400/1/UPS-ST000985.pdf).
- Camacho, J; Ordoñez, L. 2008. Evaluación de la eficiencia de un sistema de recuperación de aguas residuales con *Eichhornia crassipes*, para el postratamiento del efluente del reactor anaerobio a flujo pistón de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga. Facultad de Ingeniería Sanitaria y ambiental. Bolivia. pp. 169.
- Calvelo, R. s.f. Estudio del comportamiento del hexaclorociclohexano en el sistema suelo-planta para su aplicación en técnicas de Fitocorrección. Universidad de Santiago de Compostela. pp. 43.
- Carrión, L. y Cuenca, N. 2008. Bioensayo con macrofitas acuáticas para el tratamiento de los lixiviados procedentes del relleno sanitario de Pichacay. Cuenca, p. 37.
- Cerrato, R; Rojas, N; Poggi, H, Alarcón, A, y Cañizares, R. 2006. Revista Latinoamericana de Microbiología: Procesos de biorremediación de suelo y agua contaminados por hidrocarburos del petróleo y otros compuestos orgánicos. 48 (2): 179-187. México.

- Chamba, L. 2008. Normas de redacción técnica. Segunda edición. Loja, Universidad Nacional de Loja. p. 162.
- Comportamiento del pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) en dos suelos de una región central del valle geográfico del río Cauca, características generales del pasto alemán (en línea) consultado 21 de feb. 2014. Disponible en www.google.com.ec/search.
- Constitución de la República del Ecuador, 2008. Quito, Registro Oficial 449 de 20 de Oct. p.136.
- Contreras, A; Suarez, J. 2006. Tratamiento biológico del lixiviado generado en el relleno sanitario “El Guayabal” de la ciudad San José de Cúcuta, p. 100.
- Del Rio, M., Font, R., Almela, C., Vélez, D., Montoro, R. & De Haro, A. Potencial de especies silvestres recolectadas en el área del río Guadamar para su uso en fitorremediación.
- Diez, J. 2003. Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados: Evaluación de plantas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agroeconómicas. Universidad Santiago de Compostela. 331 p.
- Estudio de Impacto Ambiental. Diseño del Relleno Sanitario de Chimbutza. Ciudad de Yantzaza. Ec.
- Flores, Y.; Cotes, Álvaro. 2006. Bioabsorción de metales pesados por *Salvinia natans* de los lixiviados del relleno sanitario Combeima de Ibagué. Vol. 1, N° 1.
- Fraume Restrepo, N. 2007. Diccionario Ambiental. Ediciones Ecoe. p. 139 – 140.
- Ghosh, M; Singh, S. 2005. A review of phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts. Applied Ecology and Environmental Research 3, (1).
- Gobierno Autónomo Descentralizado, año 2008. Plan de Ordenamiento Territorial. Yantzaza Ec. Pág. 186.
- Guzmán J. 2008. Pastos y forrajes de Venezuela, Editorial Espasande. p.129

- Henry, J. y Heinke, G. 1999. Ingeniería Ambiental. 2 ed. México. Editorial ASSISTANT. 800 p.
- Jaramillo, J. 1991. Residuos Sólidos Municipales: Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Organización Panamericana de Salud – Organización Mundial de la Salud. Washington D.C., 1991. pp. 43 - 44.
- Jerez, J. 2013. Remoción de metales en lixiviados mediante fitorremediación. Tesis Lic. Químico. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 104 p.
- Johannessen, L. 1999. Guidance Note on Recuperation of Landfill Gas from Municipal Solid Waste Landfills. World Bank, Urban Development División, Urban Waste Management Thematic Group, Working Paper Series 4.
- Ley de gestión ambiental Ecuatoriana. N° 37. Registro Oficial 245. 30 de Julio. 1999. Ministerio del Ambiente. Quito. Ec. p. 21
- Kjeldsen, R; Petrovié, M; Rooker, A; Baun, A; Ledin, A; Christensen, T. 2005. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 32(4).
- Kulikowska, D.; Klimiuk, E. 2008. The effect of landfill age on municipal leachate composition. *Bioresource Technology*, 99, 5981-5985.
- Manual de monitoreo para el relleno sanitario de Mallasa, p. 109
- Maine, M; Suñe, N; Hadag, H; Sanches, G; Caffaratti, S; Realini, J. y Bonetto, C. 2007. Depuración del efluente de una empresa metalúrgica utilizando un wetland construido. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación desarrollo y práctica*. Edición V. Brasil. En línea: <http://metrik.cl/aidis/index.php?s=macr%C3%B3fitas>.
- Méndez, R; Castillo, E; Sauri, M; Quintal, C; Giancoman, G; Jiménez, B. 2009. Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados. *México. Rev. Int. Contam Ambient.*, 25 (3).

- Mendoza, P; López V. 2004. Estudio de la calidad del lixiviado del relleno sanitario la Esmeralda y su respuesta bajo tratamiento en filtro anaerobio piloto de flujo ascendente. Colombia. pp. 125
- Morales, C. 2007. Estudio para la remoción de metales pesados en los lixiviados de Rellenos sanitario. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. 96 p.
- Obando, EJ. 2006. Estanques de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para tratamiento de residuos industriales (en línea). Monografias.com.S.A. Consultado 17 febrero 2014 <http://www.monografias.com/trabajos37/estanques-de-jacinto/estanques-de-jacinto2.shtml>
- Ocampo Barrero, M. 2012. *Estudio de remoción de mercurio de aguas residuales provenientes de un relleno sanitario*. Tesis Ingeniería Química. Manizales, CO, Universidad Nacional de Colombia, Nivel de pregrado. 93 pág.
- Red Ecuatoriana de Consultores Ambientales independientes (RECAI). 2005. Diccionario Ambiental. Ec. 402 p.
- Ribas J. 1981. Revista de difusión de tecnología agrícola y pesquera FONAIAP. La ciencia y tecnología agrícola al alcance de su mano. 20 pp. URL:http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revista_tec/FonaiapDivulga/fd12/texto/pasto%20aleman.htm consultado febrero 21, 2014)
- Rigola, M. 1990. Tratamiento de aguas residuales: aguas de proceso y residuales. Ed. Boixareu. Barcelona, España p. 32
- Rivera, E., Barba, L., y Torres, P. 2013. Determinación de la toxicidad de lixiviados provenientes de residuos sólidos urbanos mediante indicadores biológicos. Colombia p. 183-184
- Roben E. 2002. Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales. Loja. 151 p.
- Romero J. 2005. Tratamiento de aguas residuales, Teoría y principios de diseño. Escuela colombiana de ingeniería. Colombia.
- Sandoval, L. 2002. Evaluación de las condiciones ambientales y sanitarias del Relleno Sanitario de Mallasa – La Paz, Bolivia. 116 p.

- Sancho, J.; Verdú A. 2004. Prácticas de análisis agrícolas. Ed. UPV. Valencia. p. 46.
- Stanley, E. 2007. Introducción a la Química Ambiental. 1 ed. México. Editorial REVERTÉ. 603 p.
- Suarez, T. 2004. Manual de análisis de aguas. Instituto tecnológico Superior de Irapuato, p. 19
- TULSMA Libro VI, A 1. (s.f.). Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua.
- TULSMA Libro VI, A 2. (s.f.). Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados.
- TULSMA, Libro VI, A 6. (s.f.). Normas de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos.
- Volke, T; Velazco, J; Pérez, D. 2005. Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. Instituto Nacional de Ecología. p. 109
- Watt, M. y Evans, J. 1999. Protecicd roots physiology and development. Plant Physiol. pp. 323
- Wilfrido R., John D., s.f. Atlas.eea.uprm.edu jacinto de agua *Eichhhornia crassipes* (Mart.) Solms. Universidad de Puerto Rico.

K. ANEXOS

Anexo 1. Modelo de Encuesta aplicada al director del relleno sanitario



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA SEDE ZAMORA

Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente

Encuesta

- 1. ¿Actualmente, que cantidad de lixiviados se genera por día o semana en el relleno sanitario del cantón Yantzaza?**

.....
.....
.....

- 2. ¿Cuántas muestras del lixiviado se recoge para su envío al análisis en laboratorio?**

.....
.....
.....

- 3. ¿Qué cantidad de residuos sólidos ingresan diariamente o por semana al relleno sanitario?**

.....
.....
.....

4. ¿El proceso actual utilizado en el relleno sanitario para el tratamiento de los lixiviados, se ha escogido porqué y que nivel de eficiencia tiene en cuanto al tratamiento de los lixiviados?

.....
.....
.....

5. ¿Cómo es el sistema para la recolección de los lixiviados desde las celdas de disposición hasta el tratamiento final de los lixiviados?

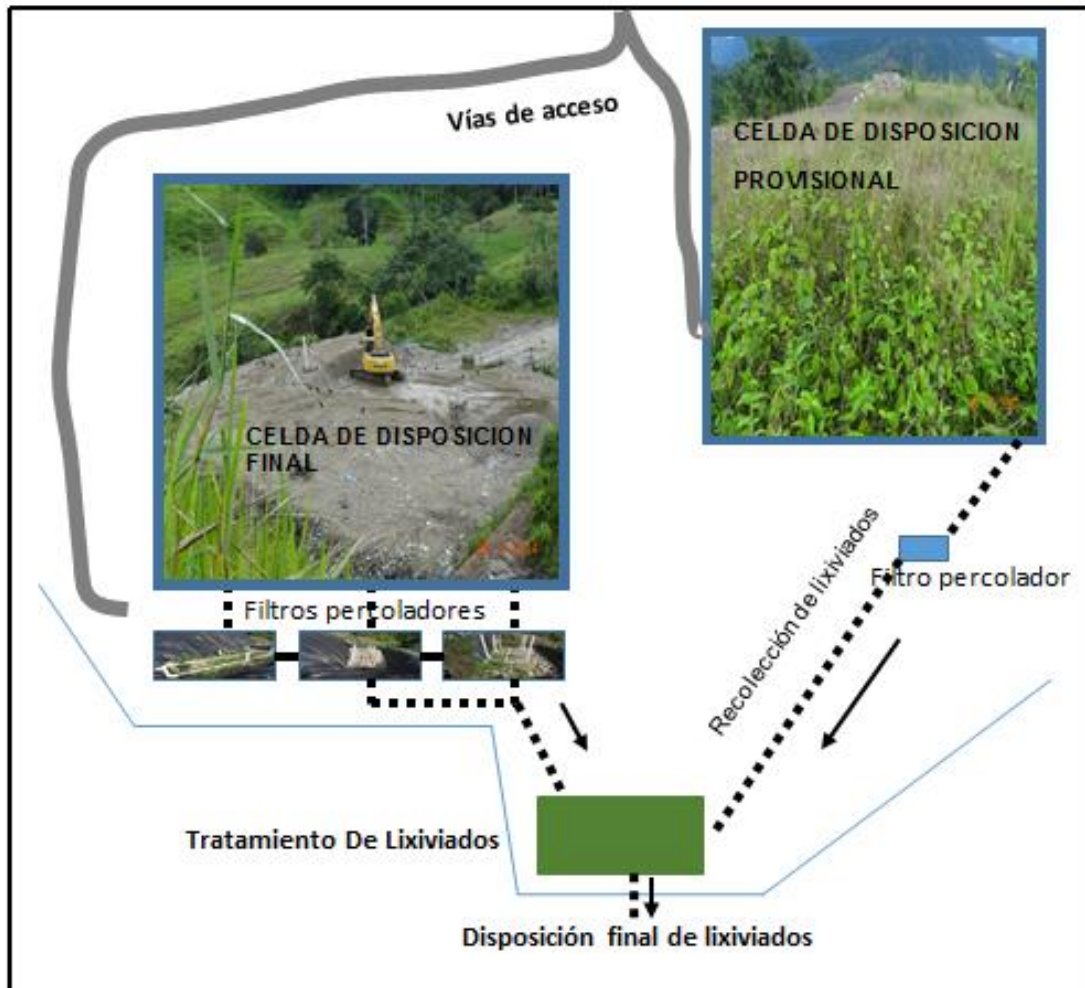
.....
.....
.....

6. ¿Existe algún sistema de mantenimiento para la laguna de tratamiento de los lixiviados?

.....
.....
.....

¡Gracias por su colaboración!

Anexo 2. Manejo de los lixiviados en el relleno sanitario



Fuente: elaborado por el autor.

Anexo 3. Conjunto de fotografías del desarrollo experimental de la investigación



Fotografía 1. Elección del sitio a construir las piscinas



Fotografía 2. Construcción de las piscinas de experimentación



Fotografía 3. Colocación de la tubería para el desagüe de los lixiviados



Fotografía 4. Colocación de los materiales en la piscina



Fotografía 5. Instalación para llevar el lixiviado hacia las piscinas.



Fotografía 6. Llenado de las piscinas con el lixiviado y sembrado de plantas.

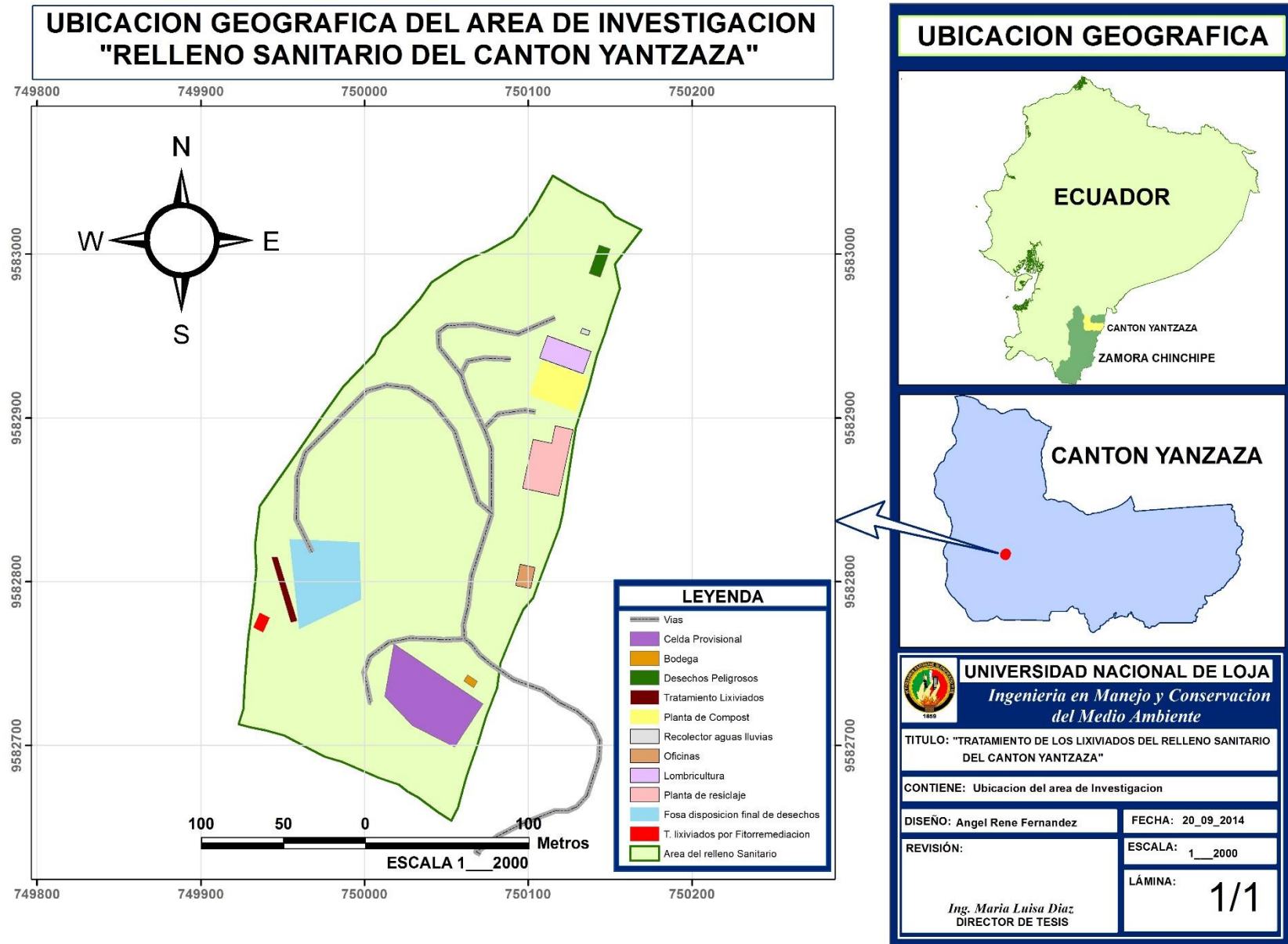


Fotografía 7. Regulación del caudal que ingreso a la piscina en el tiempo establecido



Fotografía 8. Colocación de cubierta de plástico para la protección de las piscinas.

Anexo 4. Mapa de ubicación geográfica del relleno sanitario del Cantón Yantzaza



Anexo 5. Diseño del proceso para construir las piscinas experimentales

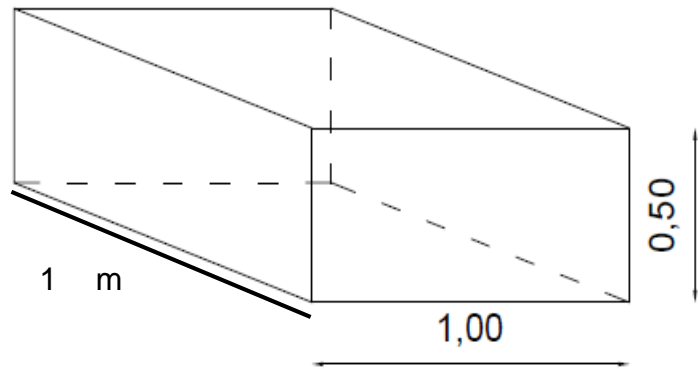


Figura 1. Diseño del modelo de las piscinas de experimentación.

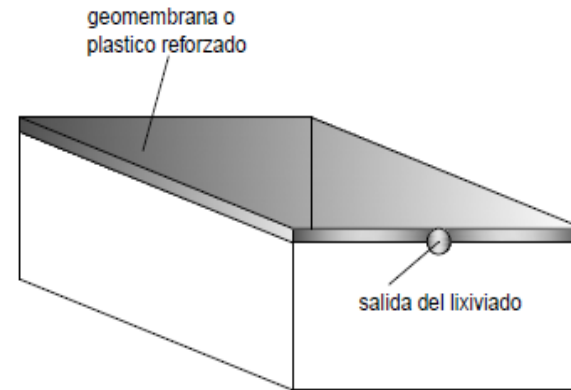


Figura 2. Diseño para la colocación del plástico sobre la base y paredes de la piscina.

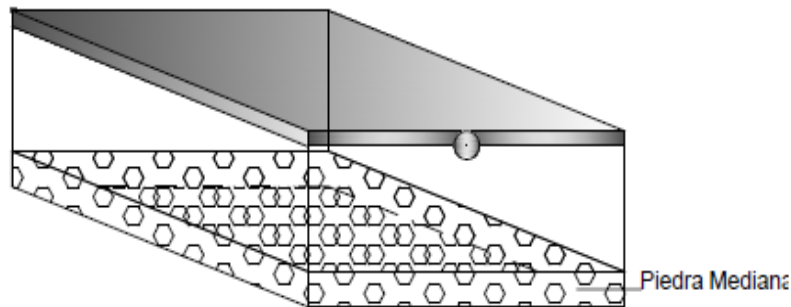


Figura 3. Diseño para la colocación de piedras en la base de la piscina.

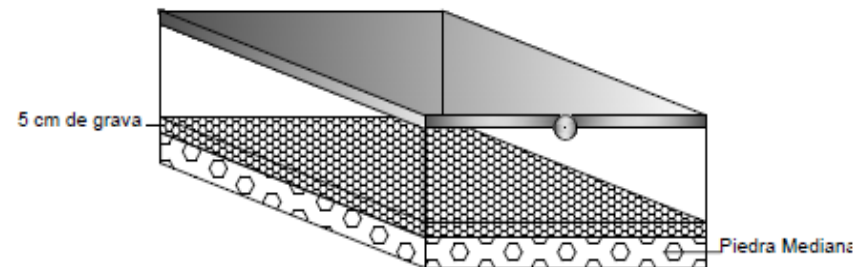


Figura 4. Diseño para colocación de grava sobre la piedra de la piscina experimental

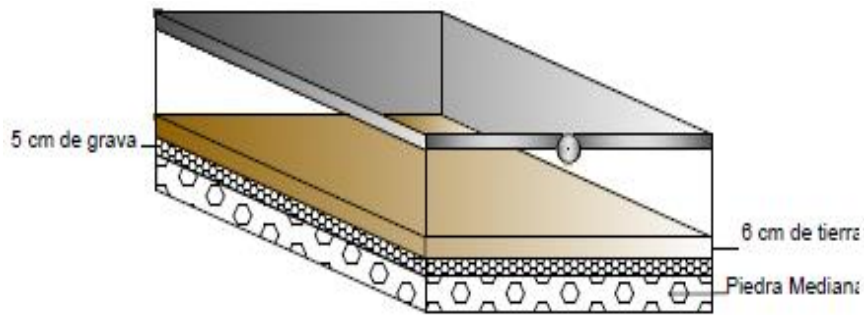


Figura 5. Diseño de la colocación de una capa de tierra en las piscinas experimentales

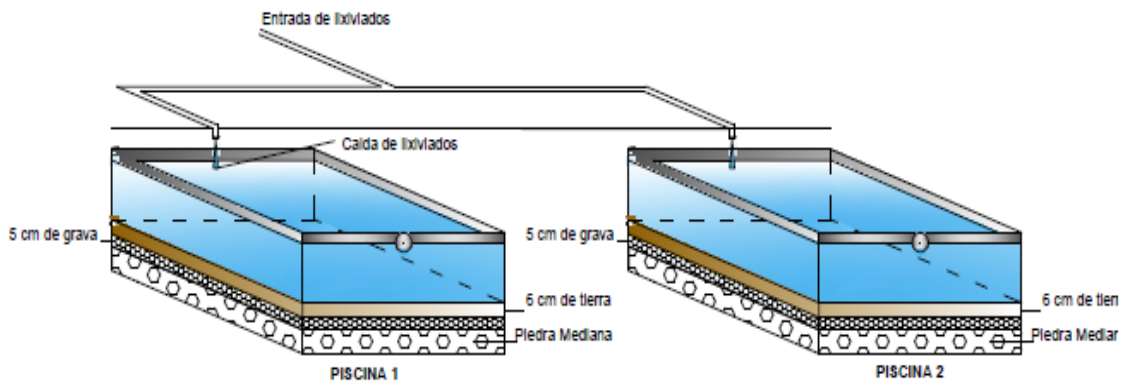


Figura 6. Instalación para el ingreso de los lixiviados a las piscinas

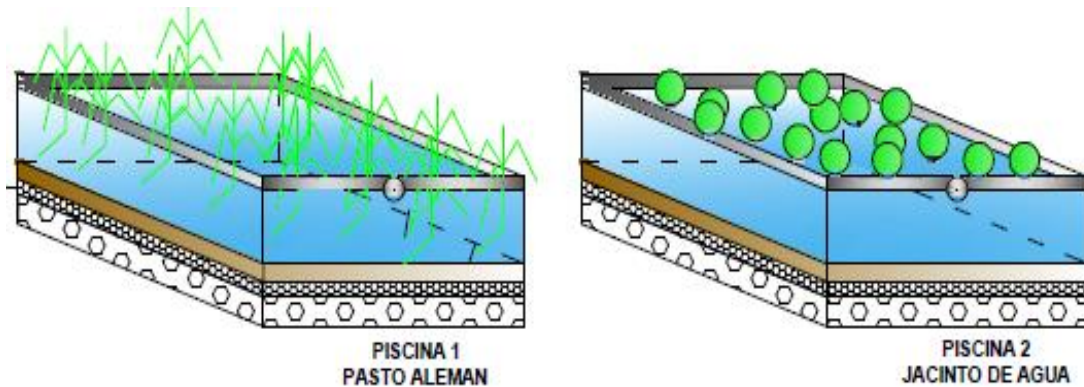




Figura 7. Siembra de las especies vegetales: jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) en las piscinas construidas.

Anexo 6. Resultados de los análisis del lixiviado sin tratar





ENSAYOS
No. OAE LE 2C 05-008

REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: Gobierno Municipal Yantzaza
Av. Ivan Ríos Frito y Armando Arias
Telf: 07 2 300 158 ext 32

Atn: Ing. Ángel Fernández
Tratamiento de Lixiviados de Relleno Sanitario del Cantón Yantzaza por
Proyecto: el proceso de Fitorremediación con las especies Pasto Alemán y Jacinto de Agua.

Muestra Recibida: 30-Jun-14
Tipo de Muestra: 1 Muestra de Lixiviado
Análisis Completado: 16-Jul-14
Número reporte Grüntec: 1406465-LIX001

Rotulación Muestra:	LIXIVIADO SIN TRATAR	Método Adaptado de Referencia
Fecha de Muestreo:	30-Jun-14	
No. Reporte Grüntec:	1406465-LIX001	

Físico Químico:		
pH ^(1,2,3)	7.3	SM 4500 H
Dureza total mg/L ^(1,3)	470	SM 2340 B/ EPA 6020
Sólidos Totales Gravimétricos mg/L ^(1,3)	2491	SM 2540 B

Aniones y No Metales:		
Alcalinidad total como CaCO3 mg/L ^(1,2,3)	772	SM 2320
Cloruro mg/L ^(1,2,3)	156 ⁽³⁾	EPA 300.1
Sulfato mg/L ^(1,2,3)	<1.0 ⁽³⁾	EPA 300.1

Parámetros Orgánicos:		
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L ^(1,2)	14	SM 5210 B,D
Demanda Química de Oxígeno mg/L ^(1,2,3)	150	SM 5220 D
Fenoles mg/L ^(1,3)	0.003	EPA 420.1
Nitrógeno Total Kjeldahl mg/L ^(1,3)	143	SM 4500 Norg

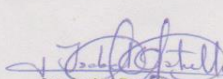
Metales totales:		
Hierro mg/L ^(1,3)	21 ^(3,c)	EPA 6020 A
Mercurio mg/L ^(1,3)	<0.0005 ^(3,c)	EPA 6020 A
Plomo mg/L ^(1,3)	<0.0025 ^(3,c)	EPA 6020 A
Sodio mg/L ^(1,3)	190 ^(3,c)	EPA 6020 A

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. OAE LE 2C 05-008
⁽²⁾ Acreditación CALA No. A3154
⁽³⁾ Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

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

a) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 20x
 b) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 5x
 c) Método de Digestión : EPA 3005a





Ing. Isabel Estrella
Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opciones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien ha realizado este informe en forma exclusiva y confidencial.
 Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Fuente: Laboratorio GRUNTEC

Anexo 7. Resultados de los análisis al lixiviado del tratamiento uno (T1)





REPORTE DE ANÁLISIS

ENSAYOS
No. OAE LE 2C 05-008

Cliente: Fernández Suqui Angel René
Yantzaza
Telf: 3038307

Atn: Ing. Angel Rene Fernandez Suqui
Tratamiento de Lixiviados del Relleno Sanitario del
Proyecto: Cantón Yantzaza por el proceso de Fitorremediación
con las especies Pasto Alemán y Jacinto de Agua

Muestra Recibida: 30-Jun-14
Tipo de Muestra: 1 Muestra de Lixiviado
Análisis Completado: 16-Jul-14
Número reporte Grüntec: 1406464-LIX001

Rotulación Muestra:	LIXIVIADO PISCINA 1	Método Adaptado de Referencia
Fecha de Muestreo:	30-Jun-14	
No. Reporte Grüntec:	1406464-LIX001	

Físico Químico:		
pH ^(1,2,3)	7.8	SM 4500 H
Dureza total mg/L ^(1,3)	366	SM 2340 B/ EPA 6020
Sólidos Totales Gravimétricos mg/L ^(1,3)	1770	SM 2540 B

Aniones y No Metales:		
Alcalinidad total como CaCO3 mg/L ^(1,2,3)	1270	SM 2320
Cloruro mg/L ^(1,2,3)	158 ^{a)}	EPA 300.1
Sulfato mg/L ^(1,2,3)	<0.5 ^{b)}	EPA 300.1

Parámetros Orgánicos:		
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L ^(1,3)	32	SM 5210 B,D
Demanda Química de Oxígeno mg/L ^(1,2,3)	142	SM 5220 D
Fenoles mg/L ^(1,3)	0.004	EPA 420.1
Nitrógeno Total Kjeldahl mg/L ^(1,3)	97	SM 4500 Norg

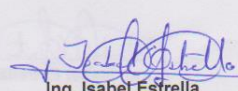
Metales totales:		
Hierro mg/L ^(1,3)	3.3 ^{b) c)}	EPA 6020 A
Mercurio mg/L ^(1,3)	<0.0005 ^{b) c)}	EPA 6020 A
Plomo mg/L ^(1,3)	<0.0025 ^{b) c)}	EPA 6020 A
Sodio mg/L ^(1,3)	184 ^{b) c)}	EPA 6020 A

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. OAE LE 2C 05-008
⁽²⁾ Acreditación CALA No. A3154
⁽³⁾ Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

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

a) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 10x
b) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 5x
c) Método de Digestión : EPA 3005a



Ing. Isabel Estrella
Gerente de Operaciones


Nota 1: Estos análisis, opciones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien ha realizado este informe 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 2


San Juan de Cumbayá- Eloy Alfaro S7-157 y Belisario Quevedo, P.O. Box 17-22-20064 Quito- Ecuador
Telfs: 601-4371 / 603-9221/ 600-5273 - E-mail: info@gruentec.com - www.gruentec.com

Fuente: Laboratorio GRUNTEC

Anexo 8. Resultados de los análisis al lixiviado del tratamiento dos (T2)



ENSAYOS
No. OAE LE 2C 05-008



REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: Fernández Suqui Angel René
Yantzaza
Telf: 3038307

Atn: Ing. Angel Rene Fernandez Suqui
Tratamiento de Lixiviados del Relleno Sanitario del
Proyecto: Cantón Yantzaza por el proceso de Fitorremediación
con las especies Pasto Alemán y Jacinto de Agua

Muestra Recibida: 30-Jun-14
Tipo de Muestra: 1 Muestra de Lixiviado
Análisis Completado: 16-Jul-14
Número reporte Grüntec: 1406464-LIX002

Rotulación Muestra:	LIXIVIADO PISCINA 2	Método Adaptado de Referencia
Fecha de Muestreo:	30-Jun-14	
No. Reporte Grüntec:	1406464-LIX002	

Físico Químico:		
pH ^(1,2,3)	7.6	SM 4500 H
Dureza total mg/L ^(1,3)	373	SM 2340 B/ EPA 6020
Sólidos Totales Gravimétricos mg/L ^(1,3)	1688	SM 2540 B

Aniones y No Metales:		
Alcalinidad total como CaCO3 mg/L ^(1,2,3)	1263	SM 2320
Cloruro mg/L ^(1,2,3)	150 ^{a)}	EPA 300.1
Sulfato mg/L ^(1,2,3)	<0.5 ^{a)}	EPA 300.1

Parámetros Orgánicos:		
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L ^(1,3)	100	SM 5210 B,D
Demanda Química de Oxígeno mg/L ^(1,2,3)	151	SM 5220 D
Fenoles mg/L ^(1,3)	0.004	EPA 420.1
Nitrógeno Total Kjeldahl mg/L ^(1,3)	90	SM 4500 Norg

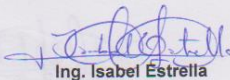
Metales totales:		
Hierro mg/L ^(1,3)	4.9 ^{b) c)}	EPA 6020 A
Mercurio mg/L ^(1,3)	<0.0005 ^{b) c)}	EPA 6020 A
Plomo mg/L ^(1,3)	<0.0025 ^{b) c)}	EPA 6020 A
Sodio mg/L ^(1,3)	175 ^{b) c)}	EPA 6020 A

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. OAE LE 2C 05-008
⁽²⁾ Acreditación CALA No. A3154
⁽³⁾ Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

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

a) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 10x
b) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 5x
c) Método de Digestión : EPA 3005a



Ing. Isabel Estrella
Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opciones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien ha realizado este informe 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 2

San Juan de Cumbayá- Eloy Alfaro S7-157 y Belisario Quevedo, P.O. Box 17-22-20064 Quito- Ecuador
Telfs: 601-4371 / 603-9221 / 600-5273 - E-mail: info@gruentec.com - www.gruentec.com

Fuente: Laboratorio GRUNTEC

Anexo 9. Materiales utilizados para la recolección y envío de las muestras para su análisis en laboratorio

Rotulación De la muestra:	
Muestreado por:	Fecha:
	Hora:
Ubicación:	Cantidad:
	Cliente:
Análisis:	



Fotografía 1. Modelo de etiqueta utilizado para identificar las muestras.

Fotografía 2. Materiales utilizados para recoger las muestras.



Fotografía 3. Se etiqueta cada una de las muestras recolectadas.



Fotografía 4. Empaquetado de las muestras recogidas para envío de análisis a laboratorio.

Anexo 10. Determinación del caudal de lixiviados del relleno sanitario

Caudal de lixiviados de la celda provisional cerrada objeto de esta investigación (Q₁).

<i>Fecha</i>	<i>Tiempo (s)</i>	<i>Volumen Total (Lts)</i>	<i>Litros/Seg.</i>
14/03/2014	52	4	0,08
17/03/2014	40	4	0,10
19/03/2014	38	4	0,11
21/03/2014	64	4	0,06
23/03/2014	40	4	0,10
25/03/2014	70	4	0,06
Total			0,51
Promedio			0,09 Lts/sg x día

Caudal de lixiviado de la celda de disposición final (Q₂).

<i>Fecha</i>	<i>Tiempo (s)</i>	<i>Volumen Total (Lts)</i>	<i>Litros/seg.</i>
14/03/2014	15	4	0,27
17/03/2014	20	4	0,20
19/03/2014	16	4	0,25
21/03/2014	46	4	0,09
23/03/2014	30	4	0,13
25/03/2014	62	4	0,06
Total			1,00
Promedio			0,17 Lts/sg x día

Caudal total de lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Yantzaza cuando se realizó esta investigación.

Q_1 (lts/seg)	+	Q_2 (lts/seg)	=	Q_t (lts/seg)
0,09	+	0,17	=	0,26

Anexo 11. Determinación del caudal de lixiviado que ingreso a las piscinas experimentales

Para determinar el caudal del lixiviado que ingreso a las piscinas experimentales o tratamientos se realizó el siguiente proceso.

Se tomó en cuenta la cantidad total de lixiviados generados en la celda provisional cerrada, dicho valor es 0,09 lts/sg determinado en el anexo 10.

En vista de que este caudal era demasiado para que ingresara todo a las piscinas, se procedió a determinar un caudal apropiado de lixiviados a cada piscina. Para esto se utilizó un balde de plástico con un volumen de 1000 cm³ (1 litro) y un cronometro.

Como se observa en la fotografía se regulo el caudal de lixiviado (Q) que ingreso a las piscinas experimentales a 0,01 lts/sg de manera que el balde se llene con el lixiviado en el tiempo de 1 minuto con 40 sg.

1 minuto con 40 sg = 100 sg.

$$Q = t * v \quad \text{donde: } t = 100 \text{ sg} \text{ y } v = 0,01 \text{ lts/sg}$$

$$Q = 100 \text{ sg} * 0,01 \frac{\text{lts}}{\text{sg}} \quad Q = 1 \text{ lt}$$



Regulación del caudal de lixiviado que ingreso hacia las piscinas

Anexo 12. Reporte general de los resultados del análisis a los lixiviados del relleno sanitario realizado por el Municipio



ENSAYOS
No. OAE LE 2C 05-008

REPORTE DE ANÁLISIS

Ciente: Gobierno Municipal Yantzaza
Av. Ivan Fito y Armando Aras
Tel: 2 300 158 ext. 32

Atn: Ing. Magdalena Medina

Proyecto: Análisis de Lixiviado

Muestra Recibida: 18-Dic-13

Tipo de Muestra: 2 Muestras de Lixiviado

Análisis Completado: 31-Dic-13

Número reporte Grúntec: 1312218-LIX001-2

Rotulación Muestra:	Antes del tratamiento	Después del tratamiento	Límite Máximo Permisible Tabla 12 TULSMA e)	Método Adaptado de Referencia
	Lixiviados 18-Dic-13	Lixiviados 18-Dic-13		
Fecha de Muestreo:				
No. Reporte Grúntec:	1312218-LIX001	1312218-LIX002		
Físico Químico:				
pH ^(1,2,3)	7.5	7.6	5 - 9	SM 4500 H
Conductividad $\mu\text{S/cm}$ ^(1,2,3)	246	2540	N/A	EPA 9050 A
Dureza Cálcica mg/L ^(1,3)	66	176	N/A	SM 2340 B/ EPA 6020
Dureza total mg/L ^(1,3)	81	305	N/A	SM 2340 B/ EPA 6020
Sólidos Totales Gravimétricos mg/L ^(1,3)	214	1696	1600	SM 2540 B
Aniones y No Metales:				
Amonio mg/L ^(1,2,3)	0.064	<0.02	N/A	SM 4500 Norg
Amonio expresado como Nitrógeno mg/L ^(1,2,3)	0.05	<0.02	N/A	SM 4500 Norg
Cloruro mg/L ^(1,2,3)	7.7	225 ⁽¹⁾	1000	EPA 300.1
Fósforo orgánico como Fosfato mg/L ^(1,2,3)	<0.5	<5.0 ⁽¹⁾	N/A	EPA 300.1
Nitrato mg/L ^(1,2,3)	4.8	34 ⁽¹⁾	N/A	EPA 300.1
Nitrato mg/L ^(1,2,3)	<0.05	<0.5 ⁽¹⁾	N/A	EPA 300.1
Nitrato+Nitrato expresado como Nitrógeno mg/L ^(1,2,3)	1.1	7.7 ⁽¹⁾	10	EPA 300.1
Sulfato mg/L ^(1,2,3)	7.1	40 ⁽¹⁾	1000	EPA 300.1
Nitrógeno orgánico mg/L *	0.05	<10	N/A	Cálculo
Parámetros Microbiológicos:				
Coliformes Fecales NMP/100 mL ^(1,3)	7500	4600	Remoción > al 99.9%	SM 9223 A,B
Coliformes Totales NMP/100 mL ^(1,3)	46000	110000	N/A	SM 9223 A,B
Parámetros Orgánicos:				
Aceites y Grasas mg/L ^(1,3)	<0.3	0.4	0.3	EPA 1664
Carbono Orgánico Total mg/L ^(1,3)	3.3	46	N/A	EPA 415.1
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L ^(1,3)	4	54	100	SM 5210 B,D
Demanda Química de Oxígeno mg/L ^(1,2,3)	8	180	250	SM 5220 D
Fenoles mg/L ^(1,3)	<0.001	<0.001	0.2	EPA 420.1
Metales totales:				
Aluminio mg/L ^(1,3)	0.21 ⁽¹⁾	0.12 ⁽¹⁾	5.0	EPA 6020 A
Arsénico mg/L ^(1,3)	0.0024 ⁽¹⁾	0.026 ⁽¹⁾	0.1	EPA 6020 A
Bario mg/L ^(1,3)	0.076 ⁽¹⁾	0.301 ⁽¹⁾	2.0	EPA 6020 A
Berilio mg/L ^(1,3)	<0.0004 ⁽¹⁾	<0.0012 ⁽¹⁾	N/A	EPA 6020 A
Boro mg/L ^(1,3)	<0.04 ⁽¹⁾	0.41 ⁽¹⁾	2.0	EPA 6020 A
Cadmio mg/L ^(1,3)	<0.0002 ⁽¹⁾	<0.0006 ⁽¹⁾	0.02	EPA 6020 A
Cadmio mg/L ^(1,3)	0.0004 ⁽¹⁾	0.013 ⁽¹⁾	0.5	EPA 6020 A
Cobalto mg/L ^(1,3)	<0.01 ⁽¹⁾	<0.03 ⁽¹⁾	1.0	EPA 6020 A
Cobre mg/L ^(1,3)	<0.001 ⁽¹⁾	<0.003 ⁽¹⁾	5.0	EPA 6020 A
Estañol mg/L ^(1,3)	0.68 ⁽¹⁾	2.9 ⁽¹⁾	10	EPA 6020 A
Hierro mg/L ^(1,3)	<0.001 ⁽¹⁾	<0.003 ⁽¹⁾	N/A	EPA 6020 A
Litio mg/L ^(1,3)	<0.01 ⁽¹⁾	1.6 ⁽¹⁾	N/A	EPA 6020 A
Manganeso mg/L ^(1,3)	0.021 ⁽¹⁾	1.6 ⁽¹⁾	N/A	EPA 6020 A
Mercurio mg/L ^(1,3)	<0.0002 ⁽¹⁾	<0.0006 ⁽¹⁾	0.005	EPA 6020 A
Mercurio mg/L ^(1,3)	<0.002 ⁽¹⁾	<0.006 ⁽¹⁾	2.0	EPA 6020 A
Níquel mg/L ^(1,3)	<0.002 ⁽¹⁾	<0.006 ⁽¹⁾	0.1	EPA 6020 A
Plata mg/L ^(1,3)	<0.0002 ⁽¹⁾	<0.0006 ⁽¹⁾	0.1	EPA 6020 A
Plomo mg/L ^(1,3)	<0.001 ⁽¹⁾	<0.003 ⁽¹⁾	0.2	EPA 6020 A
Plomo mg/L ^(1,3)	<0.002 ⁽¹⁾	<0.006 ⁽¹⁾	0.1	EPA 6020 A
Selenio mg/L ^(1,3)	11 ⁽¹⁾	247 ⁽¹⁾	N/A	EPA 6020 A
Sodio mg/L ^(1,3)	<0.0002 ⁽¹⁾	0.0015 ⁽¹⁾	N/A	EPA 6020 A
Uranio mg/L ^(1,3)	0.0012 ⁽¹⁾	0.0066 ⁽¹⁾	5	EPA 6020 A
Vanadio mg/L ^(1,3)	0.0012 ⁽¹⁾	<0.03 ⁽¹⁾	5.0	EPA 6020 A
Zinc mg/L ^(1,3)	<0.01 ⁽¹⁾	<0.03 ⁽¹⁾	5.0	EPA 6020 A

Registros y Acreditaciones:

(1) Acreditación No. OAE LE 2C 05-008

(2) Acreditación CALA No. A3154

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

a) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 2x

b) Método de Digestión: EPA 3015a

c) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 10x

d) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 10x

e) Límites de detección a un cuerpo de agua dulce

Ing. Isabel Estrella
Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opciones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos

por el cliente para quien ha realizado este informe en forma exclusiva y confidencial.

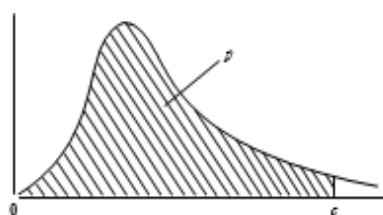
Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

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

(3) Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

Anexo 13. Tabla para valores de Chi-cuadrado (χ^2) 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

□

Anexo 14. Implementación de una cubierta para la laguna de tratamiento final de los lixiviados

Actividades a realizar para la implementación de la cubierta

De entre algunas actividades más importantes para este aspecto se han considerado las siguientes:

1. Delimitar el área donde se va a colocar la cubierta.
2. Preparar el sitio del terreno en donde se construirán las columnas para el soporte de la cubierta, las dimensiones de ancho, largo y altura de las columnas queda a criterio del constructor.
3. Se colocara la red de soporte para la cubierta sobre las columnas, el nivel de pendiente y el tipo de material (madera, metal, etc) para la estructura de soporte a la cubierta queda a criterio del constructor.
4. Se colocara la cubierta de plástico transparente y resistente a las condiciones climáticas. Se deberá considerar que el plástico utilizado como cubierta permita el traspaso de la luz solar.
5. En el lado o lados a donde esté dirigida la pendiente de la cubierta se deberá colocar una canaleta instalada hacia un tubo para la recolección y drenaje de las aguas lluvias.
6. Se deberá realizar el mantenimiento cada tres meses específicamente del recolector de las aguas lluvias, debido a que pueden darse taponamientos por la presencia de hojarascas, hierbas secas, etc.

Continuación del anexo 14...

Características y costo total de la cubierta

La cubierta a implementar planteada en la propuesta de esta investigación tiene las siguientes características:

Aspecto	Detalle
Dimensiones	12 m de largo x 10 m de ancho
Columnas de 15x15	8 columnas de 4 m de longitud total.

A continuación se muestra el presupuesto de la obra.

Nro.	Rubro	Unidad	Cant.	Precio unitario	Precio total
	Cubierta				
1	Sacos cemento	U	12	7,8	93,6
2	Piedra de 4"	m ³	1	15	15
3	Varilla de hierro 12 mm x 12m	U.	16	10,98	175,68
4	Varilla de hierro 6 mm x 6m		16	1,5	24
5	Alambre de amarre	Lib	8	0,9	7,2
6	Grava	m ³	3	20	60
7	Clavo de 3"	Lib.	8	1,5	12
8	Tablas de madera		12	3	36
9	Correas de 100X50 mm	U.	15	18,48	277,2
10	Correas de 60X50 mm	U.	18	10,5	189
11	Plástico de invernadero	Rollo	1	330	330
12	Canalones	U.	4	25	100
13	Suelda 6011 Indura de 1/8	Lib.	6	2	12
14	Mano de obra	Oficial	1	30	30
		Maestro	1	60	60
15	Otros				100
	Costo Total				1521,68