

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

Tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un sistema de filtros
verdes en la Comuna Libertador Bolívar

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Químico

Presentado por:

Mariuxi Marilin Parrales Gómez

Edison Lenín Pozo Ramos

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

Dedicamos el presente trabajo al cabildo de la Comuna Libertador Bolívar y sus habitantes, para que trabajen por su comunidad, unidos en la misma causa.

También dedicamos a todos quienes estuvieron nosotros, padres y familiares, amigos, maestros y compañeros que han estado durante todo el camino brindando su apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Nuestros más sinceros agradecimientos a todos los docentes y colegas que me ayudaron en la realización de este proyecto.

De la misma manera, nos gustaría agradecerle a nuestro tutor, Dr. Fernando Morante por la orientación y consejos brindados a lo largo de este proyecto, así mismo agradecemos a las biólogas Martha Borbor y Yessenia Pozo, jefas de los departamentos de microbiología y medio ambiente respectivamente, que nos supieron colaborar con los análisis de laboratorio realizados en CENAIM y al PhD. Stanislaus Sonnenholzner director del CENAIM, por permitirnos el uso de sus instalaciones y por el gesto amable de querernos ayudar en todo momento.

Finalmente agradecemos a la Sra. Cecilia Córdova representante de la Comuna Libertador Bolívar, por toda la ayuda brindada a lo largo de este proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Parrales Gómez Mariuxi Marilin y Pozo Ramos Edison Lenin y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"




Parrales Gómez Mariuxi Marilin

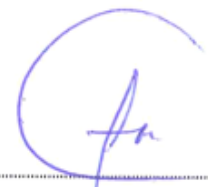


Pozo Ramos Edison Lenin

EVALUADORES



Nadia Flores M. M.Sc
PROFESOR DE LA MATERIA



Fernando Morante C. Ph.D
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño e implementación de un sistema piloto de filtros verdes con la finalidad de tratar los efluentes de las lagunas de oxidación situadas en la Comuna Libertador Bolívar de la Parroquia Manglaralto, en la Provincia de Santa Elena y permitir el conocimiento de la capacidad de eliminación de los contaminantes en el agua para su posterior aplicación a gran escala en zonas similares. Estas aguas actualmente no reciben el tratamiento adecuado y se descargan en un espacio de suelo rodeado por arbustos junto a las lagunas, dando lugar a la eutrofización, contaminando el suelo y pudiendo también contaminar las aguas subterráneas.

En el diseño se realizó una selección y evaluación de la superficie de emplazamiento, cálculo de la carga hidráulica de diseño, y el área a necesaria. Al final del filtro verde se construyó un lisímetro para la toma de muestras de agua proveniente de la laguna de maduración y a profundidades de 30, 60 y 90 cm, para analizarlas y medir en ellas DBO₅ y coliformes totales.

Los resultados obtenidos muestran una remoción promedio de DBO₅ de 87,11% y en coliformes se reduce a 867 NMP/100ml a una profundidad de 90 cm. Estos resultados cumplen la normativa ecuatoriana establecidos en el Anexo 1 del Libro VI del TULSMA: Recurso Agua.

En conclusión, el sistema de filtros verdes reduce eficientemente los contaminantes de los efluentes de las lagunas de oxidación, además permite reutilizar el agua y promover la reforestación de la zona.

Palabras Clave: Tratamiento no convencional, Filtro verde, agua residual, reforestación, Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), Coliformes totales.

ABSTRACT

In this work show the design and implementation of a pilot system of green filters in order to treat effluents from oxidation lagoons located in Libertador Bolívar's community of Manglaralto Parish, in Santa Elena's province and allow knowledge of pollutant removal capacity in water for later application on a large scale in similar zones. Actually these waters do not receive the appropriate treatment and are discharged on a soil space surrounded by bushes next to the lagoons, leading to eutrophication, contaminating the soil and can also contaminate groundwater.

For the construction of the green filters system made a selection and evaluation of the site surface, design hydraulic load calculation, and the necessary area. Built a lysimeter at the end of the green filter for water sampling from the maturation lagoon and at depths of 30, 60 and 90 cm, to analyze in them BOD₅ and total coliforms.

The results obtained show an average removal of BOD₅ of 87,11% and in total coliforms is reduced to 867 NMP/100ml at a depth of 90cm. these results comply with Ecuadorian regulations in Annex 1 of Book VI of TULSMA: Water Resource.

In conclusion, the green filters system efficiently reduces pollutants from oxidation lagoon effluents, also allows water reuse and promote the reforestation of the area.

Keywords: Unconventional treatment, green filters, wastewater, total coliforms, Biochemical Oxygen Demand (BOD).

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| RESUMEN..... | I |
| ABSTRACT | II |
| ÍNDICE GENERAL | III |
| ABREVIATURAS..... | VII |
| SIMBOLOGÍA..... | VIII |
| ÍNDICE DE FIGURAS | IX |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | XI |
| CAPÍTULO 1..... | 1 |
| 1 Introducción | 1 |
| 1.1 Descripción del problema | 1 |
| 1.2 Justificación del problema. | 3 |
| 1.3 Objetivos | 5 |
| 1.3.1 Objetivo General..... | 5 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos..... | 5 |
| 1.4 Marco teórico..... | 5 |
| 1.4.1 Aguas residuales. | 5 |
| 1.4.2 Composición de las aguas residuales..... | 6 |
| 1.4.3 Lagunas de oxidación | 6 |
| 1.4.4 Tratamientos no convencionales de aguas residuales. | 7 |
| 1.4.5 Reutilización de las aguas residuales..... | 9 |
| 1.4.6 Eliminación de los contaminantes..... | 9 |
| 1.4.7 Especie vegetal..... | 10 |
| 1.4.8 Parámetros de calidad del agua tratada. | 10 |
| CAPÍTULO 2..... | 14 |
| 2 Metodología | 14 |
| 2.1 Diseño preliminar del sistema de filtros verdes. | 15 |

| | | |
|-----------------|--|----|
| 2.1.1 | Aspectos relevantes del diseño del sistema de filtros verdes. | 15 |
| 2.1.2 | Evaluación y selección del emplazamiento del área de estudio. | 15 |
| 2.1.3 | Selección del tipo de cultivo a utilizar | 16 |
| 2.1.4 | Principales pretratamientos necesarias del agua a usar..... | 17 |
| 2.1.5 | Método de distribución del agua residual..... | 17 |
| 2.2 | Diseño constructivo del sistema de filtros verdes (carga hidráulica del diseño). | 18 |
| 2.2.1 | Carga hidráulica mediante el uso de los requerimientos de agua de cultivo. | 18 |
| 2.2.2 | Carga hidráulica mediante la capacidad de asimilación hidráulica entre el suelo y la planta. | 19 |
| 2.2.3 | Carga hidráulica mediante la capacidad de asimilación de constituyentes. | 20 |
| 2.2.4 | Carga hidráulica del diseño Lw. | 20 |
| 2.3 | Superficie necesaria | 20 |
| 2.4 | Toma de muestras..... | 21 |
| 2.5 | Análisis de muestras | 22 |
| 2.5.1 | Suelo..... | 22 |
| 2.5.2 | Agua | 22 |
| 2.6 | Análisis de laboratorio. | 22 |
| 2.6.1 | Determinación de la Granulometría por la norma ASTM D-422-63 | 22 |
| 2.6.2 | Determinación de Conductividad eléctrica y pH del suelo | 24 |
| 2.6.3 | Determinación de Coliformes totales en agua por el método de siembra de membranas Petrifilm. | 26 |
| 2.6.4 | Determinación de DBO ₅ en agua por el método de Winkler | 29 |
| CAPÍTULO 3..... | | 32 |
| 3 | RESULTADOS Y ANÁLISIS..... | 32 |
| 3.1 | Análisis de suelo..... | 32 |

| | | |
|---|--|----|
| 3.1.1 | Selección del emplazamiento | 32 |
| 3.1.2 | Características del suelo..... | 32 |
| 3.1.3 | Granulometría del suelo..... | 33 |
| 3.2 | Selección de tipo de cultivo | 34 |
| 3.3 | Determinación de la carga hidráulica de diseño L_w | 35 |
| 3.3.1 | Cálculo de la carga hidráulica para el requerimiento de agua de cultivo. ($L_w(I)$) | 37 |
| 3.3.2 | Cálculo de la carga hidráulica mediante la capacidad de asimilación hidráulica entre el suelo y la planta. ($L_w(P)$) | 38 |
| 3.3.3 | Cálculo de la carga hidráulica mediante la capacidad de asimilación de constituyentes. $L_w(N)$ | 38 |
| 3.4 | Cálculo de caudal y superficie..... | 39 |
| 3.4.1 | Cálculo de caudal necesario para el área establecida de la planta piloto..... | 39 |
| 3.4.2 | Cálculo de la superficie necesaria para el tratamiento de todo el flujo de agua que ingresan a las lagunas de oxidación. | 40 |
| 3.5 | Análisis del agua | 40 |
| 3.5.1 | Análisis de recuento de Coliformes totales. | 41 |
| 3.5.2 | Análisis de DBO_5 | 44 |
| CAPÍTULO 4..... | | 47 |
| 4 | Conclusiones Y Recomendaciones | 47 |
| 4.1 | Conclusiones..... | 47 |
| 4.2 | Recomendaciones..... | 48 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | | 50 |
| ANEXOS..... | | 54 |
| ANEXOS 1. Fotografías de las lagunas de oxidación de Libertador Bolívar y sus alrededores..... | | 54 |
| ANEXOS 2. Fotografías de la construcción de la planta piloto de tratamiento de agua a través de un sistema de filtros verdes. | | 55 |

| | |
|---|----|
| APÉNDICE | 58 |
| Apéndice a. Resultados de los análisis de DBO_5 extendidos por el CENAIM durante las semanas de análisis. | 58 |

ABREVIATURAS

| | |
|---------|---|
| ESPOL | Escuela Superior Politécnica del Litoral |
| ASTM | American Society for Testing and Materials |
| TULSMA | Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente |
| COA | Código Orgánico Ambiental |
| CENAIM | Centro de Investigaciones Marinas y Acuícolas |
| NMP | Número más probable |
| CONAGUA | Comisión Nacional del Agua |
| USDA | Departamento de Agricultura de los Estados Unidos |
| DBO | Demanda bioquímica de oxígeno |
| OD | Oxígeno disuelto |
| EPA | Environmental Protection Agency of EEUU |
| GAD | Gobierno Autónomo Descentralizado |
| JAAPMAN | Junta Administradora de Agua Potable de Manglaralto |
| ARU | Aguas Residuales Urbanas |

SIMBOLOGÍA

| | |
|----------------|------------------------|
| ml | Mililitro |
| mg | Miligramo |
| pH | Potencial de Hidrógeno |
| m | Metro |
| mm | Milímetros |
| cm | Centímetros |
| m ² | Metros cuadrados |
| m ³ | Metros cúbicos |
| L | Litros |
| g | Gramos |
| Kg | Kilogramos |
| h | Hora |
| s | Segundos |
| d | Días |
| ha | Hectáreas |
| % | Porcentaje |
| P | Fósforo |
| N | Nitrógeno |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|--|
| Figura 1.1 Ubicación la Comuna Libertador Bolívar. Imagen tomada de Google maps. .2 | |
| Figura 1.2 Acumulación de agua eutrofizada en el suelo alrededor de las lagunas de oxidación. Autores: Parrales & Pozo.3 | |
| Figura 1.3. Factores que causan ineficiencia en el funcionamiento de las lagunas de estabilización. (Pérez, 2009)7 | |
| Figura 1.4. Esquema de un filtro verde. (Alianza por el agua, 2008).....8 | |
| Figura 2.1 Diagrama conceptual de la metodología a seguir. Autores: Parrales & Pozo14 | |
| Figura 2.2. Ubicación de las lagunas de oxidación de la Comuna Libertador Bolívar. (Imagen obtenida de Google maps, 2019)16 | |
| Figura 2.3 Planta piloto de un sistema de filtros verdes en la comuna de Libertador Bolívar. Autores: Parrales & Pozo.18 | |
| Figura 2.4 Lisímetro utilizado en la planta piloto del sistema de filtros verdes en la comuna Libertador Bolívar. Autores: Parrales & Pozo21 | |
| Figura 2.5 Tamizado de la muestra en seco, en una torre de tamices por medio de agitación mecánica. Autores: Parrales & Pozo.....22 | |
| Figura 2.6 Determinación de conductividad eléctrica y pH de la muestra de suelo a través de electrodos. Autores: Parrales & Pozo.....25 | |
| Figura 2.7 Placas Petrifilm para la determinación de Coliformes totales. (3M Microbiology, 2009)26 | |
| Figura 2.8 Conteo de colonias asociadas con gas en el colony counter. Autores: Parrales & Pozo.....27 | |
| Figura 2.9 Lectura del oxígeno disuelto en botella winkler con muestra de agua tratada de la planta piloto de filtros verdes en la comuna Libertador Bolívar. Autores: Parrales & Pozo.29 | |
| Figura 3.1 Ubicación de la planta piloto del sistema de filtros verdes de la comuna Libertador Bolívar. (Imagen obtenida de Google maps, 2019).32 | |
| Figura 3.2 Curva granulométrica del suelo utilizado para el cultivo de la caña guadua. Autores: Parrales & Pozo.34 | |
| Figura 3.3 Evapotranspiración potencial del Ecuador. Obtenido de INAMHI (2017)36 | |

| | |
|---|----|
| Figura 3.4 Diagrama de Coliformes totales con relación a las muestras analizadas a diferentes profundidades de filtración. Autores: Parrales & Pozo..... | 43 |
| Figura 3.5 Diagrama del porcentaje de remoción de Coliformes totales de cada muestra analizada a diferentes profundidades de filtración. Autores: Parrales & Pozo | 44 |
| Figura 3.6 Diagrama de DBO5 con relación a las muestras analizadas a diferentes profundidades. Autores: Parrales & Pozo..... | 45 |
| Figura 3.7 Diagrama del porcentaje de remoción del DBO ₅ de cada muestra analizada. Autores: Parrales & Pozo | 46 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1.1 Rendimientos de depuración de los sistemas de aplicación superficial al terreno. (Gil et al., 2013)..... | 9 |
| Tabla 1.2 Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola. (Ministerio del Ambiente, 2015) | 11 |
| Tabla 2.1 Características óptimas que debe poseer el terreno que se utilizara en sistema de filtros verdes. Obtenido de: (Alianza por el agua, 2008) | 15 |
| Tabla 2.2 Cantidad de masa a utilizar acorde al tamaño de partícula más grande de la muestra de suelo a usar. Obtenida de (ASTM D 422 – 63, 2007) | 23 |
| Tabla 3.1 Resultados del análisis del suelo del área utilizada. Autores: Parrales & Pozo | 33 |
| Tabla 3.2 Datos obtenidos en el lavado y secado de la muestra de suelo. Autores: Parrales & Pozo..... | 33 |
| Tabla 3.3 Datos obtenido del análisis granulométrico de nuestra en seco y cálculos respectivos para poder graficar la curva granulométrica. Autores: Parrales & Pozo | 34 |
| Tabla 3.4 Precipitaciones registradas mensualmente en la provincia de Santa Elena, de acuerdo con el INAMHI (2013). | 35 |
| Tabla 3.5 Resumen de las cargas hidráulicas calculadas. Autores: Parrales & Pozo ... | 39 |
| Tabla 3.6 Diluciones realizadas e imágenes en placas Petrifilm con colonias de coliformes. Autores: Parrales & Pozo | 41 |
| Tabla 3.7 Resultados del recuento de Coliformes totales durante 3 semanas. Autores: Parrales & Pozo..... | 42 |
| Tabla 3.8 Porcentaje de remoción de Coliformes totales de cada muestra en las diferentes semanas analizadas a diferentes profundidades de filtración. Autores: Parrales & Pozo | 43 |
| Tabla 3.9 Resultados de la concentración DBO ₅ durante 3 semanas a diferentes profundidades. Autores: Parrales & Pozo..... | 44 |
| Tabla 3.10 Porcentaje de remoción de DBO ₅ de cada muestra en las diferentes semanas analizadas a diferentes profundidades. Autores: Parrales & Pozo | 45 |

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

Los ríos, mares y otras fuentes de recursos hídricos actualmente se ven en peligro por la contaminación de la descarga de efluentes que puede llegar a ellas. Entre las fuentes de contaminantes se sitúan las aguas de desechos urbanas, las cuales poseen una gran cantidad de agentes contaminantes. (Martín Martínez, 1989).

En las comunidades rurales de la zona norte la provincia de Santa Elena encontramos a la Comuna Libertador Bolívar, perteneciente a la Parroquia Manglaralto (Figura 1.1), el cual consta de un sistema de alcantarillado que es administrado por la comuna. El tratamiento de las aguas residuales se realiza a través de dos lagunas de oxidación una Facultativa y otra de Maduración, tienen un área designada de aproximadamente 20.400 m² y actualmente no poseen un mantenimiento ni control adecuado.

El sistema de alcantarillado fue construido por el Gobierno Autónomo Descentralizado Cantonal de Santa Elena, año 2010. En 2015 los dirigentes comunales decidieron tomar la administración del alcantarillado, ya que comenzaron a tener problemas en el servicio. Actualmente, el sistema de alcantarillado tiene problemas de bombeo, ya que no ha recibido un mantenimiento adecuado desde su construcción. Para contrarrestar un poco el problema, la dirigencia comunal cobra desde 2015 una cuota mensual por el servicio de alcantarillado, y con esto cubrir parte del mantenimiento. Sin embargo, no todos los habitantes cancelan, generando un problema de insostenibilidad financiera.

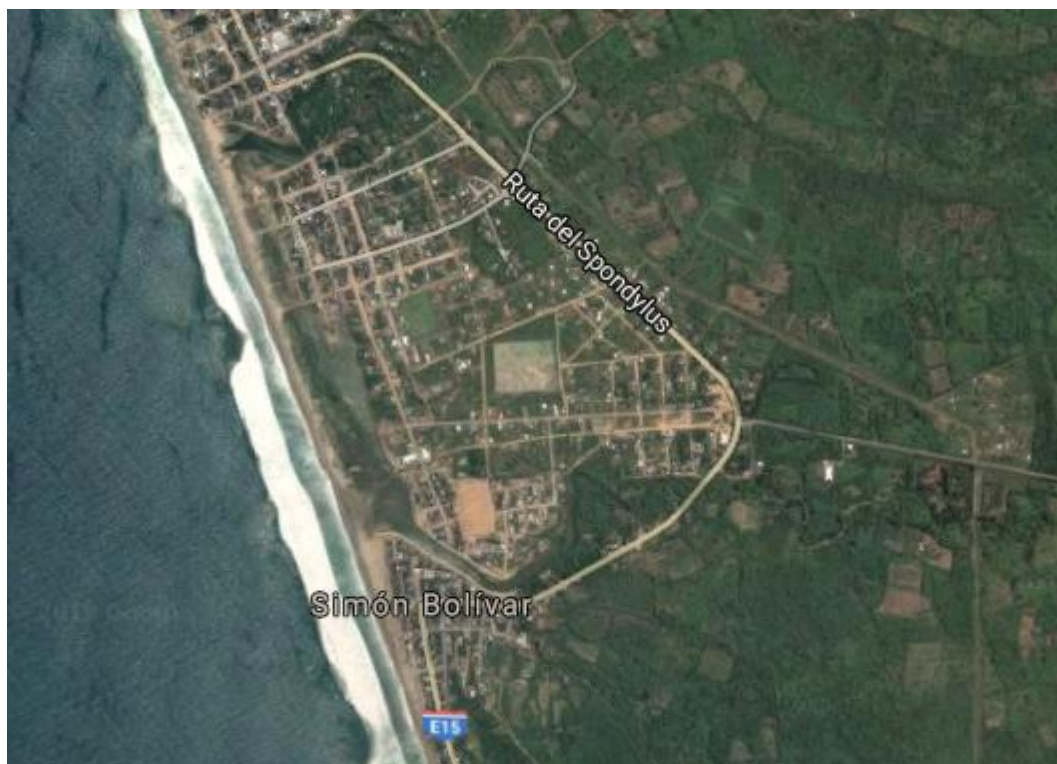


Figura 1.1 Ubicación la Comuna Libertador Bolívar. Imagen tomada de Google maps.

Las aguas de las lagunas se descargan en un espacio de suelo rodeado por arbustos y acumulándose en los alrededores, dando lugar a la eutrofización, contaminando así el suelo y pudiendo también contaminar aguas subterráneas (Figura 1.2). Además, los malos olores generados son llevados por el viento a las comunidades de Cadeate y Rio Chico.

Por otro lado, en esta zona se observa una gran actividad turística y agrícola, pero tiene una deficiencia de agua constantemente, lo que ha obligado a la comunidad buscar formas de reutilización del agua. La Junta Administradora de Agua Potable de Manglaralto (JAAPMAN) administra 12 pozos de agua, con una profundidad promedio de 25 metros cada uno, que actualmente proveen de agua a toda la Parroquia de Manglaralto y en ella la Comuna Libertador Bolívar. (Marcatoma, 2018)

Según Marcatoma (2018), el 74% de la superficie de la Provincia de Santa Elena es árido y apto para la agricultura, pero esta actividad se ve limitada por la falta de

agua para el riego de los cultivos. Por tal motivo, es una preocupación de los directivos de las diferentes entidades de la comuna ver la manera de reutilizar el agua que sale de la laguna de maduración. La opción que se ha presentado es el riego de siembra de especies maderables para reforestar y obtener un beneficio económico y aumentar su sostenibilidad, ya que en tiempos de lluvias las aguas residuales se desbordan por los alrededores.



Figura 1.2 Acumulación de agua eutrofizada en el suelo alrededor de las lagunas de oxidación. Autores: Parrales & Pozo.

1.2 Justificación del problema.

En el Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) expone que “Las aguas residuales que no cumplan con los parámetros de descarga establecidos en la Norma, deberán ser tratadas adecuadamente, sea cual fuere su origen: público o privado. Los sistemas de tratamientos deben contar con un plan de contingencia frente a cualquier situación que afecte su eficiencia”. (Ministerio del Ambiente, 2015)

La Agencia de Protección Ambiental (s.f) (EPA, por sus siglas en inglés), en la Ley de agua limpia manifiesta su preocupación por la contaminación diciendo que las

aguas residuales que se desbordan y las que provienen del sistema de alcantarillado pueden terminar en las fuentes de aguas, afectando a la calidad de agua, trayendo consecuencias graves a la salud de las personas. Los GAD's municipales tienen la competencia de disminuir las descargas ilegales de aguas residuales, contribuyendo así a que no se afecte el agua en las comunidades.

En aplicación de tecnologías y herramientas amigables con el medio ambiente y que además contribuyan al desarrollo económico, industrial, social, aplicables al tratamiento de agua residual y disminuir los impactos ambientales, se presentan los sistemas no convencionales de tratamiento, que depuran el agua y hacen posible su reutilización. (Torres, 2018)

Álvarez (2002), sugiere un método no convencional de tratamiento de aguas residuales como es el sistema de filtros verdes. Este sistema tiene aplicación ya hace muchos años y que hoy día está siendo utilizada en muchos lugares de Latinoamérica y en Europa, ya que proporciona una manera de reutilizar del agua con propósitos productivos promoviendo al desarrollo de la zona. Por ello, se plantea realizar un tratamiento mediante un sistema piloto de filtros verdes para disminuir los niveles de contaminantes de las descargas, que permita conocer la capacidad de eliminación de los contaminantes presentes en el agua para su posterior aplicación a gran escala en zonas similares.

Por otro lado, La Comuna Libertador Bolívar busca reforestar la zona, dando aún más relevancia ecológica al instalar el sistema de filtros verdes, porque se puede utilizar plantas forestales como parte del sistema, ya que, según López, Germán, Francisco, & Herce (1998) éstas presentan una gran ventaja en comparación a otros tipos de cultivos en la depuración de las aguas residuales.

Según Noboa (2010), la península de Santa Elena fue abastecedora de madera hace varios años atrás y a consecuencia de aquello la vegetación tropical seca propia de la zona se encuentra amenazada. Debido a la escasez de lluvias, el ciclo de agua se ve afectado, por esta razón el acceso al líquido vital es limitado. Además, se han sumado esfuerzos en proyectos de reforestación y de esta manera revertir el daño ocasionado, pero por la cantidad de agua que se requiere, no ha

habido éxito. Por esta razón, Noboa (2010) hace un estudio comparando cuatro especies forestales, Guayacán, Cascol, Guachapelí y Guasango, en etapa de vivero. Éstas fueron regadas con agua residuales de laguna de oxidación, tanto de la facultativa como de maduración, teniendo una supervivencia de 95%, 99,78%, 98,11% y 99,33% respectivamente. Demostrando que, es posible reutilizar el agua de las lagunas de oxidación en el riego de especies forestales, aprovechando así sus nutrientes.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Reducir la contaminación de DBO₅ hasta en un 90% y coliformes totales a menos 1000NMP/100ml de las aguas tratadas por las lagunas de oxidación de la Comuna Libertador Bolívar, a través de la implementación de un sistema piloto de filtros verdes para la promoción de la reforestación en el área de estudio.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Verificar las condiciones del suelo y de los influentes y efluentes mediante análisis de DBO₅ y coliformes totales para la evaluación de la reducción de los contaminantes.
- Calcular la carga hidráulica de diseño y la superficie para el emplazamiento de los filtros verdes, mediante cálculos propios del diseño para la determinación del caudal necesario de riego.
- Promover la reutilización de las aguas residuales de las lagunas de oxidación mediante la aplicación de filtros verdes para la reforestación del área de estudio.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Aguas residuales.

Las aguas residuales son aquellas aguas usadas por el hombre, que contienen una alta cantidad de sustancias contraproducentes y microorganismos, que

pueden llegar a representar un gran peligro. Existen estas aguas con diferentes orígenes. (Espigares & Perez, 2013)

1.4.1.1 Aguas residuales domésticas.

Conocidas también como aguas negras, estas aguas son procedente normalmente de las heces y orinas generadas por el humano, es la mezcla de todas las aguas utilizadas de limpieza de casa, cocina y aseo personal. (Espigares & Perez,2013)

1.4.2 Composición de las aguas residuales

Las aguas residuales poseen una composición bastante variable derivados de diversos factores que las afecten, donde la cantidad dependerá del consumo promedio del agua que cada habitante utilice, y la calidad dependerá del consumo alimenticio de cada habitante, donde esto contribuirá con la composición química el agua. El contenido aproximado de las aguas residuales es del 99.8% de agua, mientras que el restante está conformado por materia sólida. La materia solida normalmente está conformada por materia mineral que provienen de los subproductos de desecho de la vida cotidiana del hombre y de materia orgánica de la actividad humana, donde su composición es materia carbonácea, grasas y proteínas. (Rojas, 2002)

1.4.3 Lagunas de oxidación

Según Mercado (2013), Son lagunas de estabilización, son construidas en forma rectangular y de profundidad de 3 a 5 metros aproximadamente, estas están diseñadas con la finalidad de tratar las aguas residuales a través de la interacción de bacterias y algas, empleando técnica de estabilización de la materia orgánica y descomposición biológica natural. Las lagunas de oxidación se pueden clasificar en:

- Lagunas anaeróbicas
- Lagunas facultativas
- Laguna de maduración

Existen varios factores que pueden llegar a causar ineficiencias de funcionamiento de las lagunas de estabilización, como lo son los factores climáticos, factores físicos y factores químicos (Figura 1.3). (Perez, 2009)

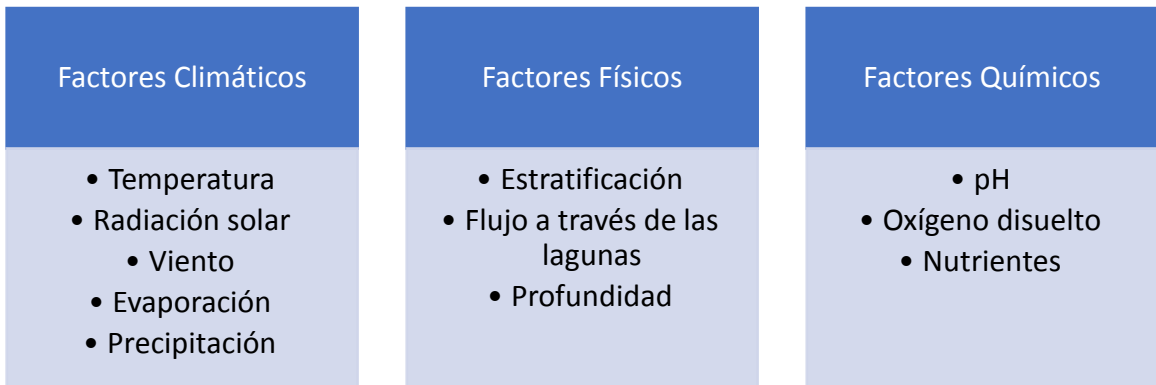


Figura 1.3. Factores que causan ineficiencia en el funcionamiento de las lagunas de estabilización. (Pérez, 2009)

1.4.4 Tratamientos no convencionales de aguas residuales.

Los tratamientos blandos o no convencionales buscan imitar los procesos de autodepuración natural, en ríos y lagunas. Los tipos de tratamientos no convencionales más utilizados son el lagunaje y los filtros verdes, donde se vierte el agua residual para el riego de superficies herbáceas o de especies leñosas. La instalación de estos sistemas de tratamientos son de bajos costos de operación y poco mantenimiento, además, son aplicables para poblaciones con un número reducido de habitantes y en condiciones climáticas cálidas. (Bracho, Barquilla, Moreno, & Olivares , 2016)

1.4.4.1 Filtros verdes

El sistema de filtros verdes es un método de tratamiento de aguas por aplicación de agua residual de una población sobre una superficie de terreno en la que se planta vegetación (Figura 1.4), la misma que se encarga de realizar la depuración de forma natural de las aguas por la acción de fenómenos físicos (filtración), químicos (intercambio iónico) y biológicos (las raíces de las plantas absorben los nutrientes, mientras los microorganismos del suelo degradan la materia orgánica de las aguas residuales. (De Bustamante, et. al., 2005)

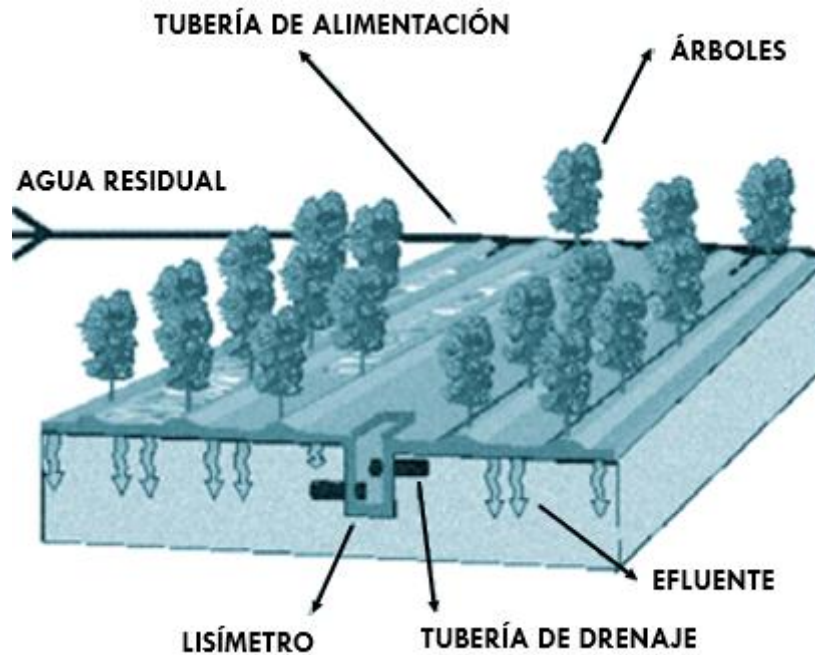


Figura 1.4. Esquema de un filtro verde. (Alianza por el agua, 2008)

Los filtros verdes son considerados una tecnología amigable con el medio ambiente, aprovechando el agua residual y sus nutrientes para la producción de alimentos, madera y fibras. Tienen una gran ventaja en lugares donde las aguas tratadas no tienen un lugar para evacuar y los costes de inversión y mantenimiento son bajos. Este tipo de tratamientos requieren de disponibilidad de grandes espacios, por esta razón, se recomienda para poblaciones menores a 25.000 habitantes. (Gil, Cisneros, De Prada, Plevich, & Sanchez, 2013)

Según López et al. (1998), dentro de las ventajas de la aplicación de filtros verdes tenemos:

- Es de bajo coste de mantenimiento y construcción. Económica y ecológica. Sin Ruidos.
- Aprovechable para la reforestación, produciendo rentabilidad maderera incluso en terrenos no cultivables.
- Reduce el impacto ambiental.
- No requiere personal especializado para el control.

1.4.5 Reutilización de las aguas residuales.

Actualmente, las aguas residuales pueden ser aprovechadas en el campo agrícola, debido a la alta demanda de agua que estos necesitan, ayudando a regular el abastecimiento de este recurso. El uso de estas aguas residuales puede ser muy beneficioso para los suelos agrícolas, debido a que estas mejoran la fertilidad de los mismo, gracias a su aporte de materia orgánica, macronutrientes y oligoelementos que ayuda a reducir la necesidad de fertilizantes en los suelos, trayendo con esto un factor económico importante al sector, reduciendo costos de tratamientos de las aguas. (Silva, Torres, & Madera, 2008)

Hoy en día, existen varios lugares que aprovechan estas aguas residuales en suelos agrícolas como, por ejemplo: China riega más de 1,33 millones de hectáreas de suelo para cultivos, Israel utiliza estas aguas residuales para el riego de cultivos de forrajes y Perú riega un aproximado de 18000 hectáreas. (Noboa, 2010)

1.4.6 Eliminación de los contaminantes.

La Tabla 1.1 muestra los rendimientos de depuración que se logran con la aplicación de filtros verdes, los cuales son altos especialmente para DBO₅.

Tabla 1.1 Rendimientos de depuración de los sistemas de aplicación superficial al terreno. (Gil et al., 2013)

| | Sólidos en suspensión | DBO₅ | DQO | N | P |
|---------------------|------------------------------|------------------------|------------|----------|----------|
| Filtro verde | 95-99 | 90-95 | 90-95 | 90-95 | 85-90 |
| Infiltración | 90-95 | 90-95 | 70-80 | 30-95 | 25-40 |
| Escorrentía | 70-80 | 90-95 | 60-70 | 45-50 | 20-30 |

El proceso de eliminación de los contaminantes del agua se realiza de la siguiente manera:

- **Eliminación de sólido en suspensión:** Ocurre principalmente por filtración del agua a través del suelo y en menor proporción a través de las especies vegetales.

- **Eliminación de materia orgánica:** Los procesos microorgánicos presentes en el suelo biodegradan la materia orgánica que se queda después de la filtración del agua residual y también se eliminan los sólidos retenidos en el suelo. Para ello es fundamental mantener las condiciones aeróbicas en la superficie del terreno, por eso, es importante la intermitencia del riego.
- **Eliminación de nutrientes:** La eliminación del nitrógeno depende de la forma en que el nutriente se encuentre presente; nitrógeno orgánico, amoníaco o nitrato. El fósforo se elimina por adsorción y por precipitación en el suelo, y por captación de las plantas para su crecimiento. (Alianza por el agua, 2008).

1.4.7 Especie vegetal.

La especie vegetal que comúnmente empleada es el chopo, pero en la actualidad se está utilizando el eucalipto. El terreno donde se construye el filtro verde es dividido en parcelas y regados de forma rotativa. Esta rotación permite que la tierra se reoxigene de forma naturalmente en períodos de post-encharcamiento. Para controlar la calidad de las aguas que se infiltran se instala una red de lísímetros, para facilitar la recogida de muestras a niveles de diferentes profundidades. (Figura 1.4) (Alianza por el agua, 2008)

1.4.8 Parámetros de calidad del agua tratada.

Por medio del sistema de filtros verdes, se busca reducir los contaminantes, de tal manera que el agua tratada cumpla con los criterios de calidad para uso agrícola señalados en el Anexo 1 del Libro VI del TULSMA: Recurso Agua.

Se describe como agua de uso agrícola, a aquella que se utiliza para regar y realizar otras actividades complementarias por las instituciones competentes. (Ministerio del Ambiente, 2015). En la tabla 1.2 se da conocer los criterios de calidad admisibles para el agua de uso agrícola.

Tabla 1.2 Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola. (Ministerio del Ambiente, 2015)

| Parámetros | Expresado como | Unidad | Límite máximo permisible |
|------------------------|-----------------------------------|---------------|---------------------------------|
| Aluminio | Al | mg/L | 5,0 |
| Arsénico (total) | As | mg/L | 0,1 |
| Bario | Ba | mg/L | 1,0 |
| Berilio | Be | mg/L | 0,1 |
| Boro (total) | B | mg/L | 1,0 |
| Cadmio | Cd | mg/L | 0,01 |
| Carbamatos totales | Concentración total de carbamatos | mg/L | 0,2 |
| Cianuro (total) | CN ⁻ | mg/L | 0,2 |
| Cobalto | Co | mg/L | 0,5 |
| Cobre | Cu | mg/L | 2,0 |
| Cromo hexavalente | Cr ⁺⁶ | mg/L | 0,1 |
| Flúor | F | mg/L | 1,0 |
| Hierro | Fe | mg/L | 5,0 |
| Litio | Li | mg/L | 2,5 |
| Materia flotante | Visible | | Ausencia |
| Manganeso | Mn | mg/L | 0,2 |
| Molibdeno | Mo | mg/L | 0,01 |
| Mercurio (total) | Hg | mg/L | 0,001 |
| Níquel | Ni | mg/L | 0,2 |
| Organofosforados | Concentración total | mg/L | 0,1 |
| Organoclorados | Concentración total | mg/L | 0,2 |
| Plata | Ag | mg/L | 0,05 |
| Potencial de hidrógeno | pH | | 6-9 |
| Plomo | Pb | mg/L | 0,05 |

| | | | |
|--|-------------------------------|------------------|--------------|
| Selenio | Se | mg/L | 0,02 |
| Sólidos totales disueltos | | mg/L | 3 000,0 |
| Transparencia de las aguas medidas con el disco secchi | | | Mínimo 2,0 m |
| Vanadio | V | mg/L | 0,1 |
| Aceites y grasas | Sustancias solubles en hexano | mg/L | 0,3 |
| Coliformes fecales | NMP/100ml | | 1000 |
| Huevos de parásitos totales | | Huevos por litro | 0 |
| Zinc | Zn | mg/L | 2,0 |

En este trabajo se evaluará como indicadores los valores de coliformes totales y se harán mediciones de DBO₅.

1.4.8.1 Coliformes totales

Los coliformes totales son un conjunto de bacterias de tipo enterobacteriácea lactosa-positivas, que se encuentran en las plantas y los animales e incluso, también se los puede encontrar en otros ambientes como: agua, suelo, plantas, entre otros. Estos microorganismos poseen la capacidad de fermentar la lactosa mediante la producción de ácido y gas, en un periodo de 48 horas a alrededor de 30-37 °C. Dentro de este grupo están los coliformes fecales que tienen origen fecal y se considera como un indicador para la determinar contaminación por heces fecales. (Ramos, Vidal, Vilardy, & Saavedra, 2008)

1.4.8.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Parámetro que mide la cantidad de oxígeno necesaria para degradar bioquímicamente la materia orgánica presente en el agua. La muestra se coloca en una botella ámbar, llamadas Winkler, para este análisis. Método se basa en la

determinación de la diferencia del oxígeno disuelto inicial y final, después de haber estado en incubación por 5 días a 20 °C (Montoya & Rosado, 2015).

CAPÍTULO 2

2 METODOLOGÍA

La metodología de este proyecto integrador se basará en las técnicas propuestas por la publicación de Álvarez (2002). y en el proyecto integrador de Marcatoma (2018), se dividirá en tres secciones que son: diseño preliminar del sistema de filtro verde, análisis de laboratorio, tanto del agua como del suelo y análisis de los resultados (Figura 2.1).

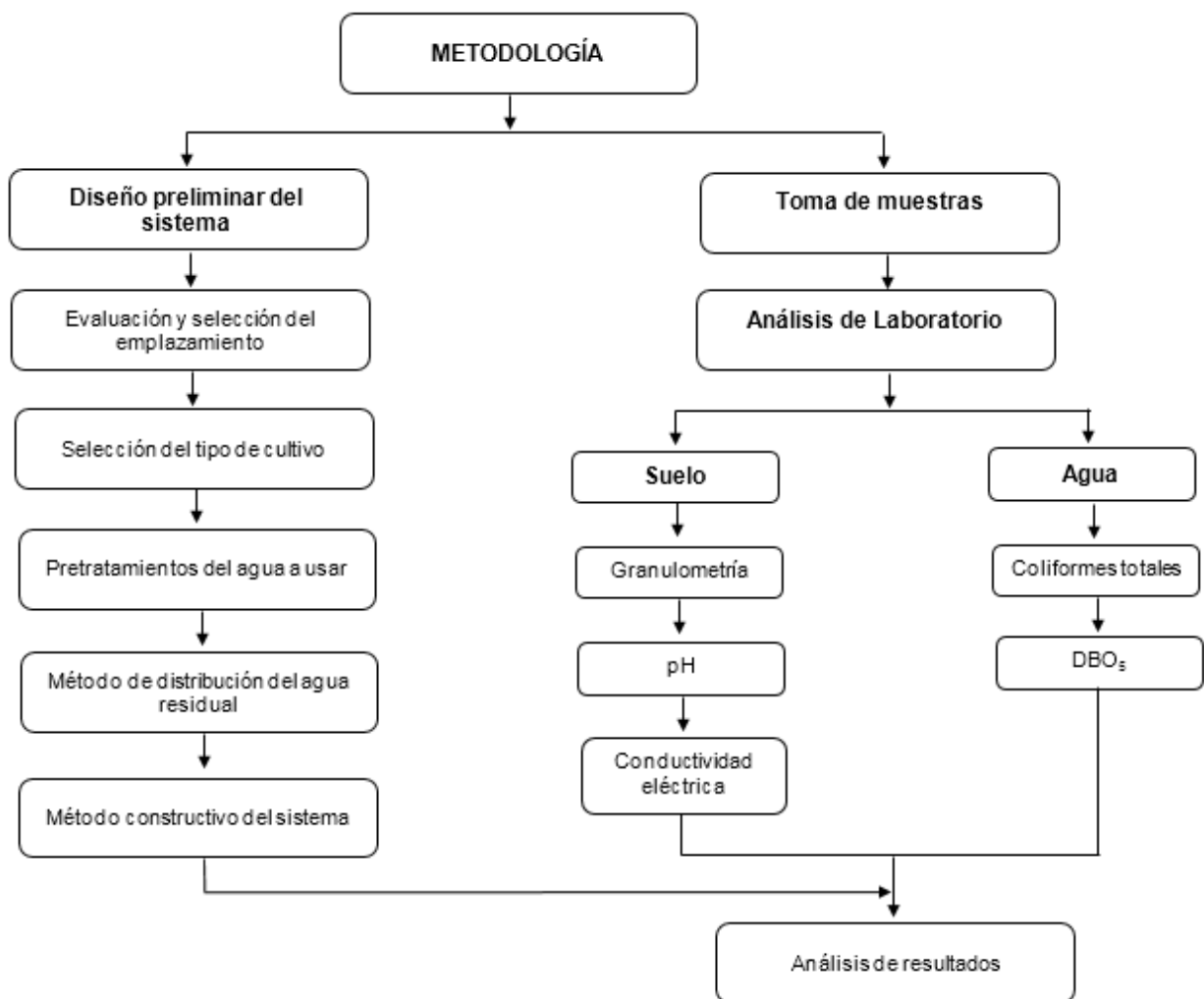


Figura 2.1 Diagrama conceptual de la metodología a seguir. Autores: Parrales & Pozo

2.1 Diseño preliminar del sistema de filtros verdes.

2.1.1 Aspectos relevantes del diseño del sistema de filtros verdes.

Para el desarrollo de diseño de una planta de filtros verdes es importante tener en cuenta dos principales aspectos que nos conllevara a mejores resultados:

1. Diseño preliminar del sistema de filtros verdes.
2. Proyecto constructivo del sistema de filtros verdes.

Donde, según Álvarez (2002), el diseño preliminar del sistema se debe tener en cuenta varios aspectos relevantes:

1. Evaluación y selección del emplazamiento del suelo.
2. Selección del tipo de cultivo a utilizar.
3. Principales pretratamientos necesarias del agua a usar.
4. Método de distribución del agua residual.

2.1.2 Evaluación y selección del emplazamiento del área de estudio.

En esta técnica, este es un punto muy importante analizar, porque se necesita que el suelo a utilizar posea características que nos ayude al crecimiento de nuestro cultivo, en cuento a la selección es importante el análisis de la permeabilidad y profundidad de las aguas subterráneas (Alianza por el agua, 2008). La evaluación del suelo conlleva a considerar condiciones óptimas del suelo como se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Características óptimas que debe poseer el terreno que se utilizara en sistema de filtros verdes. Obtenido de: (Alianza por el agua, 2008)

| CONDICIONES | OPTIMO |
|---|-----------|
| Permeabilidad (mm/h) | 5-50 |
| Pendiente (%) | 0 – 2 |
| Conductividad (mmhos/cm) | < 4 |
| pH | 5,5 – 8,4 |
| Profundidad hasta el nivel freático (m) | > 1,5 |
| Porcentaje de intercambio de sodio, ESP (%) | < 5 |

El sistema de filtros verdes es un mecanismo de baja carga, donde se consume el agua por medio de la evapotranspiración, percola horizontal y verticalmente en el terreno, que integra el tratamiento del agua residual por medio de la vegetación,

contribuyendo a que dicho sistema posea un mayor potencial como un tratamiento natural y ecológico. (Torres, 2018).

Se analizó el emplazamiento del suelo de este proyecto con la finalidad de determinar si el suelo a utilizar se encuentra en las condiciones óptimas y favorable para este tipo de tratamiento no convencional.

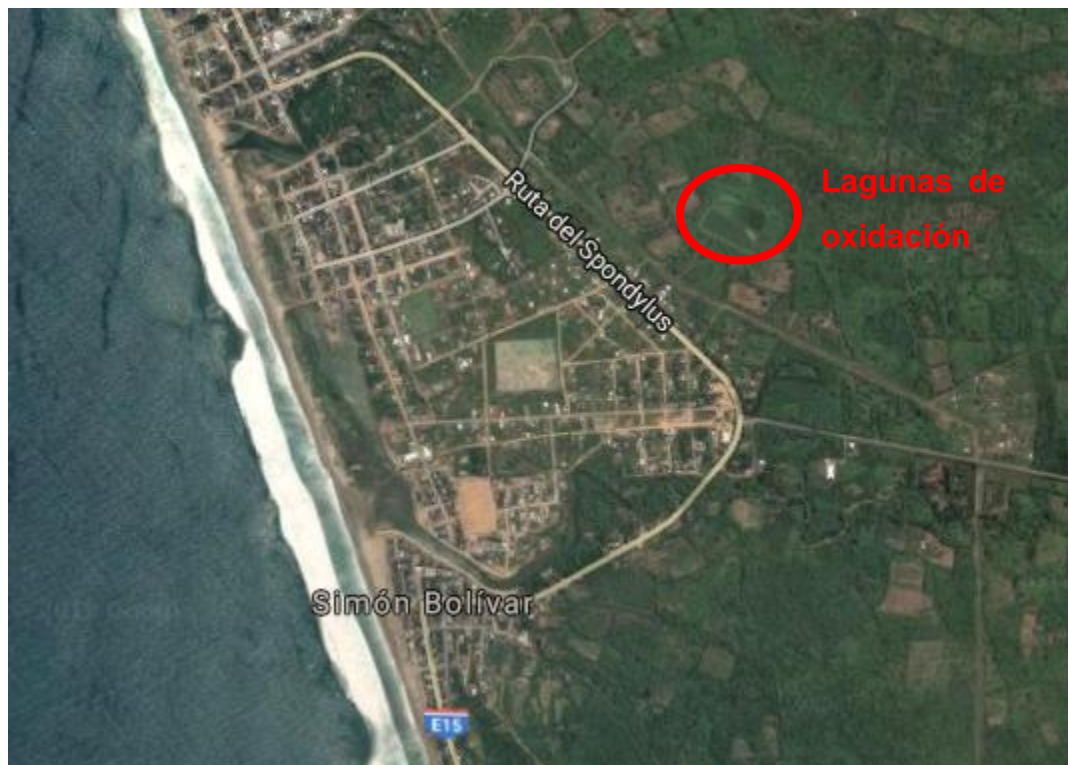


Figura 2.2. Ubicación de las lagunas de oxidación de la Comuna Libertador Bolívar. (Imagen obtenida de Google maps, 2019)

2.1.3 Selección del tipo de cultivo a utilizar

Según Torre (2018), el tipo de cultivo a usar es fundamental en el proyecto, buscando aquella plantación que permita una máxima rentabilidad, la eliminación de nutrientes, la disminución de la erosión del suelo e incremente o mantenga la permeabilidad de esta. Los aspectos importantes que este cultivo debe cumplir son

1. Buena capacidad para la asimilación de nutrientes.
2. El cultivo sea altamente tolerante a condiciones de humedad del suelo.

3. Sensibilidad baja en cuanto a la calidad del agua residual.
4. Consumo de agua elevado.
5. Sensibilidad baja de calidad en cuanto a la toxicidad del agua residual.
6. Poco control en cuanto a su cuidado.

Existen dos grupos de cultivos que son utilizados actualmente en la depuración de las aguas: cultivos tipo I y cultivos tipo II, las cuales poseen diferentes características según Torres (2018).

Cultivos tipo I: presentan una buena capacidad para asimilar nutrientes, su consumo de agua es elevado, son tolerantes a suelos húmedos y son poco sensibles a los constituyentes del agua, entre estos tenemos los diferentes tipos de céspedes, cultivos forrajeros y cultivos arbóreos. (Torres, 2018)

Cultivos tipo II: son aquellos de baja tolerancia a suelo húmedos, como por ejemplos: el trébol, algodón, alfalfa, etc. (Torres, 2018)

2.1.4 Principales pretratamientos necesarios del agua a usar.

Por cuestiones de salud pública, se debe realizar un pretratamiento al agua, donde este puede variar entre un tratamiento primario, hasta otro más avanzado, esto depende del uso que se le vaya a dar a esta agua. Como el agua es para uso del área forestal los pretratamientos se puede reducir al mínimo, debido a que estas especies no serán de consumo humano. (Álvarez, 2002)

Se utilizó el agua de la laguna de oxidación (maduración), para la planta piloto de filtros verdes, donde esta agua ha tenido previamente un pretratamiento a través de filtros, desarenadores, rejillas de desbaste y desengrasante, ayudando con esto a la separación de los sólidos suspendidos de mayor tamaño.

2.1.5 Método de distribución del agua residual.

Se seleccionó el sistema de distribución de agua residual acorde a la vegetación a usar. El sistema de filtro verde permite una distribución del agua residual como un sistema de riego superficial, donde esta se traslada desde el punto de nivel más alto hasta el punto del nivel más bajo, de forma que el agua percole lateral y verticalmente por el lisímetro a las diferentes profundidades de este.

2.2 Diseño constructivo del sistema de filtros verdes (carga hidráulica del diseño).

Se calculó la carga hidráulica del diseño, debido a que responde al volumen de agua residual a usar por una unidad de área del terreno, mediante un tiempo determinado. (CONAGUA, 2016)



Figura 2.3 Planta piloto de un sistema de filtros verdes en la comuna de Libertador Bolívar. Autores: Parrales & Pozo.

2.2.1 Carga hidráulica mediante el uso de los requerimientos de agua de cultivo.

Se determinó la cantidad de agua necesaria por un cultivo, haciendo una estimación de la cantidad de agua consumida por la evapotranspiración, añadiendo la cantidad de agua del lavado del suelo. Usando la siguiente expresión: (Álvarez, 2002)

$$R = (ET - P_r) * (1 + LR) \quad (2,1)$$

Dónde:

R: "Agua neta requerida por la vegetación" (mm/mes)

ET: "Evapotranspiración" (mm/mes)

Pr: "Precipitación respectivamente" (mm/mes)

LR: "Agua requerida para el lavado"; este valor oscila entre 10% y 25% de la fracción del agua total aplicada.

Debido a que la distribución del agua no es uniforme en el área del terreno, se asume una pérdida de la misma, dando así una carga hidráulica a aplicar, mediante la siguiente ecuación: (Álvarez, 2002)

$$Lw(I) = \frac{R}{Ea} \quad (2,2)$$

$$Lw(I) = \frac{(ET - Pr) * (1 + LR)}{Ea} \quad (2,3)$$

Dónde:

Lw(I): "Carga hidráulica basada en los requerimientos de agua de la vegetación" (mm/mes)

Ea: "Eficiencia de aplicación del sistema", donde se considerará una eficiencia de este sistema de riego de 85%.

2.2.2 Carga hidráulica mediante la capacidad de asimilación hidráulica entre el suelo y la planta.

La determinación de este valor se lo obtuvo mediante un balance general del agua:

$$Lw(P) = ET - Pr + P_w \quad (2,4)$$

Dónde:

Lw(P): "Carga hidráulica basada en la capacidad de asimilación hidráulica suelo-planta" (mm/mes)

P_w: "Velocidad de percolación" (mm/mes), este valor está relacionado con el valor mínimo de la permeabilidad del suelo en condiciones de saturación, a 2,5 metros de profundidad, pero por facilidades de cálculos, se toma

valores de diseños preliminares que oscilan entre 2% y 6% con referencia a la sensibilidad mínima del suelo. (Álvarez, 2002)

2.2.3 Carga hidráulica mediante la capacidad de asimilación de constituyentes.

Los constituyentes del agua residual dependiendo de su concentración, si existe o no restricciones ambientales y de su capacidad de asimilación del sistema que lo conforma, puede llegar a ser un factor limitante de la carga hidráulica. Por lo cual se determina la capacidad de asimilación de nitrógeno mediante la ecuación: (Álvarez, 2002)

$$Lw(N) = \frac{C_p(P_r - ET) + U * 100}{(1 - f)C_n - C_p} \quad (2,5)$$

Dónde:

Lw(N): “Carga hidráulica admisible basada en la carga anual de nitrógeno” (mm/año).

C_p: “Concentración total de nitrógeno en el agua percolada” (mg/L).

C_N: “Concentración total de nitrógeno en el agua residual aplicada” (mg/L).

f: “Fracción de nitrógeno total aplicado, eliminado por la des-nitrificación”.

U: “Asimilación de nitrógeno del cultivo” (kg/ha año).

Los valores de U y f, se encuentran tabulados. (Álvarez, 2002)

2.2.4 Carga hidráulica del diseño Lw.

Para la determinación de la carga hidráulica del diseño, se toma el menor valor calculado anteriormente. Si el valor menor corresponde al de los constituyentes del agua, se deberá realizar análisis mensuales para mayor seguridad, de que este sea el valor correcto para tomar. (Álvarez, 2002)

2.3 Superficie necesaria

Para el cálculo de este valor, se tomó en cuenta varios parámetros como:

- Superficie de cultivo
- Zona de amortización
- Accesos y depósitos de almacenamiento

- Carga hidráulica

Para así con estos valores y con la siguiente ecuación calcular la superficie del campo necesario: (Álvarez, 2002)

$$A = \frac{Q * 365 * \Delta v_s}{10 * Lw} \quad (2,6)$$

Dónde:

A: “Superficie del campo” (ha)

Q: “Caudal medio de agua residual” (m³/d)

Lw: “Carga hidráulica de diseño”

Δv_s : “Ganancias o pérdidas netas de agua almacenadas debidos a las precipitaciones, evaporación y fugas en el depósito de almacenamiento” (m³/año)

2.4 Toma de muestras

Las tomas de muestras para el análisis del agua tratada se realizaron a 3 diferentes profundidades del lisímetro a: 30cm, 60cm y 90cm, (Figura 2.4), donde este se recolectó al final de la unión de los dos surcos, donde previamente se regó con el agua residual provenientes de la laguna de oxidación.



Figura 2.4 Lisímetro utilizado en la planta piloto del sistema de filtros verdes en la comuna Libertador Bolívar. Autores: Parrales & Pozo

2.5 Análisis de muestras

2.5.1 Suelo

Se tomó una muestra de suelo del terreno donde se construye el sistema de filtros verde para el análisis de granulometría, pH y conductividad eléctrica que se realizó en el Laboratorio de Mecánica del suelo de la ESPOL.

2.5.2 Agua

Se tomó tres muestras a diferentes profundidades, donde a cada una de ella se le realizó un análisis de DBO₅ y de Coliformes totales presentes en el agua. Este análisis se realizó en las instalaciones del CENAIM de la ESPOL.

2.6 Análisis de laboratorio.

2.6.1 Determinación de la Granulometría por la norma ASTM D-422-63

Se realizó bajo la norma ASTM D-422-63, que es una práctica para la separación de muestras de suelos en seco, con la finalidad de determinar el tamaño de partículas y clasificación del suelo.



Figura 2.5 Tamizado de la muestra en seco, en una torre de tamices por medio de agitación mecánica. Autores: Pinales & Pozo.

2.6.1.1 Materiales, reactivos y equipos

Materiales

- Agitador
- Probeta de sedimentación
- Termómetro
- Tamices
- Vaso de precipitación

Reactivos

- Agua.

Equipos

- Balanza analítica

2.6.1.2 Procedimiento

- Se realizó un secado de la muestra de suelo, en una estufa a 110°C, por 24 horas.
- Después del secado se determinó el tamaño de partícula más grande para determinar la cantidad de muestra a utilizar según la norma ASTM D-422, acorde a la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Cantidad de masa a utilizar acorde al tamaño de partícula más grande de la muestra de suelo a usar. Obtenida de (ASTM D 422 – 63, 2007)

| Diámetro nominal de partículas más grandes (mm) | Porción aproximada de masa mínima a utilizar (g) |
|--|---|
| 3/8 (9,5) | 500 |
| 3/4 (19,0) | 1000 |
| 1 (25,4) | 2000 |
| 1 1/2 (38,1) | 3000 |
| 2 (50,8) | 4000 |
| 3 (76,2) | 5000 |

- Se realizó un lavado de la muestra de suelo, donde se utilizó la malla N° 200 para este proceso.
- Se secó la muestra del lavado, en estufa a 110 ° C, por 24 horas.
- Se pesó la muestra después del secado, en una pesa de precisión.

- Se realizó el proceso de tamizado, con una torre conformado de diferentes números de tamices acorde a la norma ASTM D-422, se utilizaron los tamices N°10, N°20, N°40, N°60, N°140 y N°200.
- Se pesó previamente cada tamiz en una balanza de precisión, luego se armó la torre y finalmente se introdujo la muestra del suelo en la torre de tamices.
- El proceso de tamizado se lo realizo por 10 minutos.
- Se pesó cada tamiz con la muestra de suelo que tenía retenido cada uno de ellos, para obtener la cantidad de muestra de suelo retenido en cada tamiz, y poder clasificar el suelo, de acuerdo con el tamaño de la partícula.
- Se realizó una gráfica granulométrica con los datos obtenidos y calculados. (ASTM D 422 – 63, 2007)

2.6.1.3 Limitaciones e interferencias

Según la Norma ASTM D 422 – 63 (2007), la realización de procedimiento antes expuesto se debe tener en cuenta varios puntos.

- La muestra debe haber pasado por un proceso de sacado y lavado antes de llegar del proceso de tamizado.
- El lavado de la muestra se realizó hasta que el agua del lavado salga limpia.

2.6.2 Determinación de Conductividad eléctrica y pH del suelo

La conductividad eléctrica es un parámetro muy importante porque ayuda a determinar la cantidad de sales presentes en los suelos, pudiendo concluir con este valor la fertilidad de este y los posibles problemas de fitotoxicidad en el cultivo. Mientras que pH ayuda a controlar las reacciones químicas para poder saber si los nutrientes presentes van a estar disponibles o no para la absorción. (Barbaro, Karlanian, & Mata, 2015).



Figura 2.6 Determinación de conductividad eléctrica y pH de la muestra de suelo a través de electrodos. Autores: Parrales & Pozo.

2.6.2.1 Materiales, reactivos y equipos

Materiales

- Agitador
- Termómetro
- Recipiente de vidrio de 250ml
- Electrodo de vidrio y de referencia.

Reactivos

- Agua destilada.

Equipos

- Equipo multiparamétrico.
- Balanza analítica.

2.6.2.2 Procedimiento

- Se pesó 100g de suelo al ambiente en un recipiente de vidrio de 250ml.
- Se agregó 100 ml de agua destilada en el recipiente de vidrio con muestra de suelo.
- Se agitó vigorosamente por 10 minutos y finalmente se filtró la mezcla.

- Al agua filtrada se le introduce los electrodos respectivos para medir la conductividad eléctrica y pH. (USDA, 2004)

2.6.2.3 Limitaciones e interferencias

Según USDA (2004), en la realización de procedimiento antes expuesto se debe tener en cuenta varios puntos:

- En muestras con alto contenido de materia orgánica puede haber un efecto de suspensión.
- En suelos con bajo contenido de sales solubles, es difícil alcanzar un pH en equilibrio.

2.6.3 Determinación de Coliformes totales en agua por el método de siembra de membranas Petrifilm.

En el análisis de Coliformes totales se utilizó el método de siembra en membranas Petrifilm (Figura 2.7), debido a que este es un método que nos proporciona resultados rápidos. Se utilizó membranas Petrifilm que contienen nutrientes de violetas de rojo modificado, indicador de tetrazolio y un agente gelificante que es soluble en agua fría. El film ubicado en la parte superior es el que se encarga de atrapar el gas de fermentación de la lactosa que producen los Coliformes. (Lucas, 2009).



Figura 2.7 Placas Petrifilm para la determinación de Coliformes totales. (3M Microbiology, 2009)

Según la Organización Internacional de Normalización el método ISO 4831, enumera a los coliformes de acuerdo con la técnica número más probable (NMP), este método define a los Coliformes por “su capacidad de crecer y producir gas a partir de la lactosa en un caldo selectivo”. En las placas Petrifilm solo se cuenta las colonias que se encuentran asociadas con gas (Figura 2.7), según la aprobación AFNOR para coliformes totales con certificado 3M 01/2-09/89A y 3M 01/2-09/89B, en comparación con el método ISO 4831. (3M Microbiology, 2009)

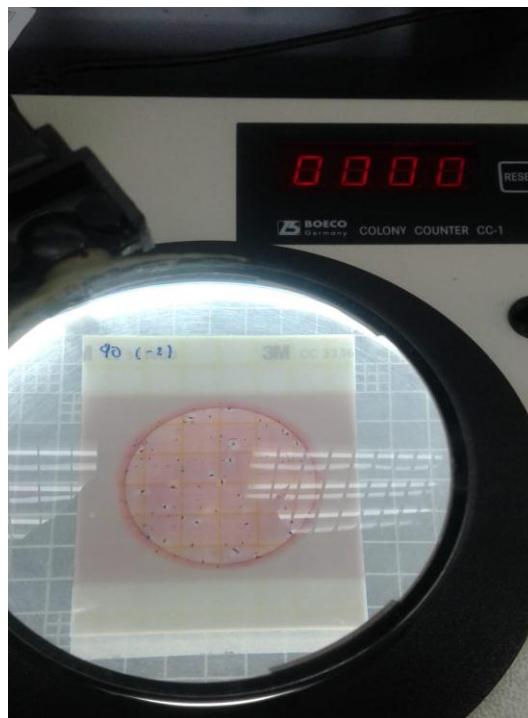


Figura 2.8 Conteo de colonias asociadas con gas en el colony counter. Autores: PARRALES & POZO

2.6.3.1 Materiales, reactivos y equipos

Materiales

- Tubos de ensayos
- Picetas
- Mechero de bunsen
- Gradilla
- Puntas de 5ml

Reactivos

- Placas Petrifilm para recuento de coliformes totales

- Agua destilada estéril
- Etanol

Equipos

- Incubadora
- Sorbona.
- Autoclave
- Micro-pipetas
- Colony counter, BOECO, CC-1

2.6.3.2 Procedimiento

- Se agregó 9ml de agua destilada estéril en 3 tubos de ensayo, para cada muestra de agua a analizar.
- Se preparó 3 disoluciones de una muestra de agua que fueron las siguientes:
 1. Se tomó 1ml de muestra de agua y se agregó a un tubo de ensayo con 9ml de agua destilada estéril, así se preparó la disolución 1/10 (10^{-1}).
 2. Se tomó 1ml de la disolución 1/10 (10^{-1}) y se agregó a un tubo de ensayo con 9ml de agua destilada estéril, así se preparó la disolución 1/10 (10^{-2}).
 3. Se tomó 1ml de la disolución 1/10 (10^{-2}) y se agregó a un tubo de ensayo con 9ml de agua destilada estéril, así se preparó la disolución 1/10 (10^{-3}).
- Con una micropipeta se agregó 1ml de disolución en la placa Petrifilm, esto se hizo con cada disolución.
- Se llevó las placas Petrifilm a la incubadora, y se los dejó en incubación por 24 horas a una temperatura de 37°C.
- Se llevó cada placa a un colony counter, para realizar el conteo de Coliformes en presencia de gas, para obtener el NMP de Coliformes totales presente en la muestra de agua tratada. (3M Microbiology, 2009)

2.6.3.3 Limitaciones e interferencias

Según Ceibas (2017), en la realización de procedimiento antes expuesto se debe tener en cuenta varios puntos.

- La muestra de agua a analizar no puede ser procesada pasado las 24 horas de recolección.
- El material para utilizar en este procedimiento debe estar previamente esterilizado.
- Las muestras y las disoluciones deben ser previamente agitada antes de realizar el cultivo en las placas.

2.6.4 Determinación de DBO_5 en agua por el método de Winkler

Este análisis se lo realizo por medio del “Método de Winkler, Standard Methods for the examination waste and wastewater 14th Ed. Method 507”. Este valor representa el oxígeno en mg/L requeridos por los microorganismos presentes en el agua para estabilizar la acción bioquímica aeróbica, se realizó por incubación de la muestra por cinco días en la oscuridad. (Aguinaga, 1996)

En este análisis se utilizó unas almohadillas de solución buffer de nutrientes (BOD), proveniente de la compañía HACH, las cuales cumplen con los requisitos del método estándar 5210 D. Cada una de estas almohadillas contiene la cantidad exacta de nutrientes y buffer para 300 ml de agua tipo 1. (Aguinaga, 1996)



Figura 2.9 Lectura del oxígeno disuelto en botella winkler con muestra de agua tratada de la planta piloto de filtros verdes en la comuna Libertador Bolívar. Autores: Parrales & Pozo.

2.6.4.1 Materiales, reactivos y equipos

Materiales

- Botellas winkler
- Garrafa
- Probeta
- Piseta
- Agitador

Reactivos

- Almohadillas de solución buffer de nutrientes
- Agua tipo 1
- Agua destilada

Equipos

- Incubadora ST 4 BASIC_X, POL-EKO
- Medidor de oxígeno disuelto PCE-PHD 1

2.6.4.2 Procedimiento

- En una probeta se tomó 75ml de muestra de agua a analizar, y se colocó dentro de una botella winkler.
- Se adicionó una almohadilla de solución buffer de nutriente en la botella winkler que tenía previamente la muestra de agua.
- Se agitó energéticamente para que se homogenizara la muestra.
- Se agregó poco a poco el agua tipo 1 en la botella winkler, mientras se agitaba, hasta el tope de la botella, se tomó la cantidad de oxígeno disuelto inicial.
- Se cerró la botella winkler y se puso en incubación a 20°C por 5 días, en ausencia de luz.
- Pasado este tiempo se tomó la cantidad de oxígeno disuelto final.
- Mediante la siguiente ecuación se determinó la cantidad de DBO_5 presente en cada muestra de agua tratada. (Aguinaga, 1996)

$$DBO_5 = (OD_{inicial} - OD_{final}) * (V_{winkler} / V_{disolución})$$

Dónde:

$OD_{inicial}$ = Contenido de oxígeno disuelto inicial (mg/l) de la muestra de agua.

OD_{final} = Contenido de oxígeno disuelto final (mg/l) de la muestra de agua.

$V_{winkler}$ = volumen total de la botella de winkler (300ml).

$V_{disolución}$ = volumen de disolución de la muestra de agua (ml).

2.6.4.3 Limitaciones e interferencias

Según Aguinaga (1996), en la realización de procedimiento antes expuesto se debe tener en cuenta varios puntos.

- La muestra de agua debe estar en refrigeración, y ser analizada antes de las 24 horas de su recolección.
- Existen muchos factores que pueden afectar el análisis de DBO_5 , como por ejemplo la materia orgánica soluble a la materia orgánica suspendida, cloro, aguas no bien mezcladas, peróxidos, etc.

CAPÍTULO 3

3 RESULTADOS Y ANÁLISIS.

3.1 Análisis de suelo

3.1.1 Selección del emplazamiento

El lugar donde se ubicó la planta piloto del sistema de filtros verdes fue un área retirada, aproximadamente a 100 metros de las lagunas de oxidación, con la finalidad de trabajar con un suelo que estuviera libre de contaminación, ya que alrededor de estas lagunas, se evidenciaba residuos a causa del desbordamiento de dichas las lagunas. El lugar de emplazamiento se lo presenta en la Figura 3.1.



Figura 3.1 Ubicación de la planta piloto del sistema de filtros verdes de la comuna Libertador Bolívar. (Imagen obtenida de Google maps, 2019).

3.1.2 Características del suelo

Mediante un análisis de suelo realizado en el laboratorio de aguas de la ESPOL, se logró determinar la conductividad eléctrica y el pH. Donde se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3.1 Resultados del análisis del suelo del área utilizada. Autores: Parrales & Pozo

| Análisis del suelo | Valores obtenidos | Valores óptimos |
|---|--------------------------|------------------------|
| Conductividad eléctrica (mmhos/cm) | 2,017 | <4 |
| pH | 6,45 | 5,5 – 8,4 |

Los resultados evidencian, que tanto la conductividad eléctrica y el pH del suelo de la planta piloto a través de un sistema de filtros verdes, cumple con las condiciones optimas descritas en el “Manual de depuracion del agua residuales urbanas” (Alianza por el agua, 2008).

3.1.3 Granulometria del suelo

Mediante un análisis granulométrico, realizado según norma ASTM D-422-63. Se clasificó el suelo, donde se determinó la particula de mayor tamaño muestral de suelo seco esta en el orden de 18,5mm, obteniendo así la cantidad de suelo con la que se trabajó de 1kg.

Se realizó un lavado de la muestra de suelo en el tamiz N°200, obteniendo como resultado los valores expuesto en la tabla 3.2. En la misma se muestra que la cantidad de partículas finas que paso el tamiz N°200 después del lavado fue de 904,9 g, lo que indicaría que se esta trabajando con un suelo clasificado como arcilla-limosa., debido a que el tamaño de partícula de este suelo es menor a 0,075mm.

Tabla 3.2 Datos obtenidos en el lavado y secado de la muestra de suelo. Autores: Parrales & Pozo

| Muestra de suelo (g) | Muestra de suelo (g) retenida después del lavado en malla N°200 | Muestra de suelo (g) que pasó la malla N°200 en el lavado |
|-----------------------------|--|--|
| 1000 | 95,1 | 904,9 |

Finalmente se realizó un análisis granulométrico a través de una torre de tamices, impulsada por una fuerza mecánica, alcanzando los resultados expuestos en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Datos obtenido del análisis granulométrico de nuestra en seco y cálculos respectivos para poder graficar la curva granulométrica. Autores: Pinales & Pozo

| Número de malla | Diámetro (mm) | Muestra de retenido (g) | % Retenido | % Retenido acumulado | % Pasa |
|-----------------|---------------|-------------------------|------------|----------------------|--------|
| Nº 10 | 2 | 11,3 | 12% | 12% | 88% |
| Nº20 | 0,85 | 3 | 3% | 15% | 85% |
| Nº40 | 0,45 | 3,1 | 3% | 18% | 82% |
| Nº60 | 0,25 | 5,8 | 6% | 24% | 76% |
| Nº140 | 0,106 | 30,1 | 32% | 56% | 44% |
| Nº200 | 0,075 | 37,8 | 40% | 96% | 4% |
| fondo | | 4 | 4% | 100% | |
| total | | 95,1 | 100% | | |

Con la ayuda de los datos obtenidos en el análisis granulométrico y con los cálculos realizados, se construyó la curva granulométrica del suelo (figura 3.2) utilizado para el cultivo.

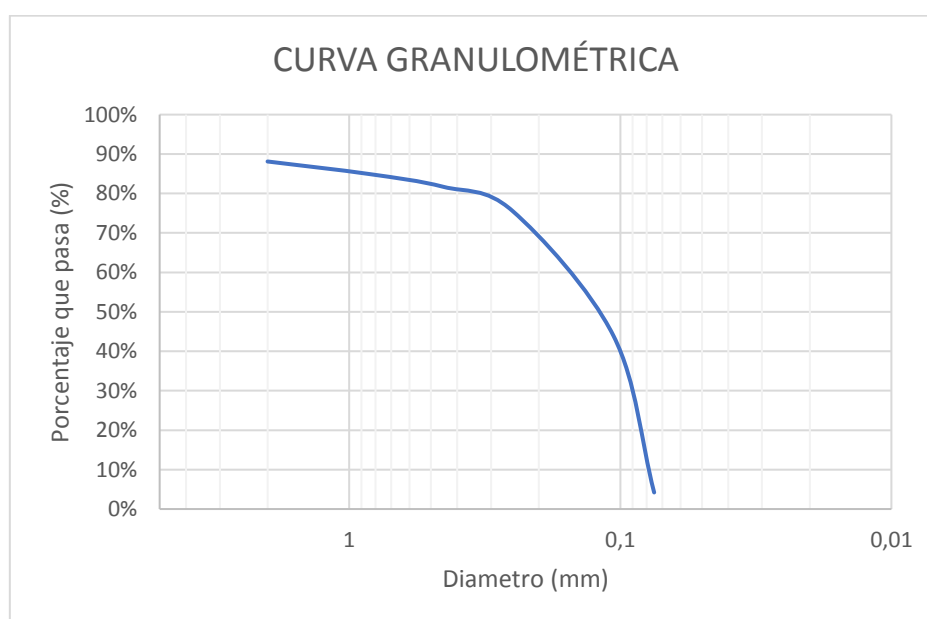


Figura 3.2 Curva granulométrica del suelo utilizado para el cultivo de la caña guadua. Autores: Pinales & Pozo.

3.2 Selección de tipo de cultivo

Se utilizo el cultivo tipo I, debido a las diferentes características que presenta, que son favorables para el presente proyecto, específicamente se utilizará la caña

guadua, por ser propia de la zona. La caña guadua es una de las vegetaciones que más beneficios proporciona al medio ambiente, debido a que ayuda en la protección de los suelos por sus raíces grandes, evitando así la erosión del suelo. Por otro lado, posee una alta capacidad de almacenar agua, llegando a almacenar hasta 25 litros de agua en la época de invierno. (Larrea, 2009). La caña guadua se gestionó con la Prefectura de Santa Elena, de tal forma que entregó en donación aproximadamente 70 plántulas de caña guadua.

3.3 Determinación de la carga hidráulica de diseño L_w .

La carga hidráulica del diseño se determinó, realizando un estudio previo de parámetros importante, como la precipitación anual y la evapotranspiración de la provincia de Santa Elena. Donde de acuerdo con la tabla 3.4 se presenta una precipitación anual de 265.1mm/año.

Tabla 3.4 Precipitaciones registradas mensualmente en la provincia de Santa Elena, de acuerdo con el INAMHI (2013).

| MES | MÁXIMA PRECIPITACIÓN (mm/mes) |
|------------|-------------------------------|
| Enero | 38.0 |
| Febrero | 72.7 |
| Marzo | 141.7 |
| Abril | 4.8 |
| Mayo | 1.8 |
| Junio | 0 |
| Julio | 2.4 |
| Agosto | 0.2 |
| Septiembre | 0.8 |
| Octubre | 2.2 |
| Noviembre | 0.5 |
| Diciembre | 0 |
| Anual | 265.1 |

En la figura 3.3, se muestra la evapotranspiración potencial del Ecuador. Aquí se determinó que la evapotranspiración en la zona de estudio está en un rango de 1100 – 1200 mm/año. Para la realización de los cálculos se tomó el valor promedio del rango de 1150mm/año.

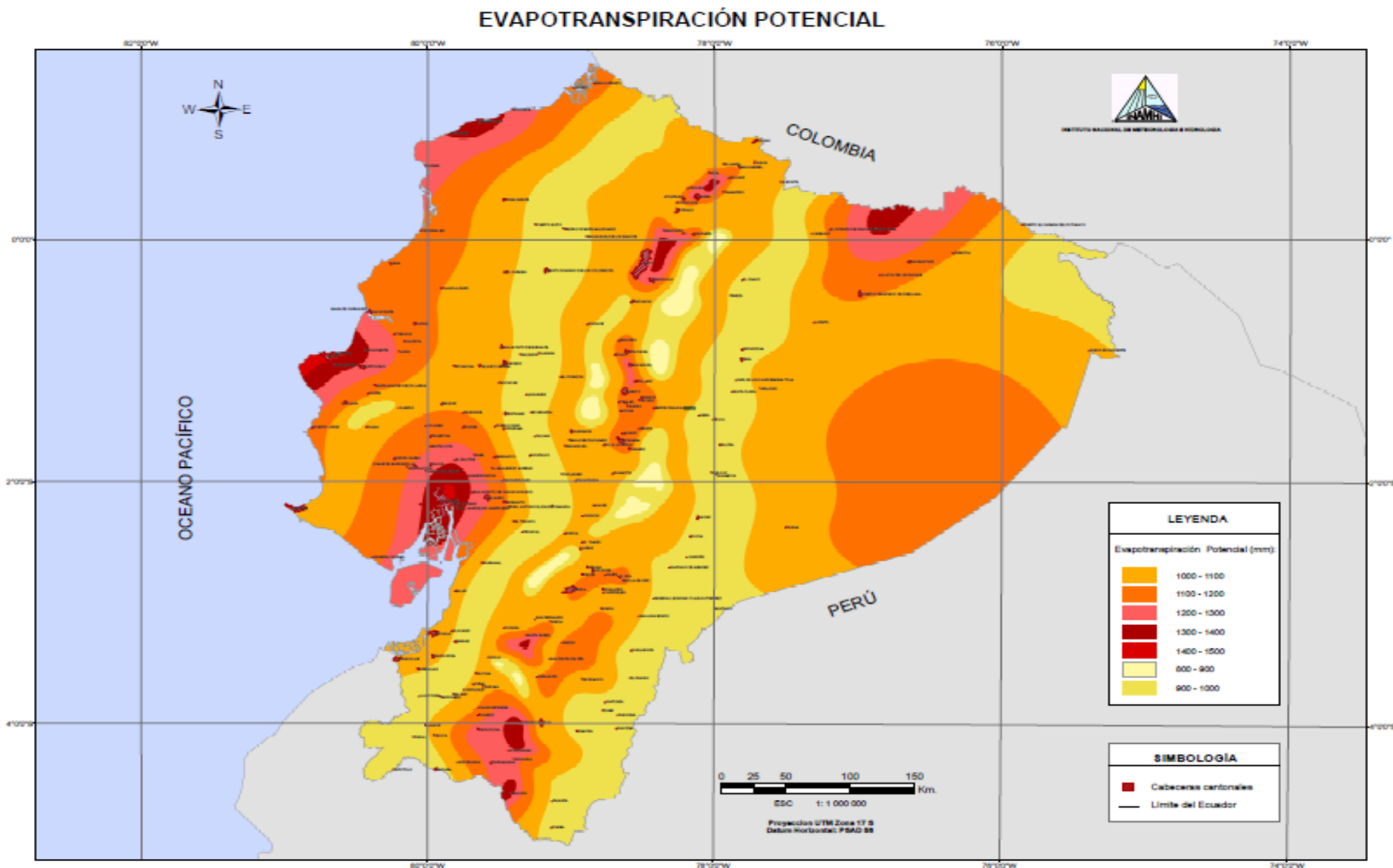


Figura 3.3 Evapotranspiración potencial del Ecuador. Obtenido de INAMHI (2017)

3.3.1 Cálculo de la carga hidráulica para el requerimiento de agua de cultivo. (Lw(I))

Con los datos obtenidos de la tabla 3.4 y el figura 3.3, se procedió a calcular el agua neta requerida por la vegetación (R) con la ecuación (2,1), teniendo en cuenta que el valor del agua requerida para el lavado (LR) es de 0,25 como se lo especificó en el capítulo anterior.

$$R = (ET - P_r) * (1 + LR)$$

$$R = \left(1150 \frac{mm}{año} - 265,1 \frac{mm}{año}\right) * (1 + 0,25)$$

$$R = 663,68 \frac{mm}{año}$$

La cantidad de agua neta requerida por la vegetación es 663,68 mm/año. Con la ayuda de este valor, se determinó la carga hidráulica para el requerimiento del agua de cultivo (Lw(I)) mediante la ecuación (2,3), teniendo en cuenta que la eficiencia del sistema es de 0,85 como se especificó en el capítulo anterior, obteniendo un valor de 780,8 mm/año.

$$Lw(I) = \frac{R}{Ea}$$

$$Lw(I) = \frac{663,68 \frac{mm}{año}}{0,85}$$

$$Lw(I) = 780,8 \frac{mm}{año}$$

3.3.2 Cálculo de la carga hidráulica mediante la capacidad de asimilación hidráulica entre el suelo y la planta. (Lw(P))

Se realizó un estudio previo para determinar la permeabilidad del suelo, que de acuerdo con la clasificación previamente hecho en la granulometría, se determinó que el suelo era limo-arcilloso, lo que bajo a esta característica la permeabilidad correspondería al valor de 4320mm/año. (FAO, 2006). Finalmente se calculó la carga hidráulica mediante la capacidad de la asimilación hidráulica entre el suelo y la planta (Lw(P)) con la ayuda de la ecuación (2,4), obteniendo un valor de 5204,9 mm/año.

$$Lw(P) = ET - P_r + P_w$$

$$Lw(P) = 1150 \frac{mm}{año} - 265,1 \frac{mm}{año} + 4320 \frac{mm}{año}$$

$$Lw(P) = 5204,9 \frac{mm}{año}$$

3.3.3 Cálculo de la carga hidráulica mediante la capacidad de asimilación de constituyentes. Lw(N)

De acuerdo con el manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, se debe usar como valor de la concentración admisible de agua percolada 8mg/L y el valor de asimilación de nitrógeno 375Kg/ha año, con la finalidad de obtener una concentración total de nitrógeno de 20mg/L. (CONAGUA, 2016). Calculando así dicha carga hidráulica (Lw(N)) con la ecuación (2,5), obteniendo un valor de 4345,83 mm/año.

$$Lw(N) = \frac{C_p(P_r - ET) + U * 100}{(1 - f)C_N - C_p}$$

$$Lw(N) = \frac{8 \frac{mg}{L} \left(265,10 \frac{mm}{año} - 1150 \frac{mm}{año} \right) + (375 \frac{kg}{ha año} * 100 \frac{ha mg m^3 mm}{kg m^2 L m}}{(1 - 0,25) 20 \frac{mg}{L} - 80 \frac{mg}{L}}$$

$$Lw(N) = 4345,83 \frac{mm}{año}$$

Se determinó la carga hidráulica de diseño, tomando el valor mínimo de las tres cargas hidráulicas calculadas, teniendo así el valor de 780,8 mm/año, como se lo puede evidenciar en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Resumen de las cargas hidráulicas calculadas. Autores: Parrales & Pozo

| | |
|--|---------------------|
| Carga hidráulica mediante el uso de requerimiento de agua de cultivo | 780,8 mm/año |
| Carga hidráulica mediante la capacidad de asimilación hidráulica entre el suelo y la planta | 5204,9 mm/año |
| Carga hidráulica mediante la capacidad de asimilación de constituyentes. | 4345,83 mm/año |

3.4 Cálculo de caudal y superficie

3.4.1 Cálculo de caudal necesario para el área establecida de la planta piloto.

Para la implementación de la planta piloto a través del sistema de filtros verdes, se utilizó un área de aproximadamente 50 m² o 0,050 ha. Con la ecuación (2,7) se calculó el caudal medio diario que se utilizó en el riego de las plantas. Según el “Manual de depuración de aguas residuales urbanas” de Alianza por el agua (2008) las ganancias o pérdidas netas de agua almacenadas, Δv_s , igual a 1, resultando un caudal de riego de 1,1 m³/día, para cubrir el área de cultivo utilizado.

$$A = \frac{Q * 365 * \Delta v_s}{10 * Lw}$$

$$Q = \frac{A * 10 * Lw}{365}$$

$$Q = \frac{0,050ha * \frac{10 \frac{m^3}{ha}}{1 \frac{mm}{año}} * 780,0 \frac{mm}{año}}{365 \text{ dias}}$$

$$Q = 1,1 \frac{m^3}{dia}$$

3.4.2 Cálculo de la superficie necesaria para el tratamiento de todo el flujo de agua que ingresan a las lagunas de oxidación.

Conociendo que la laguna de maduración tiene aproximadamente un caudal de 450 m³/día, se calculó la superficie necesaria para tratar toda el agua.

$$A = \frac{450 \frac{m^3}{dia} * 365 \text{ dias}}{\frac{10 \frac{m^3}{ha}}{1 \frac{mm}{año}} * 780,0 \frac{mm}{año}}$$

$$A = 21,06 \text{ ha}$$

3.5 Análisis del agua

Para los respectivos análisis del agua, se tomó muestras tanto de la laguna de oxidación (maduración) y muestra del agua tratada por el sistema de filtros verde en el respectivo lisímetro a 3 diferentes profundidades: 30cm, 60cm y 90cm.

Se realizó dos análisis de parámetros de calidad de agua importantes que fueron el recuento de Coliformes totales y el análisis de DB0₅. Estos dos parámetros fueron analizados en las instalaciones del CENAIM-ESPOL, en la Comuna San Pedro de la Parroquia Manglaralto.

3.5.1 Análisis de recuento de Coliformes totales.

Este análisis se lo realizó el mismo día que se tomó la muestra, con la finalidad de evitar que haya alguna proliferación de microorganismos.

Por las altas concentraciones de Coliformes totales, se realizó dos diluciones en cada una de las muestras analizadas incluyendo la muestra de la laguna de oxidación, de forma que el intervalo óptimo del recuento de los Coliformes totales se encuentre dentro de un rango de 50-150 colonias.

En la siguiente tabla 3.6 se puede evidenciar las diluciones hechas y las placas Petrifilm con las colonias en una muestra de agua, donde se puede apreciar que a la dilución 10^{-1} , se lo puede caracterizar como colonias incontables por el gran número de colonias presentes en la muestra, mientras que la dilución 10^{-2} si se puede hacer el recuento de las colonias por lo que las colonias formadoras son pocas.

Tabla 3.6 Diluciones realizadas e imágenes en placas Petrifilm con colonias de coliformes. Autores: Parrales & Pozo

| Cantidad de muestra | Cantidad de agua destilada estéril | Dilución | Placas Petrifilm con colonias de coliformes |
|---------------------|------------------------------------|-----------|--|
| 1 mL | 9mL | 10^{-1} |  |

| | | | |
|-----------------------|-----|------------------|--|
| 1 mL 10 ⁻¹ | 9mL | 10 ⁻² |  |
|-----------------------|-----|------------------|--|

Se realizó un análisis de recuento de Coliformes totales a una muestra de agua de la laguna de oxidación que se utilizó para el riego del cultivo el cual dio un valor de 6780 NMP/100ml del agua residual valor muy por encima de la normativa para los criterios de calidad admisibles para el agua de uso agrícola.

Las nomenclaturas que se utilizó para los análisis de nuestras muestras fueron las siguientes:

- Muestra 30: agua tratada tomada en el lisímetro a una profundidad de 30cm.
- Muestra 60: agua tratada tomada en el lisímetro a una profundidad de 60cm.
- Muestra 90: agua tratada tomada en el lisímetro a una profundidad de 90cm.

A continuación, se presenta en la tabla 3.7 los datos obtenidos de los análisis del recuento de Coliformes totales, en la disolución 10⁻², durante 3 semanas de análisis.

Tabla 3.7 Resultados del recuento de Coliformes totales durante 3 semanas. Autores: Pinales & Pozo

| Muestras | Coliformes totales (NMP/100ml) | | | Disolución |
|----------|--------------------------------|----------|----------|------------------|
| | Semana 1 | Semana 2 | Semana 3 | |
| 30 | 3100 | 5700 | 5000 | 10 ⁻² |
| 60 | 2200 | 3300 | 3100 | 10 ⁻² |
| 90 | 1000 | 700 | 900 | 10 ⁻² |

La figura 3.4 se lo realizó acorde a la tabla 3.7, donde se puede evidenciar que a profundidades de 90cm, se reduce la cantidad de colonias asociadas a gas a un valor menor o igual a 1000 NMP/100ml de agua residual, lo que indicaría que a mayores profundidades el tratamiento de agua es más efectivo. Debido a que tiene un mayor recorrido y, por lo tanto, una mayor filtración

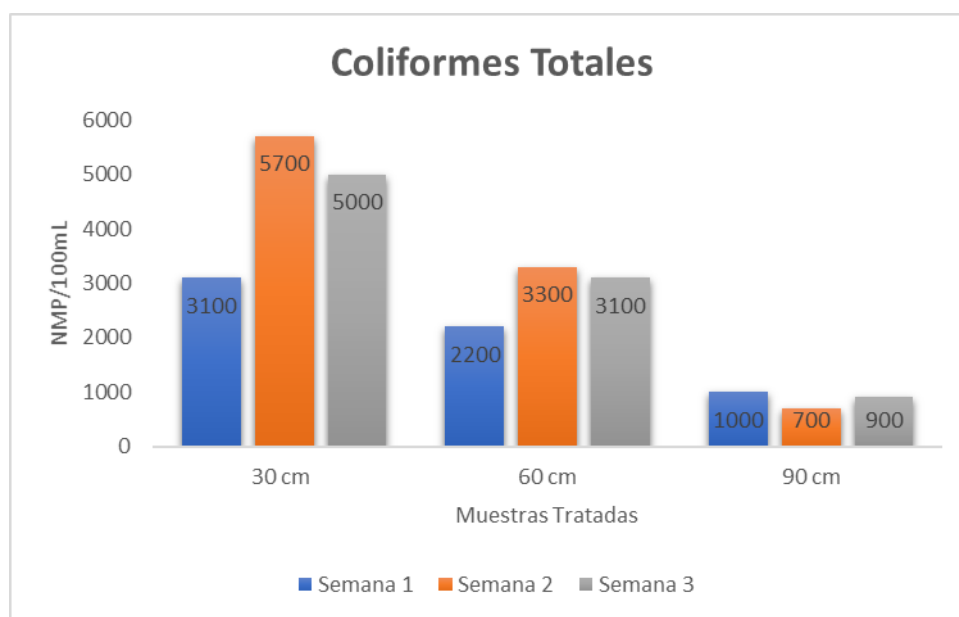


Figura 3.4 Diagrama de Coliformes totales con relación a las muestras analizadas a diferentes profundidades de filtración. Autores: Parrales & Pozo

Se realizó los calculos respectivos para poder determinar el porcentaje de remoción obtenida en cada una de las muestras con relación a la muestra de agua residual. Estos valores se los puede apreciar en la tabla 3.8.

Tabla 3.8 Porcentaje de remoción de Coliformes totales de cada muestra en las diferentes semanas analizadas a diferentes profundidades de filtración. Autores: Parrales & Pozo

| Profundidad de muestras (cm) | Coliformes totales (NMP/100ml) | | |
|------------------------------|--------------------------------|----------|----------|
| | Semana 1 | Semana 2 | Semana 3 |
| 30 | 54,3% | 15,9% | 26,3% |
| 60 | 67,6% | 51,3% | 54,3% |
| 90 | 85,3% | 89,7% | 86,7% |

En la figura 3.5, se muestran graficamente datos calculados de la tabla 3.8, donde se puede evidenciar que a una profundidad de 90cm el sistema de filtros verdes proporciona una mayor remoción de coliformes totales, así mismo, se determinó que el promedio de remoción es de 87,2%.

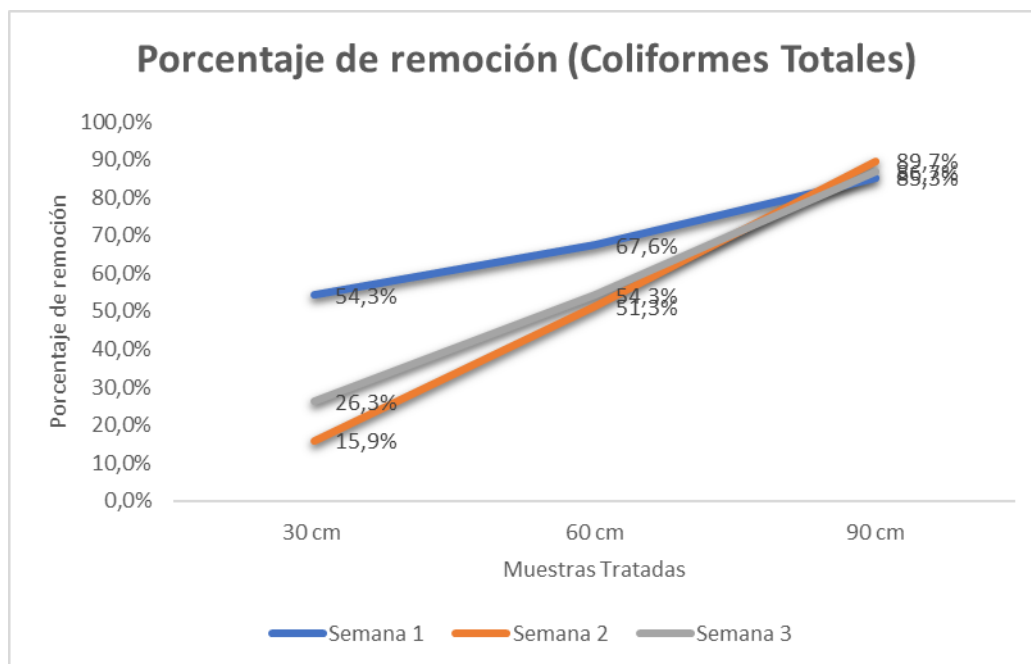


Figura 3.5 Diagrama del porcentaje de remoción de Coliformes totales de cada muestra analizada a diferentes profundidades de filtración. Autores: Parrales & Pozo

3.5.2 Análisis de DBO₅

Se analizó una muestra del agua residual de la laguna de maduración, para lograr determinar su concentración de DBO₅ resultando un valor de 43,37 mg/L. De la misma manera se analizó durante 3 semanas las muestras obtenidas del lisímetro a 3 diferentes profundidades, obteniendo los siguientes resultados (tabla 3.9).

Tabla 3.9 Resultados de la concentración DBO₅ durante 3 semanas a diferentes profundidades. Autores: Parrales & Pozo

| Profundidad de muestras (cm) | DBO ₅ (mg/L) | | |
|------------------------------|-------------------------|----------|----------|
| | Semana 1 | Semana 2 | Semana 3 |
| 30 | 5,31 | 10,26 | 15,66 |
| 60 | 4,92 | 7,20 | 11,13 |
| 90 | 2,31 | 6,24 | 8,22 |

En la figura 3.6 se muestran gráficamente datos calculados en la tabla 3.9, donde se puede evidenciar que a una profundidad de 90cm el funcionamiento de los filtros verdes reduce la concentración de DBO₅ a un valor menor o igual a 8,22mg/L, lo que indicaría que a mayores profundidades el tratamiento de agua es más efectivo.

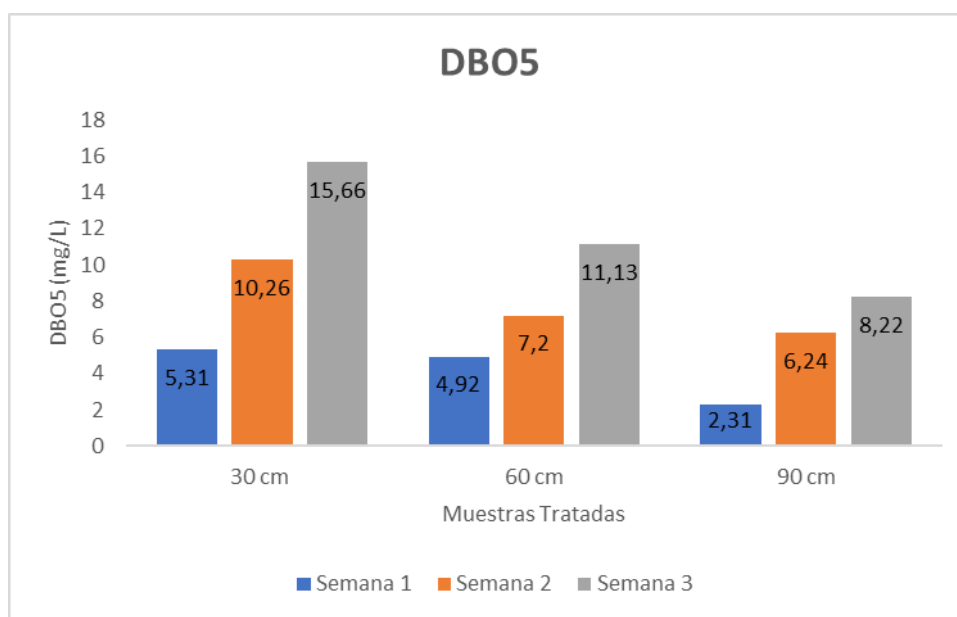


Figura 3.6 Diagrama de DBO₅ con relación a las muestras analizadas a diferentes profundidades. Autores: Parrales & Pozo

Se realizó los cálculos respectivos para poder determinar el porcentaje de remoción obtenida en cada una de las muestras con relación a la muestra de agua residual. Estos valores se los puede apreciar en la tabla 3.10.

Tabla 3.10 Porcentaje de remoción de DBO₅ de cada muestra en las diferentes semanas analizadas a diferentes profundidades. Autores: Parrales & Pozo

| Profundidad de muestras (cm) | DBO ₅ (mg/L) | | |
|------------------------------|-------------------------|----------|----------|
| | Semana 1 | Semana 2 | Semana 3 |
| 30 | 88% | 76% | 64% |
| 60 | 89% | 83% | 74% |
| 90 | 95% | 86% | 81% |

La figura 3.7, se muestran graficamente datos calculado en la tabla 3.10, donde se puede evidenciar que a una profundidad de 90cm el sistema de filtros verdes remueve una mayor proporción en la concentración del DBO₅, así mismo, se determinó que el promedio de remoción es de 87,11%.

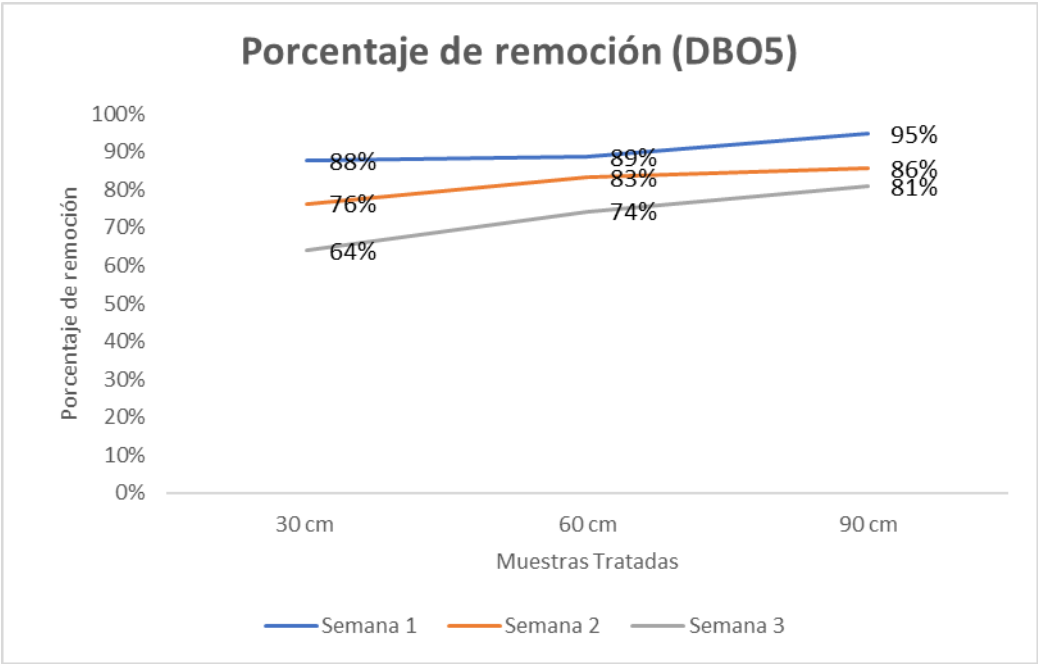


Figura 3.7 Diagrama del porcentaje de remoción del DBO₅ de cada muestra analizada.
Autores: PARRALES & POZO

CAPÍTULO 4

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones.

- La aplicación del sistema piloto de filtros verdes para el tratamiento de las aguas residuales, es un método factible, que se puede llevar a cabo para la descontaminación de las aguas tratadas, debido a que se redujo gran parte de la contaminación del bioindicador coliformes totales, y de la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno.
- El suelo con el que se trabajó fue caracterizado como arcilloso-limoso, y gracias a sus características permitió una filtración lenta y efectiva, proporcionando una alta remoción de contaminantes, y en relación al cultivo usado (caña guadua), el tipo de suelo es ideal, por su textura, buen drenaje y humedad, y aunque por sus características ofrece un mayor tiempo de residencia, así mismo, la cantidad de agua a tratar disminuye por su baja permeabilidad.
- Mediante cálculos se determinó la carga hidráulica del diseño, resultando un valor de 780,0 mm/año, que es aceptable al requerimiento de agua de la caña guadua que es de 1200mm/año. De igual manera, se determinó el caudal del diseño utilizado en el sistema piloto construido, llegando a un caudal de 1,1 m³/día.
- Se obtuvo una reducción de Coliformes totales de la muestra de agua tomada en el lisímetro a 90cm, con un valor promedio de 866,66 NMP/100ml, con respecto a la cantidad de Coliformes totales presente en el agua residual de la piscina de maduración que fue de 6780 NMP/100ml, por lo tanto, se cumple con el primer objetivo de reducir la cantidad de coliformes totales a valores menores de 1000NMP/100ml.
- Se obtuvo una reducción de la concentración del DBO₅ de la muestra de agua tomada en el lisímetro a 90cm con un valor promedio de remoción de 87,11% con respecto a la concentración del DBO₅ presente en el agua residual de la piscina de maduración que fue de 43,37mg/L, por lo tanto, la reducción obtenida se

aproxima al valor de 90% de la concentración de DBO₅, que se planteó como objetivo.

- Al reducir la concentración de contaminación microbiológica, mediante la aplicación del sistema de filtros verdes por debajo de los límites máximos permisibles, se puede reutilizar muy bien estas aguas para el riego de cultivos forestales (caña guadua), contribuyendo a la reforestación de la zona de estudio y proporcionando un beneficio económico futuro para esta comunidad, que ayude al desarrollo sostenible de la misma.

4.2 Recomendaciones.

- Se recomienda la aplicación del sistema de filtros verdes a gran escala para la depuración de gran parte del agua que ingresa actualmente a las lagunas de oxidación.
- Tomar en cuenta siempre hacer un estudio granulométrico y de filtración del suelo donde se construya el sistema de filtros verdes, ya que el sistema no es aplicable a todo tipo de suelo.
- Realizar análisis de los nutrientes como son: nitrógeno y fósforo, principalmente la de nitrógeno en el gua a utilizar, ya que son muy importantes en la determinación de la carga hidráulica y la superficie a utilizar.
- Realizar análisis bacteriológicos del suelo periódicamente, para determinar la concentración de bacterias presentes, que pueden afectar la calidad del suelo y su pronto deterioro, con la finalidad de controlar el flujo de agua que ingresa al filtro verde.
- Los análisis de coliformes totales, se sugieren realizarlos a diluciones de 10^{-2} , porque, permite un mejor conteo de colonias en las placas Petrifilm.

- Realizar un análisis periódico de los parámetros regulados por el ministerio de ambiente en las aguas que salen a 90 cm o más profundidad para verificar si cumple con la norma de descargas a fuentes de agua dulce.
- Considerar que es importante un análisis periódico de las especies vegetales en el pronóstico de enfermedades y plagas que puedan tener, con un personal especializado en el área.
- Realizar un estudio de financiero para determinar la factibilidad económica en la producción de la caña guadua.

BIBLIOGRAFÍA

- 3M Microbiology. (2009). Guía de interpretación. *3MTM Petrifilm™*, 13-19. Obtenido de http://jornades.uab.cat/workshopmrama/sites/jornades.uab.cat/workshopmrama/files/Petrifilm_guias.pdf
- Alianza por el agua. (2008). *Manual de depuración de aguas residuales urbanas*. España: Ideasmares. Obtenido de <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>
- Álvarez, F. (2002). Filtros verdes. Un sistema de depuración ecológico. *Ingeniería Hidráulica y ambiental*, XXIII(1), 25 - 28. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd19/collazo/filtverd.pdf>
- Antúnez, A. (2013). *Riego por pulsos, una alternativa para aumentar los rendimientos del maíz*. Obtenido de El Mercurio: <https://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Noticias/2013/06/11/Riego-por-pulsos-una-alternativa-para-aumentar-los-rendimientos-del-maiz.aspx>
- ASTM D 422 – 63. (2007). *Standard Test Method for Particle-Size. Analysis of Soils (Withdrawn 2016)* (2 ed.). West Conshohocken, Estados Unidos: ASTM International. doi:10.1520/D0422-63R07E02
- Beascochea, E., & Fernández, J. (2005). La depuración de aguas mediante filtros verdes en el medio rural. El problema de las aguas residuales. *Ambienta*, 55 - 57. Obtenido de [http://www.antonigiraldez.es/docs/EI%20problema%20de%20las%20aguas%20residuales%20\(Revista%20AMBIENTA\)%2003-2005.pdf](http://www.antonigiraldez.es/docs/EI%20problema%20de%20las%20aguas%20residuales%20(Revista%20AMBIENTA)%2003-2005.pdf)
- Bracho, M., Barquilla, P., Moreno, L., & Olivares, J. (2016). *Tratamiento de no convencionales de aguas residuales urbanas de Tucaní, Venezuela*. Trabajo fin de master, Escuela de Organización Industrial, Venezuela. Obtenido de https://www.eoi.es/es/file/94403/download?token=d6VHA_xf
- Clesceri, L., Greeberg, A., & Eaton, A. (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (20th ed.).
- CONAGUA. (2016). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de plantas de tratamiento diseño de plantas de tratamiento: Humedales Artificiales*. Tlalpan, México. Obtenido de <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro30.pdf>

- De Bustamante, I., Vera, S., Alpuente, J., Mateos, J., León, V., López, P., . . . Larrañaga, J. (2005). Tecnologías de depuración de aguas residuales: diseño mediante filtros verdes funcionamiento, evolución y control de la contaminación de las aguas subterráneas. *International Meeting on Phytodepuration*, 245 - 250. Obtenido de https://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Conferencias%20y%20P%F3sters/P-10%20_texto_%20Bustamante%20et%20al.pdf
- Environmental Protection Agency. (2017). *Implementación de la leyes sobre el agua*. Estados Unidos. Obtenido de EPA. United Stated Environmental Protection Agency: <https://espanol.epa.gov/espanol/implementacion-de-la-leyes-sobre-el-agua>
- Espigares, M., & Perez, J. (s.f.). *Aguas Residuales: Composición*. Obtenido de http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Agua_s_Residuales_composicion.pdf
- FECD. (2009). *La Gente de la Caña Guadúa*. Quito: Fondo Ecuatoriano de Cooperación para el Desarrollo (FECD). Obtenido de <http://www.fecd.org.ec/images/download/guadua.pdf>
- Forero, J. E. (2018). Evaluación de las Condiciones de las áreas rurales Colombianas para la Implementación de Filtros Verdes como Tratamiento de Agua Residual. (pág. 33). Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16367/1/EVALUACI%C3%93N%20DE%20LAS%20CONDICIONES%20DE%20LAS%20%C3%81REAS%20RURALES%20COLOMBIANAS%20PARA%20LA%20IMPLEMENTACI%C3%93N%20DE%20FILTROS%20VERDES%20COMO%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUA%20RESIDUAL.pdf>
- Gil, H. A., Cisneros, J. M., De Prada, J. D., Plevich, J. O., & Sanchez, Á. R. (2013). Tecnologías verdes para el aprovechamiento de aguas residuales urbanas: análisis económico. *Ambiente & Agua*, 8(3), 118 - 128. doi:10.4136/ambiente.1174
- López, C., Germán, C., Francisco, A., & Herce, C. (1998). Filtros verdes: Una alternativa real en el tratamiento de aguas residuales en pequeños municipios. *Filtros verdes en pequeños municipios*. Obtenido de http://aulavirtual.usal.es/aulavirtual/demos/biologia/modulos/Curso/Libros/pdf/filtros_verdes.pdf

- Marcatoma, L. (2018). *Tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un sistema de filtros verdes en la comuna Manglaralto*. Proyecto Integrador, ESPOL, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Guayaquil.
- Martín Martínez, I. (1989). *Depuración de aguas con plantas emergentes* (il ed.). Madrid: Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Obtenido de https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1989_16.pdf
- Mercado, A. (2013). *Lagunas de Estabilización*. Obtenido de https://aquaknow.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/3.lagunas_de_estabilizacion_0.pdf
- Ministerio del Ambiente. (2015). TULSMA. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua. En *Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente* (pág. 100). Quito. Obtenido de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
- Noboa, M. (2010). *Comparación del efecto de riego con aguas residuales provenientes de la lagunas de oxidación de Santa Elena*. Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Guayaquil. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/31564/D-79132.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
- Pérez, A. (2009). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades*. Obtenido de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19117/capitulo4.pdf>
- Ramos, L., Vidal, L., Vilarly, S., & Saavedra, L. (2008). Análisis de la contaminación microbiológica (Coliformes totales y fecales) en la bahía de Santa Marta, Caribe colombiano. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3), 87 - 98. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v13n3/v13n3a7.pdf>
- Rojas, R. (25 de Septiembre de 2002). Curso Internacional "Gestión integral de aguas residuales". *Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales*. Obtenido de <http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000093-9097e9190c/GESTION%20INTEGRAL%20DEL%20TRATAMIENTO%20AR.pdf>
- Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (10 de Julio de 2008). Domestic wastewater reuse in agriculture. *Agronomía Colombiana*, 26, 347-359. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/317512014_Domestic_wastewater_reuse_in_agriculture_A_review

ANEXOS

ANEXOS 1. Fotografías de las lagunas de oxidación de Libertador Bolívar y sus alrededores.



Anexo 1.A. Laguna de oxidación (maduración)



Anexo 1.B. Suelos contaminados a los alrededores de las lagunas de oxidación.

ANEXOS 2. Fotografías de la construcción de la planta piloto de tratamiento de agua a través de un sistema de filtros verdes.



Anexo 2.A. Siembra de cañas guaduas para la planta piloto a través del sistema de filtros verdes.



Anexo 2.B. Construcción del lisímetro.



Anexo 2.C. Lisímetro construido



Anexo 2.D. Planta piloto de tratamiento de aguas residuales a través de un sistema de filtros verdes en funcionamiento.



Anexo 2.E. Lisímetro en funcionamiento y toma de muestra de agua tratada por el sistema de filtros verdes.

APÉNDICE

APÉNDICE A. Resultados de los análisis de DBO₅ extendidos por el CENAIM durante las semanas de análisis.



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DEL LITORAL**

“Impulsando la Sociedad del Conocimiento”



Laboratorio Calidad de Agua y Suelos

Reporte de Análisis: Muestras de agua

CAA-004 DBO₅

Fecha de ingreso de muestra: 15 de Julio 2019

Solicitante: Estudiante de Espol tesis

Fecha: 22 de Julio 2019

| Muestra | DBO ₅ mg/L |
|---------|--------------------------|
| 30 | 5,31 |
| 60 | 4,92 |
| 90 | 2,31 |

Blga. Yessenia Pozo Quimis

Analista Responsable

Observaciones:

Bibliografía de Análisis

Standard Methods for the Examination of water and Wastewater 20th Edition
1998



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

"Impulsando la Sociedad del Conocimiento"



Laboratorio Calidad de Agua y Suelos

Reporte de Análisis: Muestras de agua

CAA-004 DBO₅

Fecha de ingreso de muestra: 22 de Julio 2019

Solicitante: Estudiante de Espol tesis

Fecha: 29 de Julio 2019

| Muestra | DBO ₅ mg/L |
|---------|--------------------------|
| 30 | 10,26 |
| 60 | 7,20 |
| 90 | 6,24 |

Blga. Yessenia Pozo Quimis

Analista Responsable

Observaciones:

Bibliografía de Análisis

Standard Methods for the Examination of water and Wastewater 20th Edition
1998



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

“Impulsando la Sociedad del Conocimiento”



Laboratorio Calidad de Agua y Suelos

Reporte de Análisis: Muestras de agua

CAA-004 DBO₅

Fecha de ingreso de muestra: 29 de Julio 2019

Solicitante: Estudiante de Espol tesis

Fecha: 5 de Agosto 2019

| Muestra | DBO ₅ mg/L |
|---------|--------------------------|
| 30 | 15,66 |
| 60 | 11,13 |
| 90 | 8,22 |

Blga. Yessenia Pozo Quimis

Analista Responsable

Observaciones:

Bibliografía de Análisis

Standard Methods for the Examination of water and Wastewater 20th Edition
1998



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

“Impulsando la Sociedad del Conocimiento”



Laboratorio Calidad de Agua y Suelos

Reporte de Análisis: Muestras de agua

CAA-004 DBO₅

Fecha de ingreso de muestra: 8 de Agosto 2019

Solicitante: Estudiante de Espol tesis

Fecha: 14 de Agosto 2019

| Muestra | DBO ₅ mg/L |
|-----------------------|--------------------------|
| Diluido sin nutriente | 42,20 |
| Sin Diluir | Oxigeno inicial 0,32 |
| Diluido | 41,39 |
| Diluido con nutriente | 43,37 |

Blga. Yessenia Pozo Quimis

Analista Responsable

Observaciones:

La muestra sin diluir tenia oxigeno inicial bajo.

Bibliografía de Análisis

Standard Methods for the Examination of water and Wastewater 20th Edition
1998