

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

EVALUACIÓN DE UN LOMBRIFILTRO PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE GRUPO ROSSI

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DE LOS TÍTULOS
DE TECNÓLOGA SUPERIOR EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL**

Daniela Abigail Lara Ramón

daniela.lara01@epn.edu.ec

Lisette Gabriela Ruchi Duchi

lisette.ruchi@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. SANTIAGO STALIN GUERRA SALCEDO, M.Sc.

santiago.guerra@epn.edu.ec

CODIRECTORA: ING. PATRICIA LORENA HARO RUIZ, PhD.

patricia.haro@epn.edu.ec

Quito, enero 2022

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por las Srtas. Lara Ramón Daniela Abigail y Ruchi Duchi Lissette Gabriela como requerimiento parcial a la obtención del título de Tecnólogas Superior en Agua y Saneamiento Ambiental, bajo mi/nuestra supervisión:

**Ing. Santiago Stalin Guerra
Salcedo, M.Sc**

DIRECTOR DEL PROYECTO

**Ing. Patricia Lorena Haro Ruiz,
PhD**

CODIRECTORA DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotras Lara Ramón Daniela Abigail con CI: 1751125624 y Ruchi Duchi Lissette Gabriela con CI: 1727437475 declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 144 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación – COESC-, somos titulares de la obra en mención y otorgamos una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional.

Entregamos toda la información técnica pertinente, en caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.



Daniela Abigail Lara Ramón
TESISTA 1

Email: daniela.lara01@epn.edu.ec
Telf.: 0984920298



Lissette Gabriela Ruchi Duchi
TESISTA 2

Email: lissette.ruchi@epn.edu.ec
Telf.: 0992125040

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado a mi familia y allegados, quienes me han apoyado en este esfuerzo para la culminación de mis estudios universitarios. En especial, a mis padres que con sus enseñanzas y sacrificios han sabido guiarme por la vida, procurando la confianza y el amor de un hogar para mi superación humana y profesional.

Lara Ramón Daniela Abigail

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de manera especial a mi familia y a Dios pues fueron los principales cimientos para la construcción de mi vida profesional, sentando en mí las bases de responsabilidad y deseos de superación.

Lisette Gabriela Ruchi Duchi

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a Dios y a la vida, por permitirnos llegar a nuestra meta, tras un camino largo, pero lleno de personas maravillosas que hicieron posible este acontecimiento.

Extendemos nuestra gratitud con nuestros padres, que nos han brindado su apoyo incondicional a lo largo de nuestra estadía en la Escuela Politécnica Nacional, en donde con dedicación y esmero, los profesores nos han impartido su conocimiento para enfrentar los nuevos desafíos.

De igual forma, damos gracias a la empresa Grupo Rossi por abrirnos las puertas para el desarrollo de esta investigación que tienen como fin ser de utilidad para la conservación del ambiente.

Esta meta la recordaremos con alegría, pues representa el esfuerzo compartido con grandes amigos, que nos han enseñado el valor de la amistad, demostrándonos que no existe límites para lograr nuestros sueños.

“Todo es posible, con trabajo y entrega”

Lara Ramón Daniela Abigail

Ruchi Duchi Lisette Gabriela

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	Introducción	1
1.1	Objetivos.....	1
1.1.1	Objetivo general.....	1
1.1.2	Objetivos específicos	1
1.2	Antecedentes.....	2
1.3	Marco teórico	2
1.3.1	Sistema Tohá.....	3
1.3.2	Lombrices	6
1.3.3	Aceites y grasas en el agua residual.....	7
1.3.4	Tanque de homogenización.....	7
2.	Metodología	8
2.1	Lugar de estudio.....	8
2.2	Análisis de agua residual láctea	9
2.3	Acciones previas	11
2.3.1	Diseño del tanque de homogenización.....	11
2.3.2	Diseño del lombrifiltro.....	12
2.3.3	Adaptación del sistema	14
2.4	Esquema Experimental.....	16
3.	Resultados y Discusión	17
3.1	Caracterización del efluente y obras anexas	17
3.2	Eficacia del sistema depurativo	21
3.3	Calidad de agua tratada	25
3.4	Comparación con un tratamiento convencional	33
3.5	Análisis de costo-beneficio	34
4	Conclusiones y Recomendaciones	39
4.1	Conclusiones.....	39
4.2	Recomendaciones.....	40
5	referencias Bibliográficas	41

ANEXOS.....	47
Anexo 1: Plan de muestreo	i
Anexo 2: Resultados de Laboratorio CENTROCESAL.....	viii
Anexo 3: Diseño tanque de Homogenización.....	xi
Anexo 4: Normativa TULSMA tabla 11	xiii
Anexo 5: Memoria técnica	xvi
Anexo 6: Esquemas de la infraestructura del sistema tohá	xxxiii
Anexo 7: Evidencia fotográfica.....	xxxv
Anexo 8: Video recopilatorio de la experimentación	xxxix

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estratos comunes de un lombrifiltro.....	4
Figura 2. Ubicación de la empresa Grupo Rossi en la provincia de Pichincha	8
Figura 3. Esquema lombrifiltro y filtro de control.....	13
Figura 4. Sistemas del prototipo	15
Figura 5. Curva de variación de caudales	18
Figura 6. Relación entre la DQO, nitritos y nitratos con un gasto de 15 L/día.....	28
Figura 7. Relación entre la DQO, nitritos y nitratos con un gasto de 45 L/día.....	29
Figura 8. Relación entre la DQO, nitritos y nitratos con un gasto de 12 L/día.....	32
Figura 9. Relación entre la DQO, nitritos y nitratos con un gasto de 90 L/día.....	32
Figura 10. Gráfico caudal acumulado vs tiempo.....	xii
Figura 11. Pozos de revisión y vertedero a cielo abierto	xxxvi
Figura 12. Visita técnica a las instalaciones	xxxvi
Figura 13. Identificación del punto de muestreo y medición del caudal.	xxxvi
Figura 14. Toma de muestra y medición in situ	xxxvii
Figura 15. Análisis del agua residual de Grupo Rossi en el laboratorio de Tecnología Industrial Área de Agua y Saneamiento Ambiental	xxxvii
Figura 16. Prototipos del Lombrifiltro y filtro de control	xxxviii
Figura 17. Análisis del agua tratada en el laboratorio de Tecnología Industrial Área de Agua y Saneamiento Ambiental.	xxxviii
Figura 18. Control del pH	xxxviii

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros técnicos en lombrices	6
Tabla 2. Reactivos y número de métodos para análisis de laboratorio	11
Tabla 3. Variables iniciales	16
Tabla 4. Resultados del efluente residual de Grupo Rossi.....	19
Tabla 5. Dimensiones del lombrifiltro	21
Tabla 6. Porcentajes y alturas de las capas del lombrifiltro.....	22
Tabla 7. Variaciones de caudal y características del medio	24
Tabla 8. Resultados del efluente en situación óptima	26
Tabla 9. Porcentajes de remoción	27
Tabla 10. Resultados del efluente en condiciones desfavorables	29
Tabla 11. Porcentajes de remoción de nutrientes en condiciones desfavorables.....	31
Tabla 12. Comparación entre EM y Sistema Tohá.....	33
Tabla 13. Precios asociados a la construcción del sistema Tohá en base a los rubros de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS).....	35
Tabla 14. Valores de caudal	xii
Tabla 15. Dimensiones del tanque homogeneizador	xii
Tabla 16. Tabla 11 de Límites de descarga al sistema de alcantarillado público	xiv

RESUMEN

La industria láctea se encuentra en constante crecimiento, de forma que, los volúmenes de producción de desechos aumentan. Las aguas residuales son uno de los principales problemas, debido a que sus descargas al alcantarillado público no cumplen con la normativa. Por lo cual, se han presentado diferentes tratamientos como el lombrifiltro o sistema Tohá, que además de ser un método accesible económicamente, permite la remoción eficiente de contaminantes que alteran la calidad de agua, entre los que se puede mencionar: la DQO y nutrientes.

De este modo, el proyecto de titulación se ejecutó con la finalidad de aportar un método innovador que mejore el tratamiento del agua residual de la empresa Grupo Rossi ubicada en el cantón Mejía, provincia de Pichincha. El desarrollo de la experimentación comenzó con el muestreo y caracterización del líquido residual para conocer los contaminantes presentes e identificar los problemas a solucionar acorde a la normativa ecuatoriana especificada en el TULSMA para una descarga controlada al sistema de alcantarillado.

Asimismo, se desarrolló una investigación sobre el funcionamiento del sistema Tohá para el tratamiento del afluente en un prototipo a nivel laboratorio. Con el objetivo de evaluar su utilidad en la disminución de contaminantes por acción de las lombrices, paralelamente se construyó un filtro de control. Los dos sistemas se ejecutaron en iguales condiciones y se verificó su funcionamiento en estado óptimo, así como en las condiciones no favorables. De igual forma, se analizaron los beneficios y costos asociados a la futura implementación del proyecto.

PALABRAS CLAVE: lombrifiltro, filtro de control, lombrices, DQO, nutrientes, grasas

ABSTRACT

The dairy industry is constantly growing, so waste production volumes are increasing. Wastewater is one of the main problems, because its discharge into the public sewage system does not comply with regulations. For this reason, different treatments have been presented, such as the worm filter or Tohá system, which besides being an economically accessible method, allows the efficient removal of pollutants that alter water quality, among which we can mention COD and nutrients.

Thus, the titration project was carried out with the purpose of providing an innovative method to improve the treatment of wastewater from the Rossi Group company located in the Mejia canton, province of Pichincha. The development of the experiment began with the sampling and characterization of the wastewater to determine the contaminants present and identify the problems to be solved according to the Ecuadorian regulations specified in the TULSMA for a controlled discharge to the sewage system.

An investigation was also carried out on the operation of the Tohá system for the treatment of the effluent in a laboratory prototype. In order to evaluate its usefulness in the reduction of pollutants through the action of earthworms, a control filter was built at the same time. The two systems were executed under the same conditions and their operation was verified in optimal conditions, as well as in unfavorable conditions. The benefits and costs associated with the future implementation of the project were also analyzed.

KEY WORDS: vermifilter, control filter, earthworms, COD, nutrients, fats.

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad las industrias lácteas son uno de los sectores en constante crecimiento a nivel nacional, debido a la demanda de la población ecuatoriana, por lo que, estas empresas consumen grandes cantidades de agua en sus procesos de manufactura, las mismas que en algunos casos, son evacuadas directamente al ambiente. Por otra parte, las actividades de pequeñas y medianas empresas como Grupo Rossi tienen un estricto control sanitario, pero un déficit en el tratamiento de aguas residuales.

Pese a que existen diversos métodos de tratamiento: físicos, químicos y biológicos, para la eliminación de contaminantes en el agua residual, estos requieren de personal calificado y adecuaciones de los lodos generados, razón por la que se encarece más la implementación de un tratamiento adecuado. Sin embargo, se han desarrollado otras alternativas para depurar el líquido residual de las fábricas lácteas, tales como el sistema propuesto por el Dr. José Tohá, el mismo que funciona como un filtro aerobio con acción de las lombrices rojas californianas para la reducción de la materia orgánica y nutrientes.

El presente trabajo de titulación se realizó en la Empresa Grupo Rossi ubicada en la carretera Panamericana con dirección a Machachi, con el objetivo de evaluar la eficiencia del Lombrifiltro en la eliminación de contaminantes en el agua residual, los mismos que son producto de las actividades de manufactura. Para lo cual, se llevaron a cabo análisis del efluente de la empresa y el diseño experimental del sistema Tohá, además de un filtro de control, el cual permitió identificar la eficiencia del tratamiento propuesto por acción de las lombrices *Eisenia Foetida* en conjunto con varios estratos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Evaluar la utilidad de un lombrifiltro para el tratamiento del agua residual industrial de la empresa Grupo Rossi

1.1.2 Objetivos específicos

- Evaluar la composición del agua industrial de la empresa Grupo Rossi para conocer la concentración de contaminantes presentes, mediante parámetros físicos, químicos y biológicos.
- Evaluar la efectividad de un lombrifiltro en el tratamiento de agua residual del Grupo Rossi mediante el análisis de parámetros.

- Valorar los resultados obtenidos frente a la utilización del tratamiento convencional de la empresa Grupo Rossi en relación costo-beneficio.

1.2 Antecedentes

Uno de los mayores problemas de las industrias lácteas es la generación de aguas residuales debido a su estrecha relación con la capacidad productiva, razón por la cual el efluente tiene un alto contenido de materia orgánica que eleva los valores de parámetros como: la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO). De manera que el efluente excede los límites permisibles de descarga que establece la Normativa Ecuatoriana. A su vez, de acuerdo con el Centro de la Industria Láctea (CIL), Ecuador produce cerca de 6 millones de litros de leche al día, de los cuales la mayoría se concentra en la región sierra (CIL, 2021).

Como consecuencia de lo descrito, el incremento de las empresas lácticas produce un aumento de los residuos sólidos, líquidos y gaseosos originados, debido a los procesos productivos, transformación de la materia prima y distribución. En estos procedimientos es donde se observa, que, en muchos de los casos los residuos son liberados directamente al suelo, aire y agua, afectando al medio con indiscriminadas descargas sin control, de manera que, se denota la falta de tratamientos apropiados o una mala gestión (Luque González, 2018).

De igual forma, la creciente preocupación de las industrias ecuatorianas para aprovechar los recursos naturales sin causar perjuicios al ambiente y a un bajo costo, ha provocado la búsqueda de nuevas tecnologías, como el sistema Tohá, el mismo que optimiza los procesos de tratamiento de las aguas residuales. Varios estudios realizados demuestran su efectividad en la disminución de parámetros biológicos, tal como lo señala Orozco y Sánchez (2020) donde se concluye que el sistema Tohá tiene efectos significativos sobre la reducción de los contaminantes en las aguas residuales provenientes de la industria láctea, además de su capacidad para producir un subproducto conocido como humus, que adquiere un mayor aprovechamiento en la agricultura.

1.3 Marco teórico

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales comprenden un conjunto de operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos, que son utilizados con la finalidad de depurar el afluente residual para sus disposición final o aprovechamiento (Huiza Cayetano & Ordoñez Cayetano, 2018). Para el tratamiento del líquido residual, las industrias generalmente ponen en marcha 3 clasificaciones: tratamiento primario, secundario y terciario. La elección del tipo

de método y sus características técnicas, dependen de la presencia de contaminantes y el volumen a tratar, así como del objetivo principal de la industria láctea.

1.3.1 Sistema Tohá

Este proyecto fue creado por el profesor José Tohá en conjunto con sus colaboradores en el laboratorio de Biofísica de la Universidad de Chile en 1992, y puesto en funcionamiento por primera vez por la Fundación para la Transferencia Tecnológica (UNTEC), a partir del año 2000 (UNTEC, 2016). El sistema Tohá es un tratamiento secundario utilizado en la industria láctea mayormente conocido como Lombrifiltro, el cual, gracias a sus diferentes capas filtrantes, densidad de lombrices y microorganismos se encargan de la degradación de la materia orgánica y la reducción de contaminantes con gran eficiencia (Hernández Rivera, 2016).

El sistema Tohá pertenece a la gama de percoladores, razón por la que se denomina un biofiltro aerobio, es decir que en el lecho del lombrifiltro se degradan los residuos sólidos y líquidos por la acción de los organismos vivos como las lombrices (Manrique Delgado & Piñeros Castañeda, 2016). Por consiguiente, la acción de estos organismos permite mantener la permeabilidad del lecho e impide la colmatación debido a los procesos de excavación por movimientos migratorios de los mismos. Además, se reemplaza los lodos comunes por un subproducto valorizado denominado humus que aumenta la porosidad del filtro, facilitando la oxigenación y absorción e impidiendo la producción de olores por estancamiento del fluido (Salazar Miranda, 2005).

Este sistema está compuesto generalmente por 4 capas de diversos materiales, entre los que se destacan: lombrices y humus, aserrín o viruta, grava, bolones o piedras de río, las mismas que se muestran en la Figura 1. Las diversas capas contienen micro y macroorganismos que absorben y procesan la materia orgánica formando una especie de biopelícula adherida al medio filtrante (Hernández Bórquez, 2005). Cada estrato cumple una funcionalidad en el lombrifiltro que ayuda a la disminución de los parámetros físicos, químicos y biológicos. Sin embargo, al ser una técnica en experimentación existen varios estudios con diversas modificaciones en las capas filtrantes tales como la implementación de arena, carbón activado, agave, chapas, entre otros, acorde al objetivo y el alcance del estudio. La composición de cada estrato se presenta posteriormente.



Figura 1. Estratos comunes de un lombrifiltro

- **Primer estrato**

Formado por tierra, lombrices y humus, muy importante para la adaptación de microorganismos y gusanos al sistema. Además, permite la recolección de las deyecciones de las lombrices para su posterior uso (Salazar Miranda, 2005).

- **Segundo estrato**

Conformado por aserrín o viruta, es utilizada por su capacidad absorbente que permite retener varios contaminantes inorgánicos y favorece a la formación de complejos de iones para la disminución de nitrógeno (Saboya Rios, 2018). Además, aporta a la alimentación de los organismos vivos y la comunidad microbiana, mantiene la humedad y es continuamente aireado por el movimiento de las lombrices (Huiza Cayetano & Ordoñez Cayetano, 2018).

- **Tercer estrato**

La grava sirve de soporte al medio filtrante, con la finalidad de eludir la pérdida por el drenaje, ayuda a distribuir uniformemente el agua evitando la formación de chorros (Pérez Parra, 1981). Además, permite el efecto de permeabilidad debido a su medio poroso, previniendo el taponamiento, y ayuda a remover otros contaminantes orgánicos e inorgánicos (Villarreal Veloz, 2018).

- **Cuarto estrato**

En el tratamiento de agua se emplean piedras de río para la filtración, por su capacidad para generar una biopelícula de la acumulación de microorganismo que se adhieren en la superficie de contacto (Lima Coronel, 2016).

Por lo tanto, este sistema sigue el lineamiento de un tratamiento biológico y se forma a partir de varias capas filtrantes, que pueden remplazar el uso de sustancias químicas y tratamientos extras, dependiendo de las características iniciales del agua residual.

La construcción del sistema Tohá se da por parámetros de diseño similares a los de Cultivo Fijo por Filtros Biológicos (FB), no obstante, de manera general las cargas hidráulicas en el sistema son menores (SUBDERE, 2009). Debido a la presencia de organismos vivos en el filtro se debe considerar el número de lombrices que pueden habitar por unidad de área, cantidad de materia orgánica a digerir, tasa de riego máxima y tiempo de retención hidráulica (Salazar Miranda, 2005), siendo estas descritas a continuación.

- **Carga orgánica**

El sistema Tohá permite cargas orgánicas altas, pero se aconseja concentraciones de sólidos no mayores de 700 a 1000 mg/L, ya que podría colmatar la superficie del lecho (Homsí Auchen & Alarcón Martínez, 2018).

- **Tasa de riego (Tr)**

La tasa de carga hidráulica es uno de los parámetros más importante para el diseño debido a que relaciona el volumen de afluente que puede tratarse en el área filtrante en un determinado tiempo, con la finalidad de evitar la muerte de las lombrices por falta de oxígeno (Cárdenas, 2017). Este factor depende de la cantidad y tamaño de lombrices, así como del material filtrante del lombrifiltro, además es inversamente proporcional al tiempo de retención, alterando la eficiencia del tratamiento.

- **Tiempo de retención (TRH)**

Tiempo que toma el agua en fluir a través del material filtrante hasta llegar a su salida, depende del flujo, volumen y porosidad. Se considera el parámetro más importante ya que, el afluente necesita permanecer en contacto con los organismos vivos para la remoción de materia orgánica, en general se estima que la porosidad del medio varía entre 60 y 74% (Bravo Marinni, 2019).

Para la aplicación eficiente de un lombrifiltro se recomienda el uso de tratamientos primarios, acorde a las características propias del agua residual. Entre las más comunes se encuentran: separación de sólidos gruesos y tanque de homogenización para regular caudales antes de su aspersion sobre la superficie del lombrifiltro (MAS, 2019). Esta tecnología no convencional es ideal para cumplir con los valores de parámetros establecidos en las normativas, con bajos costos de operación, lo que hace más viable su

implementación (Quille, 2018). De igual forma el sistema puede alcanzar una eficiencia del 95% en la remoción de la DBO₅ y SS en comparación con el afluente (MAS, 2019).

1.3.2 Lombrices

El sistema Tohá utiliza el cuerpo de la lombriz como un filtro biológico debido a los procesos digestivos de fraccionamiento, síntesis, enriquecimiento enzimático y microbiano que logra acelerar los procesos de degradación, disminuyendo considerablemente parámetros como: DQO, DBO, sólidos totales y disueltos (Manrique Delgado & Piñeros Castañeda, 2016). La especie más utilizada es la lombriz californiana, conocida por su nombre científico como *Eisenia Foetida*, debido a sus características resistentes. Estudios preliminares destacan la eficiencia de estas lombrices para reducir parámetros como: sólidos suspendidos totales entre el 90-95%, DBO₅ y DQO, 80-90% (Visvanathan, Trankler, Jospeh, & Nagendran, 2005). Sin embargo, pese a la adaptabilidad que muestran las diversas especies de lombriz, en particular la *Eisenia Foetida*, las condiciones de temperatura, pH y humedad pueden alterar los valores de los parámetros de análisis (Bravo Marinni, 2019).

De igual forma, las propiedades del sustrato o material de crecimiento afectan de manera directa el estado y multiplicación de este organismo (Durán & Henríquez, 2009), por lo que se debe considerar los parámetros adecuados para la sobrevivencia de la especie. La Tabla 1 indica algunos factores importantes para el desarrollo de la *Eisenia Foetida*.

La lombriz roja californiana tiene superiores condiciones de cría en cautiverio y una prolongada longevidad de hasta 16 años. Estos organismos son hermafroditas incompletas, es decir poseen ambos sexos enteros, su fase reproductiva comienza a los 3 meses, la cual continúa a lo largo de toda la vida, además, logran una producción de una cápsula cada 7 a 10 días (Toccalino, Agüero, Serebrinsky, & Roux, 2004). Después de 14 a 21 días de incubación eclosionan alrededor de 4 a 20 lombrices hijas, por lo tanto, tienen una alta prolificidad de hasta 1500 crías por año, en consecuencia, sus deyecciones conforman un óptimo abono orgánico por su elevado contenido en flora bacteriana de cerca de 2×10^{12} colonias/g de humus, contemplando que su desarrollo biológico se da en un ambiente no superior a 30 cm de sustrato (Toccalino et al., 2004).

Tabla 1. Parámetros técnicos en lombrices (Mejía, 2016)

Parámetro	Nivel Óptimo	Nivel Adecuado	Peligro de muerte
Temperatura	20°C	15°C - 24°C	< 5°C; >37°C
Humedad	75%	70% - 80%	<70%; >80%
pH	6.5 - 7.5	6.0 - 8.0	<4.5; >8.5

Parámetro	Nivel Óptimo	Nivel Adecuado	Peligro de muerte
Conductividad eléctrica	2.5 mS/cm	3.0 mS/cm	> 8.0 mS/cm
Proteínas	13%	7.5% - 13%	<7.5%; >18%

1.3.3 Aceites y grasas en el agua residual

Las grasas y aceites son un componente común en las aguas residuales industriales. Sus concentraciones medias se sitúan entre los 40 y 80 mg/L, pudiendo superar en ocasiones los 100 mg/L (TEQMA, 2018). La descarga del agua residual con dichos contaminantes contribuye a la polución del medio. De modo que, el líquido residual tiende a oxidarse con mayor celeridad provocando que el oxígeno disuelto se consuma rápidamente, esto puede provocar condiciones anoxias las cuales llegan afectar a los organismos que habitan en el recurso y provocan daños en los tratamientos secundarios (Bravo, Osorno, & Salgado, 2016).

Además, el principal problema es que son difícilmente removibles por medios aerobios, por lo que éstas pueden continuar su tránsito aguas abajo manteniéndose presentes en todo el proceso, incluso en la salida de la planta (TEQMA, 2018). Asimismo, si se difunden a la superficie reducen la oxigenación a través de la interfase aire-agua y la actividad fotosintética, ya que absorbe la radiación solar, disminuyendo así, la producción interna de oxígeno disuelto. Por consiguiente, puede llegar a colmatar filtros y otros tratamientos secundarios. Asimismo, este factor contiene un impacto estético y aportan al elevado valor de la DQO, a su vez forman películas impermeables que impiden el paso del aire y matan la vida, tanto en el agua como en tierra (Bravo, Osorno, & Salgado, 2016).

1.3.4 Tanque de homogenización

La homogenización es un pretratamiento, el cual consiste en amortiguar las variaciones de caudal, con el objetivo de conseguir un gasto continuo o casi constante. Dicha técnica puede aplicarse en diferentes situaciones en las cuales las condiciones del alcantarillado permitan su aplicación. Sus principales beneficios son: la mejora del tratamiento biológico, eliminación o reducción de la carga de choque, estabilización del pH y progreso en el rendimiento de los filtros (Metcalf & Eddy, INC., 1995).

Para el análisis teórico se considera la localización de la instalación, la cual viene determinada para cada caso en concreto, además de las características del sistema, ya sea en línea o derivación para conocer la efectividad de la homogenización. Asimismo, para determinar el volumen necesario del tanque se debe considerar los picos donde el caudal de la empresa sea mayor o menor, para lo cual se realiza el gráfico de caudales en donde se representa la aportación acumulada a lo largo del día (Metcalf & Eddy, INC., 1995).

2. METODOLOGÍA

2.1 Lugar de estudio

Grupo Rossi es una empresa especializada en la preparación de quesos gourmet y derivados de la leche, los cuales se hacen con tecnología italiana. Ubicada en el cantón Mejía, provincia de Pichincha, nace en el año 1980 una vez su fundador, Maurizio Rossi, llega a Ecuador con la vivencia y tecnificación en lácteos italianos (Grupo Rossi, 2021).. Actualmente la empresa está operativa con diez trabajadores, cuatro trabajan directamente en los procesos de transformación de la materia prima, en la cual se realiza una desviación parcial del lactosuero, elemento presente en la leche, para el alimento de animales porcinos. El resto de los empleados se dedican al sector administrativo y comercial. La Figura 2 muestra la ubicación exacta de la empresa

La empresa empezó con la fabricación de los primeros quesos gourmet y debido a la creciente demanda de la población ecuatoriana, se extendió la gama de productos de origen lácteo, entre ellos: quesos maduros, cremosos, ricotta y diferentes gamas de yogurt. Por lo que la cantidad de materia prima ascendió de 2 a 3 m³ de leche, con un consumo de agua referencial de 10 m³ cada día, de los cuales se estimaba que 4 m³ eran utilizados en los procesos de limpieza al final de la jornada de trabajo. Cabe mencionar que el recurso hídrico para la operación de la fábrica es administrado de un pozo construido por la empresa con el permiso de las autoridades pertinentes, donde se realizaron estudios previos para su uso y mejoramiento (Martínez Paucar & Yugcha Carrera, 2018).

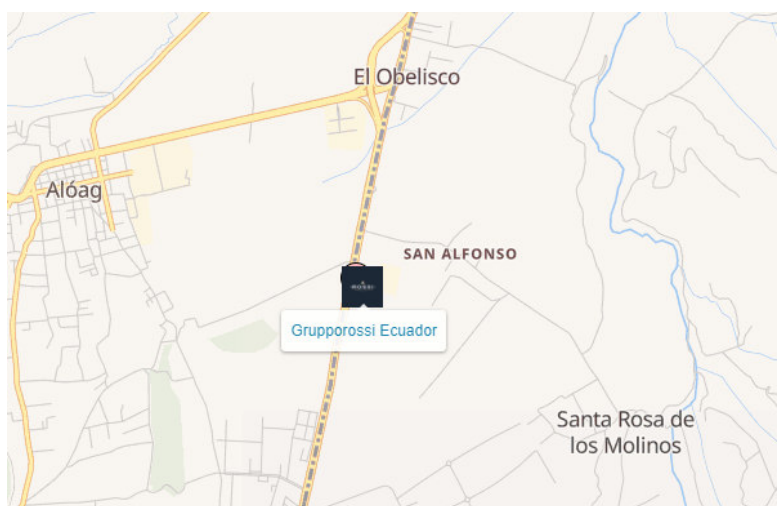


Figura 2. Ubicación de la empresa Grupo Rossi en la provincia de Pichincha

2.2 Análisis de agua residual láctea

Para analizar del agua residual de Grupo Rossi se establecieron parámetros necesarios, con el fin de conocer la calidad del efluente con base en la sospecha de una alta cantidad de sustancias orgánicas, característica que se encuentra en la materia prima que se usa en el proceso de producción, y los productos de limpieza, así como los análisis necesarios que se deben considerar para la implementación de lombrices, razón por la que se tomaron como referencia los siguientes indicadores:

- Aceites y grasas
- Color Aparente
- Conductividad
- Coliformes Totales
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)
- Fosfatos
- Metales: Hierro, Manganeso
- Nitritos y Nitratos, Nitrógeno Total Kjeldahl, Nitrógeno Amoniacal
- Oxígeno Disuelto (OD)
- pH
- Sólidos Disueltos Totales (SDT)
- Sólidos Suspendedos Totales (SST)
- Sulfatos
- Temperatura
- Tensoactivos

Se desarrolló un plan de muestreo (Ver Anexo 1) para identificar el punto de estudio, horario de ejecución, volumen de agua, tipo de prueba y materiales necesarios. En consecuencia, a que el caudal de agua residual era variable en el tiempo, se optó por la creación de una muestra compuesta. Con la finalidad de conservar la representatividad de la muestra del efluente se tomaron diversos ejemplares simples para conformar el volumen total de análisis, bajo el concepto de la Ecuación 2.1 para el cálculo de las alícuotas necesarias para la muestra global.

$$V_i = \frac{V \cdot Q_i}{n \cdot Q_p}$$

Ecuación 0.1. Volumen de alícuotas para muestra compuesta (SENA, 2012)

- V : (ml) volumen total de las muestras
 Q_i : (m³/h) Caudal en el momento de muestreo
 n : Número de veces de muestreo
 Q_p : (m³/h) Tasa media de flujo
 V_i : (ml) volumen de la alícuota

Se utilizó un multiparámetro para la medición *in situ* por cada alícuota que conformaba la muestra global. Con la finalidad de analizar los indicadores que no se lograron determinar en campo, el ejemplar compuesto fue llevado para sus respectivos análisis de nutrientes, metales y DQO, al laboratorio de Tecnología Industrial – Área de Agua y Saneamiento Ambiental en la Escuela de Formación de Tecnólogos (ESFOT). Donde se determinó la concentración total del agua residual con la Ecuación 2.2. Una vez, la concentración de la muestra fue establecida se realizó una dilución 1:10 para el análisis de metales, sulfatos, fosfatos, nitratos y nitritos, adicionalmente se utilizó una dilución 1:50 para la DQO. Los parámetros sobrantes se desarrollaron en el laboratorio privado CENTROCESAL (Ver Anexo 2) debido a la falta de instrumentaría.

$$C_f = C_i \cdot \left(\frac{V_i}{V_f} \right)$$

Ecuación 0.2. Dilución de soluciones (Muradás, Bosque, Ortega, & Pintos, 2014)

Donde:

- C_i : (mg/L) Concentración inicial
 V_i : (L) Volumen inicial
 V_f : (L) Volumen final
 $\frac{V_i}{V_f}$: Factor de dilución
 C_c : (mg/L) Concentración final

Los resultados de los análisis de metales y nutrientes realizados en el laboratorio de Tecnología Industrial – Área Agua y Saneamiento Ambiental de la ESFOT, se obtuvieron por espectrofotometría, por lo cual, se empleó un espectrofotómetro HACH DR1900. Además, de diversos reactivos para la determinación de los parámetros como se indica en la Tabla 2, adicional se realizó el análisis de la DQO con un digestor previo al espectrofotómetro.

Tabla 2. Reactivos y número de métodos para análisis de laboratorio

Parámetro	Reactivos	Método espectrofotómetro
DQO	Viales de alto rango	435
Fosfatos	PhoVer3	490
Hierro	FerroVer	
Manganeso	Ácido Ascórbico	290
	Reactivo de Cianuro Alcalino	
	Solución Indicadora PAN 0.1%	
Nitratos	NitraVer5	355
Nitritos	NitriVer3	373
Sulfatos	SulfaVer4	680

Para medir la eficiencia del tratamiento del efluente de Grupo Rossi, se decidió evaluar la DQO, color aparente, nitritos y nitratos, con el objetivo de tener una idea general del estado final del líquido vital después de la implementación del sistema Tohá y filtro de control. Atribuido a que la principal función del lombrifiltro es remover la materia orgánica y nutrientes, debido a que pertenece a un tratamiento secundario.

2.3 Acciones previas

2.3.1 Diseño del tanque de homogenización

Tras una visita técnica a la empresa se identificó que el caudal de descarga al alcantarillado es de flujo variable, por lo cual se planteó el diseño de un taque homogeneizador para amortiguar el gasto, regular el pH y controlar el flujo de ingreso al lombrifiltro.

Para el diseño se realizó una medición de efluente a través del método volumétrico, con la ayuda de un balde de volumen conocido y se utilizó la relación de caudal de la Ecuación 2.3. Los resultados obtenidos fueron tabulados para la aplicación del método gráfico.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Ecuación 0.3. Relación de Caudal

Donde:

V : (L) volumen de envase

t : (s) tiempo de llenado del envase

Q : (L/s) caudal

Una vez obtenidos los resultados, se realizaron los cálculos correspondientes del método gráfico para conocer el caudal acumulado en función del tiempo, además se obtuvo una curva de gasto (Caudal Acumulado vs Tiempo), la misma que mediante el trazo de una recta desde el punto inicial al final, permitió calcular el volumen mínimo y máximo, para conocer la cantidad de agua residual total de la empresa.

En el caso de la parte experimental se marcó un volumen con el que trabajaría el lombrifiltro y filtro de control. Para los prototipos se adaptaron 2 envases de volumen conocido con una válvula de control y paletas giratorias accionadas por un motor para evitar la sedimentación.

2.3.2 Diseño del lombrifiltro

Se realizó un modelo experimental basado en los criterios de diseño más representativos: la tasa de riego y el tiempo de retención hidráulico, con el fin de asegurar la sobrevivencia de las lombrices y el soporte adecuado para el desarrollo del sistema.

Para poder analizar la efectividad de la utilización de la especie *Eisenia Foetida*, se desarrolló en paralelo, el bosquejo de un filtro de control con las mismas características del sistema Tohá y bajo iguales condiciones de operación, considerando la ausencia de lombrices para determinar la eficiencia de estos.

Para el bosquejo del sistema Tohá se consideró la Ecuación 2.4 sobre la tasa de riego máxima, en la cual se antepuso el valor del área y se asumió una tasa de $1 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \text{ día})$.

$$Tr = \frac{Q}{A} \leq 1 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{día}}$$

Ecuación 0.4. Tasa de riego (Salazar Miranda, 2005)

Donde:

Q : ($\text{m}^3/\text{día}$) caudal

A : (m^2) área útil del lombrifiltro

Tr : ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$) tasa de riego

El lombrifiltro fue diseñado con diversas capas filtrantes: tierra con lombrices, aserrín, grava y piedra bola. Cada estrato tuvo diferentes dimensiones como lo menciona Caicedo (2017) en el que se recomienda entre el 60 a 70% de la parte biológica, 20% de la tercera y cuarta

capa de soporte. La altura de cada lecho fue definida por la Ecuación 2.5 con base en la altura útil disponible de un envase adquirido.

$$hs = \frac{E \cdot H}{100\%}$$

Ecuación 0.5 Altura de estrato (Caicedo Campoverde, 2017)

Donde:

- E : (%) estrato asumido
- H : (cm) altura útil del lombrifiltro
- hs : (cm) altura de cada estrato

Para, el diseño del filtro de control se consideró las mismas medidas obtenidas en el diseño del lombrifiltro, no obstante, se omitió la adición de tierra y lombrices, para evaluar su eficiencia en el tratamiento, como se observa en la Figura 3. Además, se tomó en cuenta el número de lombrices acorde al caudal tratado y su relación con el tiempo de retención y tasa de riego recomendados por bibliografía.

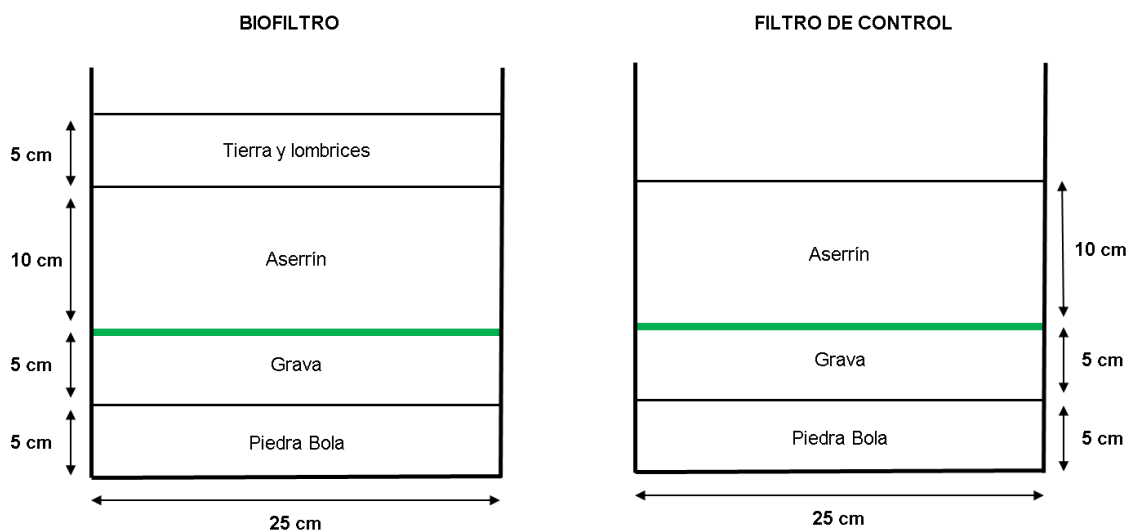


Figura 3. Esquema lombrifiltro y filtro de control

Por otra parte, el tiempo de retención hidráulica se determinó con la Ecuación 2.6, para lo cual se consideró un porcentaje de porosidad promedio, tomando en cuenta que siempre varía entre un 60% y 74% (Bravo Marinni, 2019). Debido a que el afluente necesita estar en contacto con las lombrices para la reducción de la materia orgánica, se estableció un tiempo de retención óptimo de 6 h y un mínimo de 2 h, con base en la duración requerida que varía entre 3 a 10 horas (Sinha, Bharambe, & Bapat, 2007), además se consideró la humedad adecuada para el desarrollo de las lombrices.

$$TRH = \frac{p \cdot Vs}{Q}$$

Ecuación 0.6. Tiempo de retención hidráulica (Bravo Marinni, 2019)

Donde:

p : (67%) porosidad del medio

V_s : 0.005625 (m³) volumen de tierra donde se encuentran las lombrices

Q : (m³/h) caudal del afluente que atraviesa el biofiltro

TRH : (h) tiempo de retención hidráulica

2.3.3 Adaptación del sistema

Para la adaptación de la especie *Eisenia Foetida* se incorporó en un recipiente de 20 L una capa de tierra la cual antes había sido utilizada para compostaje, en la que se añadió las lombrices con trozos de sandía y hojas secas. A continuación, se regó de manera manual agua residual de la empresa Grupo Rossi, por un periodo de 8 días hasta su disposición en el lombrifiltro.

Una vez adaptadas las lombrices se construyó el sistema Tohá con base en el diseño experimental propuesto, para lo cual se implementaron los siguientes materiales: estratos, 2 envases cúbicos de plástico, malla *raschel*, 4 envases cilíndricos, motores, tubería de PVC y accesorios. Con la finalidad de simular su uso a escala real, los prototipos fueron compuestos de diferentes sistemas, los cuales se describen a continuación.

- **Sistema de homogenización**

Se utilizaron 2 envases cilíndricos de capacidad de 16 L para alimentar el filtro de control y el lombrifiltro por gravedad. Para fines de la simulación se implementaron paletas en los recipientes de homogenización a partir de la utilización de motores y hélices plásticas, con el objetivo de impedir la sedimentación y airear las muestras para bajar la concentración de la DBO₅ y DQO, previo al sistema Tohá.

- **Sistema de distribución del agua residual**

Se instaló una válvula de control a los tanques de homogenización para controlar las variaciones de caudal. Además, se utilizó un canal abierto perforado en los extremos de la superficie para dispersar el agua residual, adicional se distribuyó el efluente en las zonas secas con ayuda de una jarra. El sistema de alimentación fue continuo y mediante goteo para evitar la inundación y colapso del sistema.

- **Sistema de biofiltración y aireación**

El lombrifiltro y filtro de control fueron construidos acorde al diseño propuesto. La piedra bola y la grava fueron lavadas previo a su uso, debido a la presencia de arena, que de no ser removida podría llenar los espacios porosos y disminuir la capacidad de tratamiento. Además, se colocó dos capas de malla *raschel* para evitar la mezcla de la grava y aserrín.

Para proporcionar aireación en las partes más bajas de los filtros se utilizó una tubería de 35 cm de altura, perforada cada 3 cm y diámetro de 2 pulgadas (5,1 cm externo y 4,7 cm interno). En el lombrifiltro se colocó una capa de viruta gruesa y aserrín fino, también se cernió la tierra antes de colocar las lombrices, para evitar la colmatación por sólidos gruesos. Antes de la puesta en marcha se contabilizó el número de organismo vivos.

- **Salida y almacenamiento**

Para la recolección del agua filtrada se utilizó una tubería de 5 cm de diámetro, en el fondo de la superficie conectada entre sí y perforada a ras de piso cada 2 cm, para facilitar la entrada del agua residual y su salida. El efluente fue recogido en un balde a la salida del sistema.

La Figura 4 indica los diferentes sistemas para el desarrollo del sistema Tohá y el filtro de control.

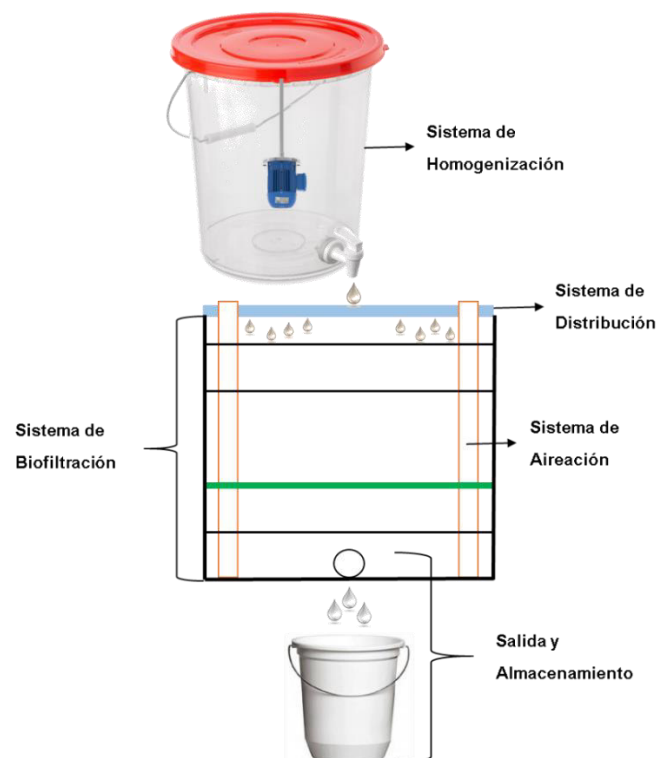


Figura 4. Sistemas del prototipo

2.4 Esquema Experimental

La ejecución de los prototipos se dio a temperatura ambiente y bajo una cubierta para proteger el sistema de posibles lluvias. El filtro de control y lombrifiltro entraron en operación al mismo tiempo y bajo una alimentación continua por goteo con la finalidad de mantener la humedad óptima para el desarrollo y supervivencia de las lombrices, para lo cual se consideró las variables iniciales que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Variables iniciales

Variables	Valores	Unidades
Número de lombrices	400	unidades
Temperatura de agua	21	°C
pH	6	

En la ejecución del proyecto se consideraron diferentes caudales para determinar la eficiencia del tratamiento sin sobrecargar el sistema, además de las características adecuadas para la sobrevivencia de los organismos. Con el objetivo de no inundar el lombrifiltro se tomó en cuenta el número de lombrices que cohabitan en el estrato. El filtro de control trabajó con las mismas características a excepción de los gusanos.

Para evaluar el sistema Tohá en óptimas condiciones se desarrolló una variación de caudal cada 7 días bajo las mismas condiciones. Asimismo, se evaluaron dos variaciones de gasto en las características no apropiadas de los prototipos, para determinar la reacción de las lombrices en el lecho, así como la eficiencia en la remoción de la DQO, nitritos y nitratos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización del agua residual de Grupo Rossi permitió evidenciar la necesidad de implementar un tratamiento biológico, debido a la presencia de materia orgánica en exceso con referencia a lo establecido en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) para descarga al alcantarillado, y la relación de la DBO₅ y DQO que confirman que el afluente es biodegradable. Asimismo, los resultados previos al funcionamiento del lombrifiltro, dan una idea de la problemática de las grasas y aceites en los sistemas. En un inicio, se puede determinar la eficiencia del sistema Tohá en las condiciones óptimas, debido a la remoción de un 81% de la DQO, y más del 90% de nitritos y nitratos. Sin embargo, la eficacia depende del TRH y las condiciones de los prototipos.

A continuación, se presentan de una manera ordenada los resultados obtenidos para una mejor comprensión.

3.1 Caracterización del efluente y obras anexas

Tras una visita técnica, se constató que el afluente residual en la fabricación de los productos, en conjunto con el agua lluvia de la fábrica, es conducido por una tubería y ocho pozos de revisión conectados entre sí, hacia el exterior de la instalación. Estos elementos se conectan a un vertedero abierto, seguido de un pozo de mayor tamaño y termina con un orificio expuesto antes de unirse por tubería al sistema de alcantarillado público. Cabe recalcar que todas las obras hidráulicas para el agua residual de Grupo Rossi son empíricas, motivo por el que no se cuenta con planos estructurales o estudios, esto ha causado problemas con las grasas, que se quedan entre las conducciones y demás estructuras ya mencionadas.

La cantidad real total de agua vertida al alcantarillado era desconocida, razón por la que se realizó un análisis del volumen de efluente residual durante el periodo de operación de la fábrica, es decir, de martes a sábado a partir de las 9h00 hasta las 16h00 y lunes de 6h00 hasta las 16h30, debido a que los domingos no se opera la planta y se compensa las horas de trabajo el día siguiente. La medición del caudal se desarrolló por método volumétrico y comparación de resultados por la repetición del proceso, con el objetivo de determinar la variación de volumen de agua en el tiempo de operación, para el dimensionamiento de un tanque de homogenización y la toma de muestras representativas.

Para la caracterización del afluente y ante la falta de información de la variación del caudal en la empresa Grupo Rossi se desarrolló una curva de variación del gasto del agua residual

que se muestra en la Figura 5. Los datos se obtuvieron a través de la medición *in situ* del flujo por método volumétrico en los días de operación de la fábrica.

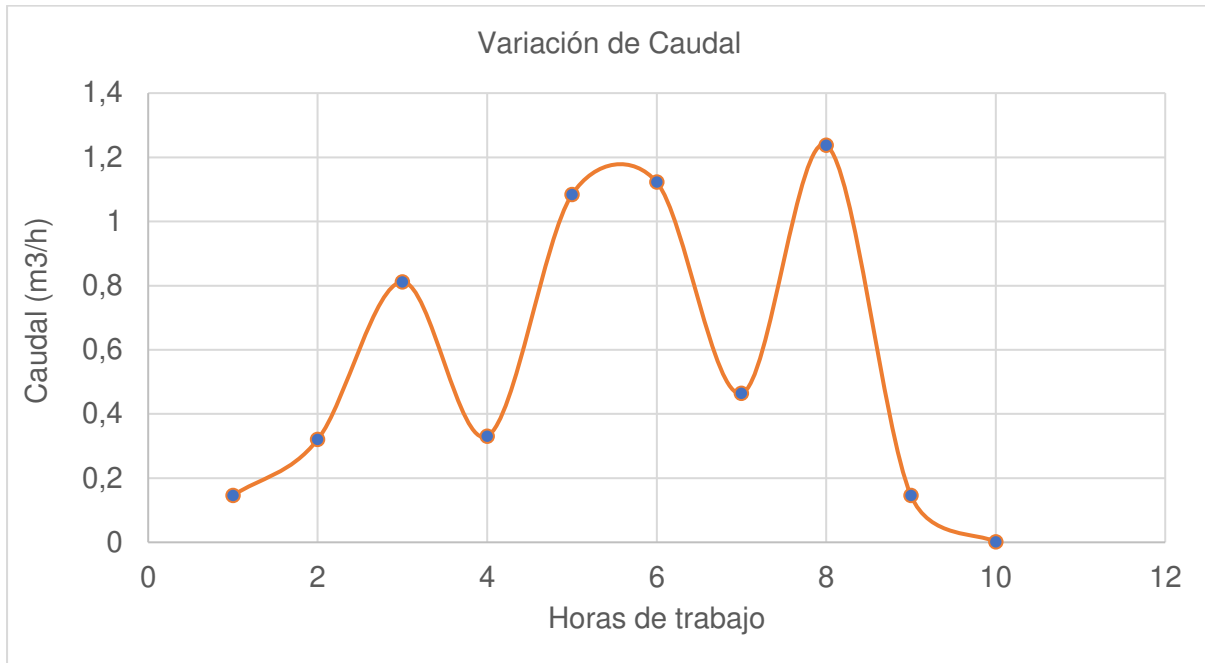


Figura 5. Curva de variación de caudales

Las variaciones de caudal a lo largo de la operación de la fábrica muestran la necesidad de la implementación de un tanque de homogenización previo a un tratamiento biológico por las diferentes cargas contaminantes que deben ser amortiguadas. Además, debido a las diversas actividades productivas de la empresa, la implementación de esta estructura puede asegurar una regulación del pH y carga de la materia orgánica, con el fin de alcanzar un valor óptimo y constante para el tratamiento del afluente con el sistema propuesto.

Cabe recalcar que se espera que el caudal crezca progresivamente los lunes debido a que, a partir de las referencias de Grupo Rossi, la producción incrementa. Razón por la que se consideró un diseño circular con una altura de seguridad del 20%. El diseño total del tanque de amortiguamiento se puede observar en el Anexo 3.

Además, el conocimiento sobre el volumen de agua residual y su variación permitió determinar la naturaleza de la muestra, para asegurar su representatividad y garantizar una caracterización fiable. En la Tabla 4 se aprecian los resultados finales de los análisis realizados al agua residual de Grupo Rossi.

Tabla 4. Resultados del efluente residual de Grupo Rossi

Parámetro	Valores hallados	Unidades
Aceites y grasas	246.40	mg/L
Conductividad	2.91	mS/cm
Color Aparente	> 500	PtCo
Coliformes Totales	> 1600	NMP/100 mL
DQO	2 175	mg/L
DBO ₅	2 300	mg/L
Fosfatos	16	mg/L
Hierro	3.8	mg/L
Manganeso	4.47	mg/L
Nitratos	63	mg/L
Nitritos	170	mg/L
Nitrógeno Total Kjeldahl	11.90	mg/L
Nitrógeno Amoniacal	9	mg/L
OD	1.47	ml/L
pH	6.18	
Sulfatos	50	mg/L
SDT	1 860	mg/L
SST	326	mg/L
Temperatura	20.71	°C
Turbidez	> 1000	NTU
Tensoactivos	0.50	mg/L

La DBO₅ y DQO en comparación a la Tabla 11 establecida en la normativa TULSMA (Ver Anexo 4), confirma la sospecha de una alta concentración de materia orgánica en el efluente, razón por la que se comprobó el nivel de biodegradabilidad a partir de la Ecuación 3.1, obteniendo un valor menor a 2.5, lo que asegura la aplicación de un tratamiento biológico como el sistema Tohá, con el fin de remover el excedente de sustrato para su descarga segura al sistema de alcantarillado.

$$\frac{DQO}{DBO_5} < 2.5$$

Ecuación 0.1. Condición de biodegradabilidad (Von Sperling, 2014)

Donde:

DQO : 2 175 (mg/L) concentración

DBO₅ : 2 300 (mg/L) concentración

Usando la Ecuación 3.1 se obtuvo

$$\frac{DQO}{DBO_5} = 0.94 < 2.5$$

De igual forma, los análisis de nitrógeno, sulfato y fosforo en el agua residual en comparación al Anexo 4 evidencian que los dos primeros se encuentran por debajo de la normativa al no sobrepasar los 40 mg/L y 400 mg/L respectivamente. Asimismo, en el caso del fosforo existe un ligero aumento. Por lo cual, los resultados de nutrientes aseguran el sustrato suficiente para la alimentación continua de los organismos vivos del sistema.

Por otro lado, los resultados de conductividad eléctrica, pH y temperatura, indican la necesidad de la creación de un tanque de homogenización previo al sistema de lombrifiltro debido a que marcan valores óptimos para el desarrollo de las lombrices, considerando que los valores representados en la Tabla 4 pertenecen a una muestra compuesta que simula los posibles resultados de la igualación de cargas en un tanque de amortiguación. Cabe mencionar que la conductividad eléctrica no consta dentro de la normativa y los valores de pH y temperatura son adecuados para la descarga al alcantarillado público.

Sin embargo, la elevada concentración de grasas y aceites que revelan los análisis y la realidad de la empresa, hacen imprescindible la utilización de una trampa de grasas previo al tratamiento biológico con el fin de evitar problemas de colmatación en el lecho del sistema Tohá y su deficiencia por la muerte de las lombrices. Cabe mencionar que este parámetro sobrepasa los 100 mg/L establecidos en la normativa, por lo que es necesario bajar la concentración para la descarga.

Asimismo, los valores de color aparente y turbiedad se encuentran fuera del rango de medición, por lo que se deduce que el afluente posee un alto contenido de materia suspendida, lo mismo que corrobora los resultados de sólidos suspendidos y disueltos totales. Además, el oxígeno disuelto a pesar de no constar con un valor determinado en la normativa representa uno de los parámetros más importantes para la determinación de la calidad de agua, por lo cual, se puede considerar que valores menores a 2 ppm reflejan que el agua no puede sostener vida acuática, razón por la que se deduce que el líquido vital no debe ser descargado directamente en cuerpos hídricos (Peña, 2007).

Con base al Anexo 4 se puede identificar que los resultados obtenidos en los parámetros del hierro y manganeso, así como de los tensoactivos están dentro de los límites permitidos

con bajas concentraciones. La presencia de estos elementos se debe en gran medida por los productos de limpieza empleados en los procesos productivos, los mismos que son implementados para cumplir los requisitos de salubridad, como norma del correcto funcionamiento y compromiso de Grupo Rossi con la sociedad.

De igual forma, se nota que existe una alta concentración de coliformes, lo que se asocia a la materia prima y a la exposición al aire libre de los conductos del afluente. De igual manera el parámetro no posee un valor dentro de la normativa, pero representa la calidad del agua a tratar.

3.2 Eficacia del sistema depurativo

Para el diseño y desarrollo del sistema Tohá se adoptó las medidas de un envase disponible en el mercado. Además, se consideró una altura de seguridad y recolección de humus de 5 cm. Las medidas del recipiente usado en el prototipo se indica en la Tabla 5.

Tabla 5. Dimensiones del lombrifiltro

Dimensiones	Medidas	Unidades
Ancho	25	cm
Largo	45	cm
Altura total	30	cm
Altura de seguridad	5	cm
Altura útil	25	cm
Área útil	5 750	cm ²
	0.575	m ²
Volumen útil	28 125	cm ³
	0.0281	m ³

Con base en las proporciones del envase, se calculó el caudal teórico máximo en el sistema con la Ecuación 2.4 asumiendo la tasa de 1 m³/ (m² día) para cumplir con las condiciones de diseño necesarias para la experimentación

Usando la Ecuación 2.4 se obtuvo:

$$Q = 0.575 \left(\frac{m^3}{día} \right)$$

A su vez, se utilizó la Ecuación 2.5 para determinar la altura de cada lecho en referencia con la altura total del envase y se consideró un 60% entre las lombrices y aserrín debido a la presencia de microorganismos propios de la viruta (Ver Tabla 6).

Tabla 6. Porcentajes y alturas de las capas del lombrifiltro

Estrato	Porcentaje	Altura	Unidades
Tierra y lombrices	20%	5	cm
Aserrín	40%	10	cm
Grava	20 %	5	cm
Piedra bola	20 %	5	cm

Para asegurar la eficiencia del sistema se verificó la completa adaptación de las lombrices al sustrato del afluente, para lo cual, se colocó en el primer estrato del sistema Tohá, algunos residuos orgánicos. Además, como medida de control se tomaron mediciones de pH y temperatura para asegurar las condiciones óptimas en el desarrollo de los organismos vivos. También se precauteló la humedad adecuada mediante la prueba del puño que consiste en tomar una cantidad del sustrato y apretarlo con el puño de una mano, para determinar la cantidad de agua, lo que resulta en un 80% de humedad si se desprende de 8 a 10 gotas (MMA, 2018).

Asimismo, las lombrices fueron contadas dando un número inicial de 400, previo al funcionamiento del lombrifiltro, cabe recalcar que se encontraban en fase exponencial ya que se observaron huevecillos, por lo que se puede decir que el sistema era adecuado para el tratamiento del agua residual de Grupo Rossi. A su vez, el modelo experimental se desarrolló bajo una cubierta, para poder precautelarlos de posibles lluvias y temperaturas altas, que podrían afectar la cantidad de líquido residual entrante, así como las condiciones de los organismos.

En cuanto al lombrifiltro y filtro de control se tomaron en cuenta los parámetros mencionados en la sección de metodología. Se usó la Ecuación 2.6 para determinar el caudal necesario a fin de cumplir con el tiempo de retención hidráulico antepuesto. Cabe mencionar que los dos primeros valores funcionaron en condiciones favorables a excepción de los últimos.

Para un tiempo de retención de 2 h se obtuvo:

$$Q = 0.00188 \left(\frac{m^3}{h} \right) = 45.12 \left(\frac{L}{día} \right)$$

Para un tiempo de retención de 6 h se obtuvo:

$$Q = 0.000628 \left(\frac{m^3}{h} \right) = 15.04 \left(\frac{L}{día} \right)$$

Para un tiempo de retención de 1 h se obtuvo:

$$Q = 0.004 \left(\frac{m^3}{h} \right) = 90.25 \left(\frac{L}{día} \right)$$

Para un tiempo de retención de 7.5 h se obtuvo:

$$Q = 0.0005 \left(\frac{m^3}{h} \right) = 12 \left(\frac{L}{día} \right)$$

Con base en los valores calculados usando la Ecuación 2.4 se obtuvo la tasa de riego necesaria para el funcionamiento del sistema y se aseguró que no sobrepasará el límite sugerido.

Para un caudal de 45.12 L/día se obtuvo:

$$Tr = 0.078 \left(\frac{m^3}{m^2 \cdot día} \right) < 1 \left(\frac{m^3}{m^2 \cdot día} \right)$$

Para un caudal de 15.04 L/día se obtuvo:

$$Tr = 0.026 \left(\frac{m^3}{m^2 \cdot día} \right) < 1 \left(\frac{m^3}{m^2 \cdot día} \right)$$

Para un caudal de 90.25 L/día se obtuvo:

$$Tr = 0.157 \left(\frac{m^3}{m^2 \cdot día} \right) < 1 \left(\frac{m^3}{m^2 \cdot día} \right)$$

Para un caudal de 12 L/día se obtuvo:

$$Tr = 0.020 \left(\frac{m^3}{m^2 \cdot día} \right) < 1 \left(\frac{m^3}{m^2 \cdot día} \right)$$

El lombrifiltro y filtro de control funcionaron acorde al diseño propuesto, para lo cual se recolectó el volumen de agua residual necesario dando paso a la fase de experimentación.

La muestra tomada para la puesta en marcha del sistema biológico se caracterizó por presentar un olor fuerte, sedimentos y turbiedad. Como resultado al elevado hedor del afluente inicial, asociado a la cantidad de grasas, se pudo observar la aparición de vectores

como moscas y otros insectos, además de que este factor se vio agravado debido a los días calurosos, lo que profundizó la fetidez del agua residual.

Una vez, puesto en marcha el lombrifiltro se pudo notar que durante los primeros días el efluente se tornó de color rojizo, este factor se repitió en el filtro de control, por lo que se deduce que la coloración se debe a la naturaleza del aserrín y su calidad. Pese a la coloración del líquido de salida, se hizo visible la notoria disminución de olor, turbidez y sólidos suspendidos.

En los siguientes días se pudo observar que el efluente fue perdiendo la tonalidad rojiza y en comparación a la muestra original tenía un mejor aspecto, cabe recalcar que estos factores están relacionados con el caudal y las condiciones de los prototipos, así como la acción de la especie *Eisenia Foetida*, que mediante sus movimientos migratorios permiten la aireación del sistema Tohá.

Para evaluar la efectividad del sistema se variaron los volúmenes de agua residual. En la Tabla 7 se muestran las variaciones reales de gasto, así como sus características antes del tratamiento. Es importante mencionar que se experimentó en condiciones óptimas y desfavorables.

Tabla 7. Variaciones de caudal y características del medio

Caudal	L/día	TRH (h)	pH	Temperatura (°C)	Condiciones de los prototipos
Q ₁	15	6	6	21	Buena
Q ₂	45	2	5	21.53	
Q ₃	12	7.5	5	20	Mala
Q ₄	90	1	6	19.23	

En la experimentación se pudo constatar que en el caso del lombrifiltro, el tiempo de retención se asemejaba bastante a la parte teórica. Sin embargo, en el filtro de control el TRH bajó drásticamente, saliendo de forma inmediata el efluente, por lo que se tuvo que modificar la alimentación de este, cambiando de un sistema continuo a uno discontinuo, para que los dos prototipos trabajen con la misma cantidad de sustrato. Cabe recalcar que se priorizó las condiciones de humedad necesarias, razón por la que no se trabajó con un caudal mayor de 90 L/día.

Durante el periodo de funcionamiento se pudo percatar que los arquetipos sufrieron de una colmatación que afectó los resultados de los análisis del efluente, y marcó las condiciones inadecuadas de operación, por lo que se necesitó de un mantenimiento. El colapso se dio

después de siete días de ejecución. Al realizar la limpieza se constató que las grasas y aceites se encontraban retenidas en los primeros estratos del lombrifiltro. En tanto que, en el fondo de los sistemas se observó que, en comparación con el filtro de control, había una ausencia de sebo. Por lo que se puede decir que el sistema falló debido a la concentración de adiposidad, que afecta directamente a la eficiencia del lombrifiltro e imposibilitan un tratamiento adecuado.

Pese al contenido de grasas y aceites que colmató el lecho, la reproducción de lombrices no se vio afectado, pasando de 400 individuos a 512, en dos semanas de tratamiento. En la operación de limpieza no se pudo observar organismos muertos, pero se constató la migración de los gusanos a las partes más bajas del sistema, sobre todo en la capa de aserrín, esto pudo haber ocurrido debido a que son animales fotosensibles y al crecimiento poblacional. Por lo que, para el diseño real de la fábrica se debe implementar una profundidad mayor de los dos primeros estratos, que de acuerdo con bibliografía se recomienda 30 cm, así como una eficiente separación entre las capas que contienen los organismos y el material de soporte.

También, se vio que, los gusanos son afines al sustrato lácteo debido a que, en el mantenimiento del sistema se observó que las lombrices no consumieron el restante de materia orgánica que se colocó en el inicio de operación, razón por la que se sospecha que este factor también influyó en los resultados finales de laboratorio. En concordancia con estos datos, se puede decir que el sistema de lombrifiltro funcionó en una etapa de crecimiento, debido a la cantidad de materia orgánica disponible, lo que podría asegurar el tratamiento de un mayor gasto a nivel real, considerando las adecuaciones necesarias para evitar su colmatación y muerte. Al final de la experimentación se recogió el humus producido que abarco 4 kg, este material podría ser aprovechado en la agricultura o comercializado.

3.3 Calidad de agua tratada

Para evaluar el funcionamiento del lombrifiltro en el tratamiento del agua residual de Grupo Rossi se consideró parámetros como: la DQO, nitratos, nitritos y color aparente. Para lo cual, se tomó un caudal que duró siete días en los dos sistemas, tiempo en el que se observó una mejoría del agua residual, atribuido a la acción de los tanques de homogenización y la ausencia de colmatación del filtro.

En la Tabla 8 se observan los valores obtenidos de la caracterización en las condiciones adecuadas de los prototipos. Además, se aprecia que la DQO del lombrifiltro con respecto al filtro de control, sufre una disminución representativa, que se atribuye a la degradación de

las sustancias orgánicas del afluente por parte de las lombrices, debido a su funcionamiento como catalizadores biológicos que ayudan a acelerar las reacciones bioquímicas (Bravo Marinni, 2019).

Con respecto a las diferencias entre los resultados obtenidos, la mayor reducción de la materia orgánica se debe al aumento de la tasa de retención hidráulica, lo que da crédito a las afirmaciones de varios autores que atribuyen una mayor eficacia a un tiempo de retención de 6 horas (Lourenço & Nunes, 2017). Sin embargo, en el Q₂ aún es perceptible la disminución de los parámetros analizados, pese a que el tiempo de contacto del afluente con el estrato de lombrices es menor, esto se debe a las condiciones adecuadas del lombrifiltro.

En cuanto al color aparente es visible una disminución drástica que se comprobó debido al alcance de medición del equipo. Por lo que, se hizo visible una disminución de la turbiedad y es factible asegurar un descenso de la materia suspendida. En consecuencia, es posible afianzar la utilidad del medio filtrante para retener los sólidos gruesos y aportar a la generación de biopelícula en las zonas más bajas.

Tabla 8. Resultados del efluente en situación óptima

Caudal	TRH (h)	Parámetro	Lombrifiltro	Filtro de control	Unidades
Q ₁	6	Color aparente	247	382	mg/L
		DQO	410	685	mg/L
		Nitratos	0.9	0.1	mg/L
		Nitritos	0.006	0.001	mg/L
Q ₂	2	Color aparente	356	489	mg/L
		DQO	856	1141	mg/L
		Nitratos	3.6	2.1	mg/L
		Nitritos	1	0.004	mg/L

Por otra parte, la Ecuación 3.2 permitió calcular la eficiencia de los sistemas, para definir el porcentaje de remoción de los diferentes parámetros de la Tabla 8. Para lo cual se utilizaron los resultados de la caracterización del agua residual de Grupo Rossi, que se indican en la Tabla 4.

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \cdot 100$$

Ecuación 0.2. Porcentaje de eficiencia en remoción (Caicedo Campoverde, 2017)

Donde:

C_i : (mg/L) concentración inicial del afluente

C_f : (mg/L) concentración final del efluente

La eficacia de los sistemas desarrollados se indica en la Tabla 9. De acuerdo con los datos obtenidos, se evidencia un alto porcentaje de remoción de la DQO en el lombrifiltro que concuerda con el estudio de Orozco y Sánchez (2020), donde hace referencia de un alcance del 50% al 77% como se describe en la teoría. Además, se puede aseverar la efectividad del lombrifiltro para la remoción de este parámetro en los dos caudales propuestos, con una marcada diferencia entre Q_1 y Q_2 que se atribuye a la permanencia del afluente en el sistema.

Asimismo, se evidencia una disimilitud entre el sistema Tohá y el filtro de control, debido a la especie *Eisenia Foetida*, que potencian el aumento de microorganismos descomponedores beneficiosos tales como: protozoos, actinomicetos y fungís, que aceleran la descomposición de materia orgánica (Bravo Marinni, 2019). Por otra parte, llama la atención que el filtro de control logre una reducción significativa de la DQO, uno de los motivos de la eficiencia alcanzada con este prototipo, es el metabolismo de macro y microorganismos heterótrofos aerobios y anaerobios que producen una biomasa a partir de los compuestos orgánicos del agua, y favorece a las reacciones químicas de óxido reducción (Asthana, Kumar, & Sharma, 2017).

Tabla 9. Porcentajes de remoción

Caudal	Parámetro	Lombrifiltro	Filtro de control
Q_1	DQO	81.14%	68.50%
	Nitratos	98.57%	99.8%
	Nitritos	99.99%	99.99%
Q_2	DQO	60.64%	47.54%
	Nitratos	94.28%	96.66%
	Nitritos	99.41%	99.99%

Además, con base en los resultados de la Tabla 9, es notoria la alta eficiencia para disminuir nitritos (NO_2) y nitratos (NO_3), alcanzando una remoción cercana al 100%. Sin embargo, existe una diferencia entre la cantidad de nutrientes evaluados en función de la remoción de DQO. Los datos obtenidos reflejan la rápida disminución de la tasa de nitrificación con el aumento de la concentración de la DQO, por lo que se puede decir que la reducción de nutrientes está en función de la carga de materia orgánica tanto en el

lombrifiltro como en el filtro de control (CONAGUA, 2019). Las Figuras 5 y 6 muestran la relación de los parámetros en relación con los caudales experimentados.

Acorde a la Figura 6, existe una diferencia de la DQO entre el sistema Tohá y el filtro de control, el primero llega a un valor de 410 mg/L, en tanto que en la Figura 7 se replica similares condiciones llegando a una remoción de 856 mg/L. Cuando la Demanda Química de Oxígeno disminuye, NO_2 y NO_3 tienden a aumentar, bajando la eficiencia en el lombrifiltro a comparación de los resultados del prototipo de inspección. Esto se debe a la acción del metabolismo de las lombrices, que mediante sus excretas liberan nitrógeno (N) y fósforo (P) en la tierra, aumentando en pequeñas dosis la cantidad de nutrientes a tratar, cabe recalcar que las deyecciones son utilizadas por los microorganismos del medio para multiplicarse y actuar de forma simbiótica y sinérgica con los gusanos para acelerar la descomposición de materia orgánica (Bravo Marinni, 2019).

Del mismo modo, las bajas concentraciones de NO_2 y NO_3 , en el filtro de control está estrechamente relacionado con la capacidad del aserrín, como lo menciona Saboya Rios (2018), que afirma la conformación de iones en la viruta para disminuir nitrógeno. Asimismo, la utilización de este material para los biofiltros como el sistema Tohá, aporta mayor eficiencia en la remoción de contaminantes (Reyes, 2016). Por otra parte, la reducción de nutriente también se puede atribuir al desarrollo de bacterias nitrificantes en las partes inferiores de los sistemas, que, en combinación con las condiciones favorables de los prototipos, logra una reducción de la materia orgánica y valores bajos de nitrificado (CONAGUA, 2019).

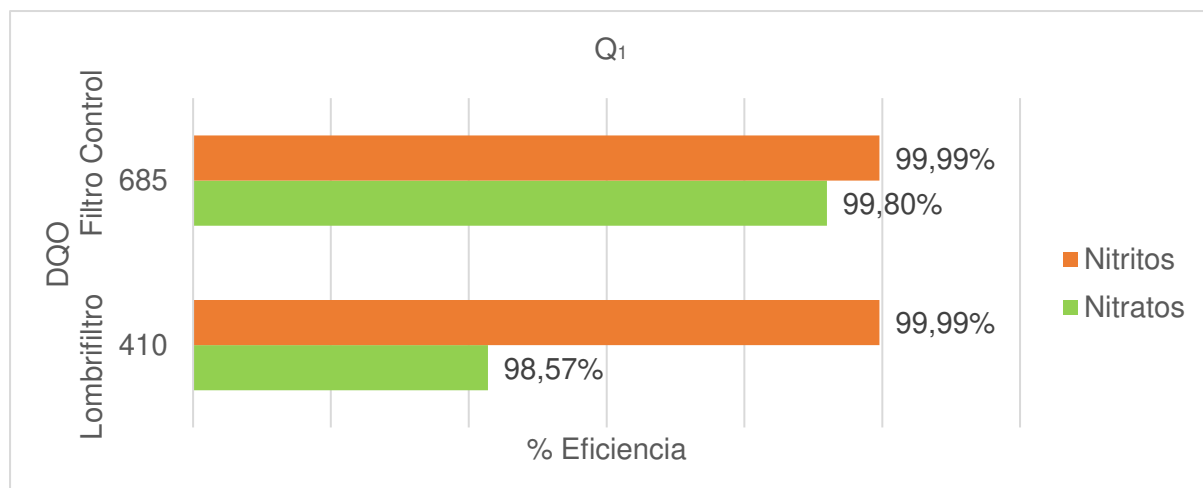


Figura 6. Relación entre la DQO, nitritos y nitratos con un gasto de 15 L/día

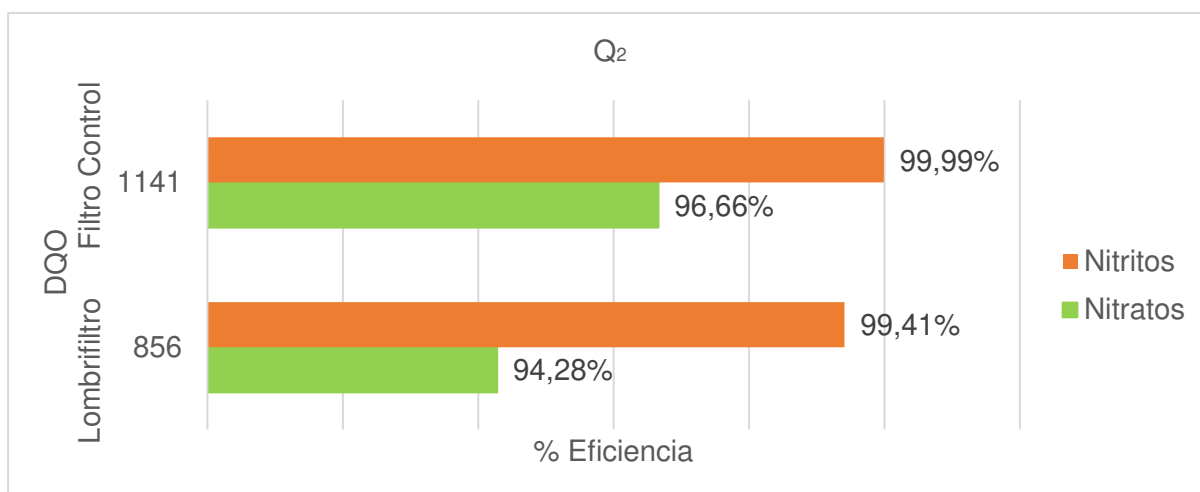


Figura 7. Relación entre la DQO, nitritos y nitratos con un gasto de 45 L/día

Tras el paso de Q_2 , se realizó la experimentación con dos volúmenes adicionales de afluente, con la finalidad de evaluar la eficiencia del lombrifiltro en situaciones no favorables. Los parámetros que se consideraron fueron iguales a los tomados para condiciones óptimas.

La Tabla 10 muestra la caracterización por caudal en circunstancias no adecuadas. Con base en los resultados obtenidos se nota un incremento de la DQO que supera los 2 175 mg/L del agua residual de Grupo Rossi. En tanto que, el color aparente no presentó ninguna variación significativa con respecto al sustrato de entrada, lo que fue sustentado con la medición fuera de rango del espectrofotómetro. Pese a estos factores no se presentó ningún sólido visible en la muestra de evaluación, y se mantuvo la reducción de nutrientes, así como, la eliminación del olor en el efluente. Este último, está asociado a la aireación de los prototipos, así como la porosidad del filtro que facilita la oxigenación y absorción.

Tabla 10. Resultados del efluente en condiciones desfavorables

Caudal	TRH (h)	Parámetro	Lombrifiltro	Filtro de control	Unidades
Q_3	7.5	Color aparente	> 500	> 500	mg/L
		DQO	2 210	2 840	mg/L
		Nitratos	10	3	mg/L
		Nitritos	0.08	0.05	mg/L
Q_4	1	Color aparente	> 500	> 500	mg/L
		DQO	4 350	4 760	mg/L
		Nitratos	50	34	mg/L
		Nitritos	95	80	mg/L

La permanencia de color aparente en el efluente nota la presencia de coloides que si bien, son imperceptibles, dan idea del deterioro del tratamiento en comparación a los datos de la Tabla 8. El estado erróneo de los arquetipos puede deberse a varios factores, en el que se destaca la cantidad de grasas y aceites. Al no existir un desengrasado adecuado previo a los filtros, el líquido emulsionado causa una colmatación rápida en las primeras capas de los prototipos y afecta a la eficiencia del tratamiento.

En los resultados presentados, llama la atención la elevación de la DQO, tanto para el sistema Tohá como para el filtro de control. El incremento de los valores de este parámetro está estrechamente relacionado con la cantidad del líquido, malas condiciones de los prototipos, las concentraciones de grasas y aceites que se retuvieron previamente en las condiciones óptimas.

En primer aspecto, la DQO se elevó por la presencia de materia orgánica no degradada que se incorporó al inicio de la experimentación, además del desprendimiento de las grasas y aceite de los estratos, que al salir del sistema elevan los resultados finales. Lo último, se debe al proceso oxidativo al que se someten los lípidos por acción de la temperatura y el oxígeno (Santamaria, 2010). Además, el agente oxidante utilizado en la destrucción orgánica del proceso químico no reconoce entre materia orgánica e inorgánica, por lo que se puede deducir la presencia de este último.

Por otra parte, los resultados se agravan más por el aumento de caudal, razón por la que, en el Q₄ existe un incremento significativo, asociado a un tiempo de retención menor que Q₃. Con base en lo presentado es posible afirmar la influencia del TRH para variar los resultados finales de remoción.

Recíprocamente, la presencia de grasas y aceites en los sistemas, afectan la transferencia de oxígeno del agua a las células e interfiere con su desempeño dentro del tratamiento biológico aeróbico (Romero Rojas, 2009). Por consiguiente, es factible la formación de una capa superficial que impide la salida de gases como el dióxido de carbono (CO₂), lo que pone en peligro la supervivencia de la especie *Eisenia Foetida* en el sistema Tohá.

Las lombrices no tienen aparatos respiratorios especializados, pero necesitan de un intercambio de oxígeno y CO₂ que lo realizan mediante la piel (RAMÓN, 2014). De este modo, si bien no se registraron organismos muertos, la permanencia de lípidos en los estratos terminaría afectando directamente al crecimiento poblacional y se registraría una fase endógena, esto a su vez, produciría un colapso total del biofiltro e incrementaría los valores de la materia orgánica, así como la contaminación del afluente.

Adicionalmente, no se puede descartar definitivamente, la posibilidad de la presencia de lactosuero en el afluente, puesto que podría haber la existencia de este elemento en el agua residual que eleva la cantidad de materia orgánica, en especial el valor de la DQO, debido a que este tiene un alto contenido de proteína con valor biológico, así como lactosa y grasa de leche (Gil Zamora, 2007).

En la Tabla 11 se observan los porcentajes de remoción de nutrientes en las condiciones no óptimas de los sistemas. A pesar de los diversos problemas asociados a las grasas y aceites, se mantuvo una disminución de NO_2 y NO_3 .

Tabla 11. Porcentajes de remoción de nutrientes en condiciones desfavorables

Caudal	Parámetro	Lombrifiltro	Filtro de control
Q ₃	Nitratos	84.13%	95.24%
	Nitritos	99.95%	99.97%
Q ₄	Nitratos	20.63%	46.03%
	Nitritos	44.12%	52.94%

Las Figuras 8 y 9, representan la variación de la eficiencia en la remoción de nitritos y nitratos en contraste con los valores de DQO obtenidos por cada gasto. En comparación con los datos analizados en las condiciones de trabajo óptimas de los prototipos, es visible el mantenimiento de la relación inversamente proporcional entre la demanda química de oxígeno con los nutrientes.

Cabe mencionar que, aunque la disminución de nutrientes se mantiene, en la Figura 9 se nota una disminución drástica de la remoción de nitratos y nitritos, una de las razones se debe a que los resultados presentados corresponden al mayor caudal experimentado. Por eso, aunque el volumen de agua permitió una remoción parcial, no se recomienda sobrecargar el filtro, debido a que el tiempo de contacto disminuye y no se produce un tratamiento eficiente.

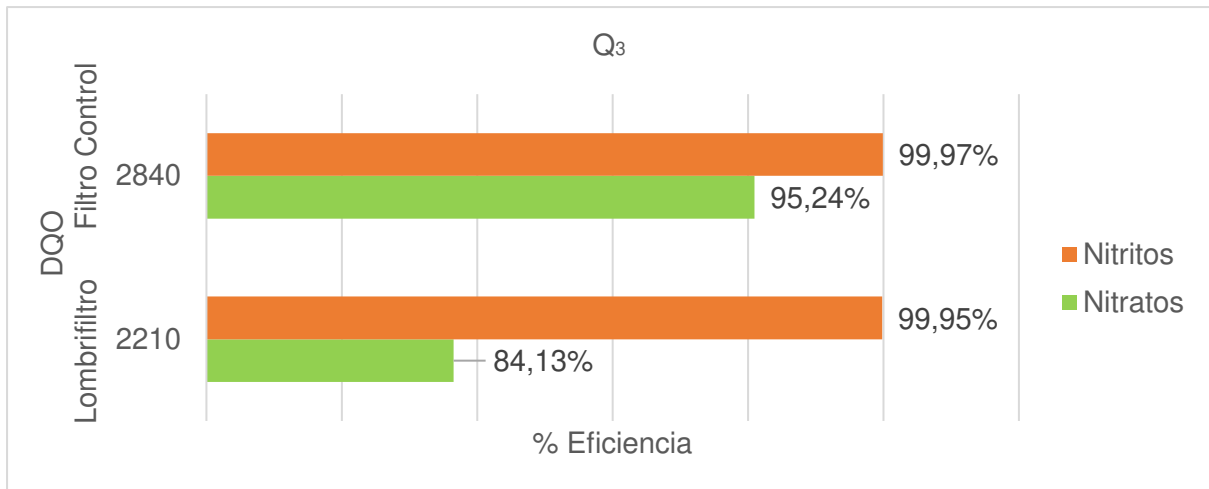


Figura 8. Relación entre la DQO, nitritos y nitratos con un gasto de 12 L/día

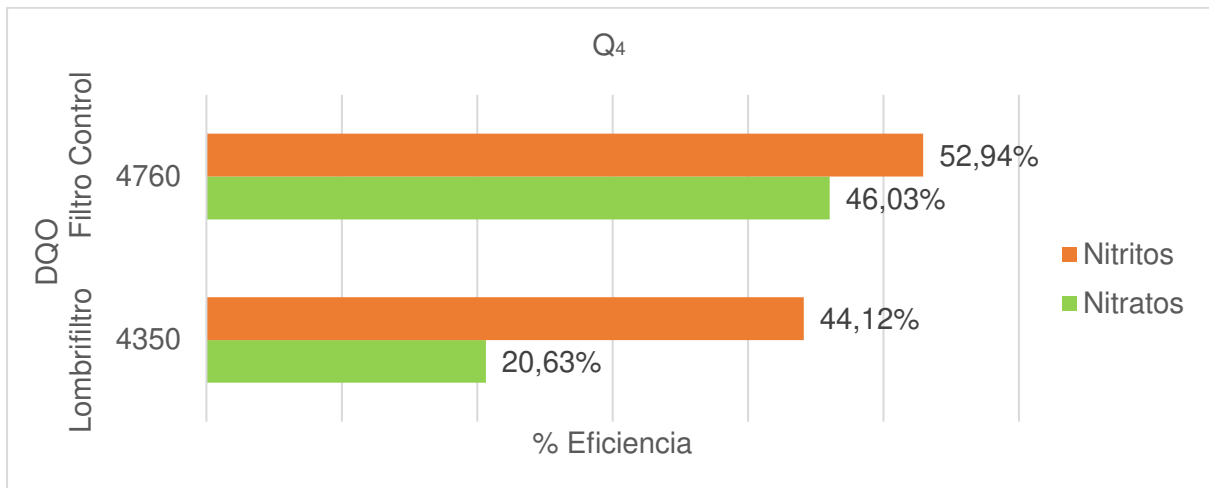


Figura 9. Relación entre la DQO, nitritos y nitratos con un gasto de 90 L/día

La remoción de NO_2 y NO_3 se evidencia tanto en condiciones favorables como desfavorables en los prototipos experimentados. Sin embargo en los cuatro casos es notoria la eficiencia para la remoción de los primeros. Esta diferencia se debe a la capacidad de bacterias oxidantes que pasan el nitrito a nitrato de acuerdo con el ciclo del nitrógeno.

No obstante, es necesario mencionar que los resultados obtenidos de DQO en los tres últimos caudales experimentados no entraron dentro de los límites máximos permisibles de la normativa, a excepción del primero con un valor de 410 mg/L. Mientras que los nitritos y nitratos del caudal Q1 y Q2 si entraron dentro de la misma, a diferencia de los caudales Q3 Y Q4.

3.4 Comparación con un tratamiento convencional

Debido a la presencia de materia orgánica biodegradable en el agua residual de Grupo Rossi, es necesario la implementación de un tratamiento secundario. Sin embargo, se deben considerar las fallas obtenidas en la experimentación por la ausencia de un desengrasado, por lo que es necesario implementar mecanismos primarios que permitan la eliminación de grasas y aceites, así como de algunos sólidos gruesos que podrían acelerar los procesos de colmatación en el lombrifiltro.

Por otra parte, debido al espacio disponible deben ajustarse los sistemas de depuración a la realidad de la empresa. Actualmente Grupo Rossi cuenta con pozos de revisión que, si bien están conectados unos a otros, necesitan de un mantenimiento periódico por los lípidos que van obstruyendo las tuberías y dificultan el paso continuo del líquido. Cabe notar que, existe una retención mínima de grasas y aceites entre las conducciones, pero no representan las condiciones adecuadas para la disminución de este factor. Para el funcionamiento adecuado de un tratamiento biológico y las características del agua a tratar, se debe priorizar el diseño de una trampa de grasas.

En la actualidad existen diversos tratamientos biológicos adecuados a las condiciones del afluente, ya sean aerobios o anaerobios. En comparación con otra propuesta para Grupo Rossi como es la aplicación de microorganismos eficientes (EM) con aireación, se pueden deducir algunas ventajas y desventajas del sistema Tohá.

En la Tabla 12 se aprecian la comparación entre los dos sistemas propuestos a la empresa. Cabe mencionar que existen otros tratamientos que podrían facilitar la disminución de los parámetros, por lo que la decisión de la implementación es propia de la fábrica.

Tabla 12. Comparación entre EM y Sistema Tohá

Factores	EM	Lombrifiltro
Área requerida	Se necesita de mayor área disponible para mantener las condiciones aerobias y el tiempo de retención con el fin de lograr un tratamiento eficiente.	Puede ajustarse al área disponible, siempre y cuando se priorice el TRH adecuado para el trabajo de la lombriz roja californiana.
Remoción de materia orgánica y nutrientes	Presenta una mayor eficiencia en la remoción de DQO, NO ₂ y NO ₃ .	En comparación con los EM, el lombrifiltro no alcanza una alta remoción de DQO, en tanto que es factible en el tratamiento de nitritos y nitratos.
Tratamientos	Puede operar en la situación	Se recomienda un desengrasado para

Factores	EM	Lombrifiltro
Adicionales	actual de la empresa, con la adición de un tanque de homogenización. Sin embargo, necesita de una remoción de lodos formados como producto del tratamiento.	asegurar el correcto funcionamiento del sistema Tohá, así como de un tanque de homogenización para regular la carga contaminante. El biofiltro proporciona de humus de lombriz que reemplaza a los lodos comunes y puede ser comercializado.
Consumo energético	Necesita de un sistema de aeración mecánica para precautelar el medio aerobio.	No es necesario de un sistema de aeración mecánica, pero en el caso que no se pueda ocupar una alimentación a gravedad se necesitará instalar bombas de impulsión.
Operación y mantenimiento	Se necesita mantener un tiempo de retención mayor para la remoción de la materia orgánica, por lo que se debe cuidar de vectores. Adicional, se debe mantener las condiciones adecuadas para los EM, considerando los factores ambientales.	Es necesario proveer de las condiciones adecuadas para la sobrevivencia de las lombrices, como: humedad, temperatura y pH. Asimismo, se recomienda una cubierta para proteger al sistema, así como el cambio de aserrín dependiendo de las condiciones del afluente y su colmatación. El humus debe ser removido periódicamente.

3.5 Análisis de costo-beneficio

A partir de la experimentación realizada se pueden detallar las dimensiones necesarias para la aplicación del sistema Tohá en Grupo Rossi. Para lo cual se aconseja un TRH de 6 horas, a fin de remover de materia orgánica y nutrientes. Asimismo, cabe mencionar que la implementación de una trampa de grasas previo al sistema propuesto puede beneficiar a la eficiencia del tratamiento y se podría disminuir el tiempo de retención acorde a las características del afluente.

En el Anexo 5 se indica la memoria técnica entregada a la empresa. Para la implementación del sistema Tohá se consideraron los resultados obtenidos de la experimentación: porcentajes por cada estrato, tasa de riego y tiempo de retención hidráulica en el que se obtuvo los mejores resultados. Además, se consideraron las actividades de mantenimiento.

En la Tabla 13 se presentan los costos directos asociados a la ejecución del proyecto acorde con la propuesta del Anexo 5, considerando que la estructura del sistema propuesto abarca un área superficial de 20 m², con un ancho de 2.65 m, considerando un metro de cada lado para movilidad, y 7.5 m de largo. Eventualmente los valores presentados dependerán de los proveedores y las necesidades de la empresa. En general, la implementación de un tanque de homogenización y cinco lombrifiltros para el trabajo en paralelo del caudal de la fábrica redondea un valor aproximado de \$ 9 000.

En consideración con los precios establecidos y un margen de incremento, se puede establecer que el sistema Tohá es una alternativa como tratamiento secundario, sin embargo, se debe dar premisa al problema de grasas y aceites, así como un tanque de homogenización, para que los lombrifiltros trabajen con mayor eficiencia.

Tabla 13. Precios asociados a la construcción del sistema Tohá en base a los rubros de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS)

Material	Unidad	Cantidad	Precio unitario en dólares	Precio total en dólares
Estructura del sistema				
Excavación a cielo abierto a máquina en tierra	m ³	9.2	3.19	29.42
Varillas grado interm. corr. 8,10,12 mm	qq	20	38.52	770.40
Encofrado/desencofrado columnas	m ²	2	17.95	35.90
Cadena de hormigón armado f'c=210 kg/cm ² (incl. encofrado/desencofrado)	m ³	1	435.34	435.34
Mortero cemento-cementina-arena 1:1:4	m ³	8	99.4	795.20
Malla electrosoldada 10.10	m ²	20	17.74	354.80
Contrapiso hormigón simple fc=210kg/cm ² - incl. piedra bola	m ²	20	14.01	280.20
Bloque alivianado 15x20x40 cm (material)	u	1 500	0.22	330.00
Enlucido vertical liso	m ²	37	10.67	394.79
Estructura complementaria y falso fondo				
Cubierta Eternit (incl. estructura de madera)	m ²	21	44.81	941.01
Perno d=3/4" x 1 1/2" (provisión y montaje)	u	100	1.33	133
Pasamanos tubo acero negro 2" (incl. parantes h=0.9m) y 3 largueros secundarios 1" (incluye instalación y pintura)	m	35	31.9	1 116.5
Rejilla varilla cuadrada 12mm y ángulo	m ²	3.5	68.13	238.45

Material	Unidad	Cantidad	Precio unitario en dólares	Precio total en dólares
(provisión y montaje)				
Escalera metálica de tubo hg 1" provisión y montaje (incl. pernos de anclaje)	m	1.7	57.52	97.78
Tuberías y accesorios				
Tubería PVC de ventilación 50 mm e/c (mat/trans/inst)	m	48	3.9	187.2
Tubería PVC 50 mm (mat/tran/inst) tubería para el afluente	m	13	4.62	60.06
Tapon PVC 50 mm (mat/tran/inst)	u	2	2.89	5.78
Válvula compuerta 02" b-b (mat/trans/inst)	u	2	149.37	298.74
Tubería PVC 110 mm desagüe (mat/tran/inst) tubería efluente	m	25	7.53	188.25
Codo PVC 110mm desagüe (mat/tran/inst)	u	2	6.68	13.36
Tee PVC 110 mm desagüe (mat/tran/inst)	u	3	5.26	15.78
Tanque de homogenización				
Tanque 100 L polietileno apilable (provisión e instalación)	u	1	24	24
Bomba para agua 1/2hp 1"x1" incluye tq. neopreno (provisión y montaje)	u	1	396.24	396.24
Costos asociados a la implantación de paletas	u	1	700	700
Capas del lombrifiltro				
Tierra abonada para jardines (provisión, colocado y mezcla en sitio)	m ³	1	11.91	11.91
Lombrices	u	58 000	0,017	986
Aserrín	m ³	2.5	5	12.5
Malla <i>raschel</i>	rollo	1	149	149
Grava en zanja de infiltración	m ³	1	21.57	21.57
Relleno con piedra	m ³	1	26.03	26.03
Costos Indirectos Incluidos	20%			
Costo Total	9 049.22			

Cabe mencionar que los arreglos adicionales que se requieran para la implementación del sistema sumarán costos extras que deben ser analizados por la empresa Grupo Rossi, a las necesidades y conveniencia de estos. Sin embargo, para el funcionamiento de este tipo de tratamiento es importante considerar una trampa de grasas que tendrá un valor adicional, y que deberá ser analizada antes de su ejecución.

Por otra parte, se deben considerar algunas acciones de mantenimiento, las cuales se mencionan a continuación:

- Determinar el riego en un lugar en concreto para que las lombrices migren a estas zonas húmedas, con el fin de realizar un mantenimiento en el área seca.
- Retirar de forma manual un porcentaje de la capa superior, en general se establece 5 cm.
- En el caso que se deba realizar un cambio del material, se distribuirá el nuevo estrato de forma homogénea.
- Se debe reemplazar los dos primeros estratos cada cierto tiempo, la duración del aserrín variará acorde a las características del afluente.
- Verificar el correcto funcionamiento de las válvulas que controlan el ingreso de agua.
- En el caso del sistema de aireación del lombrifiltro, se necesita revisar que no existan obstrucciones en la tubería perforada.
- Se debe realizar una inspección de todo el sistema para solucionar los posibles fallos, ya sea por colmatación, retiro del humus o reemplazo de los sustratos.

Adicional, a partir de la información presentada se pueden establecer algunos beneficios principales del lombrifiltro, como son:

- De no ser por la presencia de grasas y aceites, se puede deducir que el movimiento de las lombrices en los dos primeros estratos ayuda a disminuir la colmatación y a mantener un medio poroso que facilita la oxigenación.
- A comparación de tratamientos convencionales, el sistema Tohá no produce lodos comunes y a su vez sus deyecciones pueden ser ocupadas en la agricultura, por lo que este subproducto adquiere un valor comercial.
- El lombrifiltro constituye un método accesible con un bajo costo de implementación, por lo que es factible su construcción en pequeñas y medianas industrias lácteas.

- El sistema propuesto tiene una gran eficiencia en el tratamiento de aguas residuales biodegradables, por esta razón se logra una remoción alta de la DBO y DQO.
- Debido a la estructura del sistema propuesto y a que el funcionamiento del lombrifiltro se asemeja a los filtros percoladores, es factible el desarrollo de bacterias nitrificantes en las partes más bajas donde no hay una oxigenación adecuada que permite la remoción del nitrógeno.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- En la caracterización de la descarga de Grupo Rossi se pudo constatar una alta cantidad de contaminantes, entre los que se destaca el contenido de grasas y aceites que interfieren en los métodos biológicos. De igual manera se observa que los parámetros fuera de los límites permitidos están estrechamente relacionados a la materia orgánica y nutriente los cuales tienden a tratarse con tratamientos secundarios tal como el sistema Tohá.
- Dada la relación entre DBO₅ y DQO, se puede concluir que el afluente de Grupo Rossi es altamente biodegradable y no representa ningún riesgo para la sobrevivencia de microorganismos o lombrices de la especie *Eisenia Foetida*, siempre y cuando se controle la cantidad de grasa y aceites.
- De acuerdo con los parámetros analizados y habiendo llevado a cabo la depuración de agua residual de Grupo Rossi a través de un prototipo de lombrifiltro, se puede llegar a la conclusión que el sistema en condiciones óptimas tiene una eficiencia del 81% para remover la materia orgánica y más del 90% para nutrientes. Sin embargo, los resultados están estrechamente relacionados con el TRH.
- Los datos obtenidos tras el proceso de depuración notan de la presencia de bacterias nitrificantes que cohabitan con las lombrices y ayudan la remoción de nutrientes. Sin embargo, se mantiene una relación inversa a la DQO que se asocia a las deyecciones de la especie *Eisenia Foetida*.
- Se pudo constatar que en casos donde el afluente no posea como mínimo un proceso de desengrasado previo al lombrifiltro, ocasionará una colmatación del sistema, que puede llegar a dañar el tratamiento y producir la muerte de los organismos. De igual forma, es necesario la implementación de un tanque de homogenización para igualar las cargas contaminantes y propiciar las condiciones adecuadas para las lombrices.
- El sistema Tohá en comparación a otros tratamientos es mucho más accesible económicamente, remueve cierta cantidad de materia orgánica y puede adaptarse al tamaño que disponga la empresa siempre y cuando se diseñe en base al tiempo de retención hidráulica, además de su remplazo de lodos por humus. No obstante, el lombrifiltro es sensible a parámetros como: pH, humedad, grasas y aceites, los cuales pueden llegar a afectar el sistema y provocar más daños al efluente.

4.2 Recomendaciones

- Someter al afluente a un pretratamiento para la remoción de partículas gruesas como sólidos suspendidos, grasas y aceites. Los cuales pueden llegar a obstruir la tubería y colmatar el lombrifiltro.
- Experimentar con diferentes tiempos de retención para obtener el caudal más eficiente de acuerdo con las condiciones de la empresa.
- Implementar los prototipos a las condiciones climáticas de la empresa, para obtener datos más acertados sobre el funcionamiento del sistema Tohá.
- Realizar la construcción del sistema con una cubierta que proteja a las lombrices de posibles depredadores he impida el paso de agua lluvia que puede dañar el nivel de humedad necesario.
- Implementar lombrices maduras para que el proceso se ponga en marcha inmediatamente tras su construcción y llevar a cabo una revisión cada cuatro días para constatar que los individuos se encuentren en condiciones favorables que les permitan llevar a cabo su ciclo de vida.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asthana, M., Kumar, A., & Sharma, B. S. (2017). *Wastewater Treatment* (R. L. Singh, Ed.). Singapore: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-1866-4_6
- Bravo Marinni, M. A. (2019). *Diseño y evaluación del uso de lombrifiltro como alternativa al tratamiento de residuos líquidos industriales en el proceso de producción de carragenina* (Universidad del Bío-Bío). Universidad del Bío-Bío, Concepción. Recuperado de <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/3456>
- Caicedo Campoverde, J. A. (2017). *Diseño, construcción y evaluación de un prototipo biológico compuesto de Eisenia fetida y Agave filifera, para el tratamiento de aguas residuales en la granja del Ministerio de Agricultura, Acuacultura, Ganadería y Pesca, Riobamba 2015*. (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6321>
- Cárdenas, A. (2017). *Diseño y modelación de un sistema de alimentación para lombrifiltros*. GRIN Verlag.
- CIL. (2021, mayo 31). Centro de la Industria Láctea Ecuador. Industria láctea nacional: Con buen pronóstico para segundo trimestre de 2021. Recuperado 11 de julio de 2021, de Centro de la Industria Láctea website: <https://www.cilecuador.org/post/industria-láctea-nacional-con-buen-pronóstico-para-segundo-trimestre-de-2021>
- CONAGUA. (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseñado de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Procesos de Oxidación Bioquímica con Biomasa Fija* (Comisión Nacional del Agua, Vol. 34). México. Recuperado de <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro34.pdf>
- Durán, L., & Henríquez, C. (2009). CRECIMIENTO Y REPRODUCCIÓN DE LA LOMBRIZ ROJA (*Eisenia foetida*) EN CINCO SUSTRATOS ORGÁNICOS. *Agronomía*

Costarricense, 33(2), 275-281. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43613279011>

Gil Zamora, M. (2007). ReCiTeIA: Industrialización de Proteínas del Lactosuero *Revista. Colombia*, 7, 238.

Grupo Rossi. (2021). Gruppo Rossi—Formaggi e Latticine. Recuperado 11 de agosto de 2021, de <https://grupporossiecuador.com/>

Hernández Bórquez, Y. P. (2005). *ANTEPROYECTO DE CONSTRUCCIÓN PARA APLICACIÓN DE LOMBRICULTURA AL TRATAMIENTO DE PLANTA LLAU-LLAO DE SALMONERA INVERTEC S.A* (Universidad Austral de Chile). Universidad Austral de Chile, Valdivia Chile. Recuperado de <https://vdocuments.net/anteproyecto-de-construccion-para-aplicacion-de-lombricultura-al-tratamiento.html>

Hernández Rivera, J. (2016). *Propuesta para la implementación de planta tratadora de residuos líquidos en una empresa de lácteos* (Universidad Iberoamericana Puebla). Universidad Iberoamericana Puebla, Puebla. Recuperado de <https://repositorio.iberopuebla.mx/handle/20.500.11777/1488>

Homsí Auchen, J., & Alarcón Martínez, E. (2018). *Estudio de Soluciones Sanitarias para el Sector Rural* (Unidad de Saneamiento Sanitario, SUBDERE). Chile. Recuperado de <https://www.udocz.com/read/39785/estudio-de-soluciones-sanitarias-para-el-sector-rural-1>

Huiza Cayetano, J. K., & Ordoñez Cayetano, N. G. (2018). *EFICIENCIA DE LOMBRIFILTRO IMPLEMENTANDO LA TÉCNICA DE PARED CALIENTE EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DEL CENTRO POBLADO DE HUAYLACUCHO DEL DISTRITO DE HUANCVELICA - 2018* (Universidad de Huancavelica). Universidad de Huancavelica, Huancavelica. Recuperado de <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2429>

Lima Coronel, J. D. (2016). *Diseño, implementación y evaluación de un sistema de biofiltración con lombrices (eisenia foetida) para el tratamiento de aguas residuales*

- provenientes de la crianza de cerdos en la propiedad de la familia lima ubicada en el barrio playas la florida, cantón Yantzaza provincia de Zamora Chinchipe* (Universidad Nacional de Loja). Universidad Nacional de Loja, Zamora. Recuperado de <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/17588>
- Lourenço, N., & Nunes, L. (2017). Optimization of a vermifiltration process for treating urban wastewater. *Ecological Engineering*, 100, 138-146. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.11.074>
- Luque González, A. (2018). *LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE LAS INDUSTRIAS LÁCTEAS: EL CASO DE ECUADOR* (Pontificia Universidad Católica del Ecuador). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ambato. Recuperado de <https://repositorio.pucesa.edu.ec/handle/123456789/2605>
- Manrique Delgado, E. P., & Piñeros Castañeda, J. (2016). *Evaluación del sistema de depuración biológica a partir de lombrices de tierra (Eisenia Foetida) en aguas residuales procedentes de industrias lácteas a nivel laboratorio* (Fundación Universidad de América). Fundación Universidad de América, Bogotá. Recuperado de <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/578>
- Martínez Paucar, K. E., & Yugcha Carrera, F. J. (2018). *Diseño de una planta de tratamiento para agua de pozo en la industria láctea "Grupo Rossi"*. (Universidad Central del Ecuador). Universidad Central del Ecuador, Quito. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/15515>
- MAS, S. H. (2019). *Seguridad hídrica en Chile (MAS). MEDIDAS, ACCIONES Y SOLUCIONES*. Chile. Recuperado de <https://escenarioshidricos.cl/publicacion/mas-seguridad-hidrica-medidas-acciones-y-soluciones/>
- Mejía, A. P. (2016). *AGROFLOR Manual Lombricultura* (Agroflor Lombricultura). Chile. Recuperado de <http://agro.unc.edu.ar/~biblio/Manual%20de%20Lombricultura.pdf>
- Metcalf & Eddy, INC. (1995). *Ingeniería de aguas residuales, Volumen 1, 3ra Edición*. Recuperado 24 de agosto de 2021, de <https://www.academia.edu/> website:

- https://www.academia.edu/35963101/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales_Volumen_1_3ra_Edici%C3%B3n_METCALF_and_EDDY_FREELIBROS_ORG_pdf
- Muradás, R. M. G., Bosque, P. M., Ortega, M. D. C. S., & Pintos, R. R. S. (2014). *Química: Serie Universitaria Patria*. Grupo Editorial Patria.
- Pérez Parra, J. A. (1981). *Manual de tratamiento de agua*. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2056>
- Quille Quille, L. (2018). *Microorganismos eficaces y lombrifiltro para la remoción de residuos lácteos de la planta quesera "La Bodeguilla – Valle de Moquegua"* (Universidad Nacional del Altiplano). Universidad Nacional del Altiplano, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/9483>
- RAMÓN, A. P., JOSÉ. (2014). *Compost de lombrices*. Mundi-Prensa Libros.
- Reyes, V. J. (2016). Determinación de la eficiencia del aserrín y la fibra de coco utilizados como empaques para la remoción de contaminantes en Biofiltros para el tratamiento de aguas residuales. *Enfoque UTE*, 7(3), 41-56. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n3.104>
- Romero Rojas, J. A. (2009). *Calidad del Agua* (3.^a ed.). Colombia.
- Saboya Rios, X. V. (2018). *Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas- Amazonas* (Universidad Peruana Unión). Universidad Peruana Unión, Lima. Recuperado de <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1123>
- Salazar Miranda, P. I. (2005). *Sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales | Tesis doctoral* (Universidad Austral de Chile). Universidad Austral de Chile, Chile. Recuperado de <https://www.aguasresiduales.info/idi/tesis-doctorales/sistema-toha-una-alternativa-ecologica-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-sectores-rurales>
- Santamaria, M. R. (2010). *Industria alimentaria. Tecnologías emergentes*. Univ. Politèc. de Catalunya.

- SENA. (2012). CALIDAD DEL AGUA & PROGRAMA DE CAPACITACIÓN Y CERTIFICACIÓN DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. *Sistema de Bibliotecas SENA*, 1(1). Recuperado de https://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/#
- Serrano, A. A., Sanz, L. G., Rodrigo, I. L., Gordo, E. G., Álvaro, B. G., & Brea, L. R. (2010). *MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN DE ENFOQUE EXPERIMENTAL*. 34. Recuperado de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55568285/Experimental-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1631690578&Signature=NhD65w0KZKSfRGpVwhn1B1juKZg5WDRKilag92LwJa8AVSBVcjCgxOiAUZnJ-9roVkbsaeGhK9H-cTm0S8w7Z3QbjUGz0-3VWiu1OZvezKpUOMp7qdvQZJgZqesxAM1IMvriLJZlcPznOycdha631wzSdgejNaB~26JNvCuQdZKNZ52Q~t3oeCJP10R-x2THitO9W7P5M2u8LIYMUxLujDYdzg1Ah240drMQeMYCbla1fgUe808IVUe6W2VKkFzRw9WLGXvQwh5AfK9yZ2AOEe62x095LHgLopAheWKIWCKekVDIbFi0ejoEaJaAC-5rOhXbGH8VWs6SbcUMgu3k2Q__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- Sinha, R., Bharambe, G., & Bapat, P. (2007). Removal of high BOD and COD loadings of primary liquid waste products from dairy industry by vermifiltration technology using earthworms. *Indian Journal of Environmental Protection*, 27. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/45812932_Removal_of_high_BOD_and_COD_loadings_of_primary_liquid_waste_products_from_dairy_industry_by_vermifiltration_technology_using_earthworms
- SUBDERE. (2009). *Manual de Soluciones de Saneamiento Sanitario para Zonas Rurales* (División de Desarrollo Regional&Departamento de Gestión de Inversiones, Vol. 1). Chile: Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo. Recuperado de <https://cupdf.com/document/manual-de-soluciones-de-saneamiento-sanitario.html>
- Toccalino, P. A., Agüero, M. C., Serebrinsky, C. A., & Roux, J. P. (2004). Comportamiento reproductivo de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) según estación del año y tipo de alimentación. *Revista Veterinaria*, 15(2), 65-69. Recuperado de <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/vet/article/view/2002>

- TULSMA LIBRO VI ANEXO 1. (2015). *NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA*. Recuperado de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
- UNTEC. (2016, noviembre 2). UNTEC - Programa de Descontaminación de Aguas. Recuperado 12 de julio de 2021, de <https://www.untec.cl/programas/61-sistema-toha.html>
- Villarreal Veloz, M. A. (2018). *Evaluación de materiales locales en la fabricación de filtros para el tratamiento de agua potable*. (Thesis, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Construcciones. Departamento de Ingeniería Hidráulica). Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Construcciones. Departamento de Ingeniería Hidráulica. Recuperado de <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/xmlui/handle/123456789/10173>
- Visvanathan, C., Trankler, J., Joseph, K., & Nagendran, R. (2005). *Vermicomposting as an Eco-tool in Sustainable Solid Waste Management* (Asian Institute of Technology). Anna University. Recuperado de <https://www.yumpu.com/en/document/read/20379558/vermicomposting-as-an-eco-tool-in-sustainable-solid-waste->
- Von Sperling, M. (2014). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento d esgotos* (4a.ed.). Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais.

ANEXOS

ANEXO 1: PLAN DE MUESTREO

Plan de Muestreo

Daniela.A. Lara; Lissette.G. Ruchi

Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Formación de Tecnólogos
Quito, Ecuador

INTRODUCCIÓN:

La recolección de las muestras depende de los procedimientos analíticos y los objetivos del estudio. Para la determinación de la calidad de agua en la empresa Grupo Rossi se requiere realizar la toma de muestras representativas en consideración con la metodología de análisis, con el fin de obtener valores reales y con un error mínimo. El volumen del efluente captado debe ser transferido al laboratorio para sus respectivos análisis, para lo cual se debe asegurar la conservación de las muestras con la finalidad de que se mantengan las características originales del efluente de análisis. Por último, se entregará la muestra a el analista encargado el cual procederá al respectivo análisis y la entrega de resultados.

OBJETIVOS DEL MUESTREO

- Obtener muestras representativas del efluente de análisis en la descarga, para establecer resultados confiables bajo las condiciones y precauciones de la captación del volumen de análisis.
- Asegurar el cumplimiento de condiciones y validez de las muestras hasta su entrega al laboratorio, así como la entrega de resultados de los parámetros de análisis.
- Determinar los parámetros de mayor cantidad en el agua residual para la comparación con la normativa, así como el cotejo con resultados después de la aplicación de microorganismos y lombrifiltro al efluente de análisis.

ALCANCE

El presente plan de muestreo se enfoca en la obtención de muestras en campo del efluente residual de la empresa Grupo Rossi para el análisis de parámetros que aportarán al desarrollo de la experimentación de métodos para disminuir la polución líquida de dicha empresa; así como el conocimiento de los valores de contaminación por diversos parámetros que ayudarán al desarrollo y discusión de resultados de la eficacia de la implementación de Microorganismos Eficaces y Lombrifiltro como tratamientos del fluente residual.

NORMATIVAS

- Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169:2013 Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras.

- Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2176:2013 Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo
- Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA) Libro VI Anexo 1

LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO Y DATOS GENERALES

La empresa Grupo Rossi se encuentra ubicado en la hacienda de Aychapichu cercana a la Panamericana Sur Km.32 Vía Machachi, en el cantón Mejía, provincia de Pichincha. A continuación, se presentan los detalles para la toma de la muestra.

Fecha de muestreo:	22/07/2021
Horario de muestreo (aproximada):	12h00-16h30
Transporte:	Privado
Técnicos responsables:	Daniela.A. Lara Lissette.G. Ruchi
Tipo de efluente:	Residual Lácteo

PREPARACIÓN DEL MUESTREO

- **TIPO DE MUESTRA**

Para fines de este plan y bajo los objetivos descritos se recogerán muestras simples y compuestas como se indica en la Tabla 1; se obtendrán 6 muestras pequeñas cada hora, acorde a la Tabla 2 para componer 1 muestra compuesta de 6.05 L.

Las muestras simples y compuestas serán utilizadas acorde a las características de los parámetros descritos en la Tabla 3.

Todas las muestras serán captadas de forma manual y bajo los criterios de seguridad, para la evaluación de los parámetros que se describen en este documento.

Tabla 1. Volumen de la muestra

Volumen total	7050 ml = 7.05 L
Volumen Muestra Simple	1000 ml = 1 L
Volumen Muestra Compuesta	6050 ml = 6.05 L

Tabla 2. Volumen de alícuotas de muestra compuesta

Horario	n	Q _i (m ³ /h)	Vi (ml)
9h00 a 10h00	1	0,14579276	172
10h00 a 11h00	1	0,320311262	377
11h00 a 12h00	1	0,81155501	956
12h00 a 13h00	1	0,3305	390
13h00 a 14h00	1	1,0836	1277
14h00 a 15h00	1	1,1224	1323
15h00 a 16h00	1	0,463968271	547
16h00 a 16h30	1	1,237945926	1459
Total	8	Volumen:	6050

- **PUNTOS DE MUESTREO**

1. Previo la descarga (Orificio expuesto)

- **PARÁMETROS DE MEDICIÓN**

Por el carácter del efluente residual se estima la presencia de materia orgánica y la presencia de microorganismos debido a la materia prima “leche” y procesos de refinería para la producción de quesos y otros derivados. Por lo que, se consideran los siguientes análisis.

- Aceites y grasas
- Color Aparente
- Conductividad
- Coliformes Totales
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)
- Fosfatos
- Metales: Hierro, Manganeseo
- Nitritos y Nitratos, Nitrógeno Total Kjeldahl, Nitrógeno Amoniacal
- Oxígeno Disuelto (OD)
- pH
- Sólidos Disueltos Totales (SDT)
- Sólidos Suspendedos Totales (SST)
- Sulfatos
- Temperatura

- Tensoactivos

PROCEDIMIENTOS GENERALES PARA LA TOMA DE MUESTRA

- Las muestras de agua deben ser homogéneas y representativas, durante la toma se debe evitar la alteración de las características del líquido de análisis.
- Los recipientes para la recolección de muestras deben estar secos y limpios, el material variará acorde a los parámetros de análisis.
- Antes de llenar los envases se deben enjuagar de 2 a 3 veces con el agua de análisis.
- Medir los parámetros *in situ* (pH, Temperatura, etc.) debido a la variación de propiedades del efluente.
- Comprobar el cerrado de los frascos para evitar la salida del líquido y la entrada de contaminantes externos a las muestras.
- Colocar los frascos correctamente tapados en el Cooler con hielo en la sombra mientras dura el muestreo y transportarlas lo antes posible al laboratorio.
- Las muestras deben estar en refrigeración (4-8°C) hasta el análisis de parámetros.

TRANSPORTE DE MUESTRAS

• RECIPIENTES PARA LA OBTENCIÓN DE LA MUESTRA

El material del envase depende en gran medida al análisis de parámetros a ejecutarse como se indica en la Tabla 3.

En principio, se plantea la utilización de un balde de polietileno esterilizado para la toma de la muestra con el fin de no afectar la representatividad de la muestra.

• INSTRUMENTOS DE PRESERVACIÓN DE LA MUESTRA

- 1 Cooler
- Bolsas de hielo
- Cinta masking tape
- Balde de polietileno para medición del caudal
- Jarra con medición

• REACTIVOS

REACTIVOS PARA MUESTRAS DE ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS

- Ácido Sulfúrico (H₂SO₄)

PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS DE MUESTREO

Tabla 3. Características propias por parámetro

Parámetro	Recipiente	Volumen mínimo de muestra (ml)	Tipo de muestra	Preservación	Almacenamiento máximo
pH	-	-	Simple	Análisis Inmediato	Multiparámetro
Temperatura	-	-	Simple	Análisis inmediato	Multiparámetro
Conductividad	-	-	Simple	Refrigerar	Multiparámetro
Oxígeno Disuelto	-	-	Simple	Análisis inmediato	Multiparámetro
Sólidos Suspendidos	Plástico	250	Compuesta	Refrigerar	Inmediato
DBO	Vidrio	1000	Compuesta	Refrigerar	Inmediato
Sulfatos	Plástico	300	Compuesta	Refrigerar	Inmediato
Métales (Hierro, Manganeso)	Plástico	1000	Compuesta	Refrigerar	Inmediato
Fosfatos	Vidrio	100	Compuesta	Refrigerar	Inmediato
DQO	Vidrio	200	Compuesta	Analizar lo antes posible o agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2; Refrigerar	Inmediato
Nitrato + Nitritos	Plástico	200	Compuesta	Refrigerar	Inmediato
Nitrógeno Amoniacal	Plástico	1000	Compuesta	Refrigerar	Inmediato
Nitrógeno Total Kjeldahl	Plástico	500	Compuesta	Refrigerar	Inmediato
Tensoactivos	Vidrio	1000	Compuesta	Refrigerar	Inmediato
Aceites y Grasas	Vidrio	1000	Simple	Refrigerar	Inmediato
Coliformes Totales	Vidrio Ámbar	300	Compuesta	Refrigerar	Lo antes posible
Muestra sin aditivo		6850 ml = 6.85 L			
Muestra con H ₂ SO ₄		200 ml = 0.2 L			
Muestra compuesta		6050 ml = 6.05 L			

Volumen total	7050 ml = 7.05 L
---------------	------------------

ACCESORIOS DE SEGURIDAD

- Mascarillas
- Guantes de Nitrilo
- Toallas de papel absorbente
- Zapatos adecuados

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN PORTÁTIL

Para determinar los parámetros *in situ* se planea la utilización de un Multiparámetro, debido a sus características, robustez y fácil manejo, lo que lo hacen ideal para mediciones en campo.

CADENA DE CUSTODIA

Las muestras del efluente de interés estas destinadas a los siguientes laboratorios para sus respectivos análisis.

1. Laboratorio de Tecnología Industrial de Agua y Saneamiento Ambiental en la Escuela de Formación de Tecnólogos (ESFOT)
2. Laboratorio privado CENTROCESAL Cía.Ltda.

La cadena de custodia termina con la entrega de resultado

ANEXO 2: RESULTADOS DE LABORATORIO CENTROCESAL



CENTRO DE SOLUCIONES ANALITICAS INTEGRALES
CENTROCESAL Cía. Ltda.
AREA MICROBIOLÓGICA

INFORME DE ENSAYO No.: 42078-01-23-08-21-M

Datos del cliente

Cliente: LARA DANIELA
Representante: Daniela Lara
Dirección: Libertadores
Teléfono: 984920298

Datos del ítem de ensayo

Identificación de la muestra: AGUA DE EMPRESA ROSSI
Descripción de la muestra: Líquido turbio amarillo con sólidos color café
Contenido declarado: 2000 mL
Conservación de la muestra: Refrigeración
No. Lote o código: NA
Fecha de elaboración: NA
Fecha de caducidad: NA

Datos de Muestreo, Recepción y Análisis

Responsable toma de muestra: Por el cliente
Responsable muestreo: NA
Referencia: Los resultados se aplican a la muestra tal cual como se recibió.
Parámetros acreditados muestreo: NA
Fecha toma de muestra: ND
Fecha de recepción: 2021-08-23 14:31:00
Fechas de ensayo: 2021-08-23 15:00:00
Fecha de reporte: 2021-09-01

Resultados analíticos: Pag.: 1 de 1

Cantidad de muestra analizada por método: 10,1 y 0,1 mL Fecha de lectura : 2021-08-24 AL 26

PARAMETRO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO	ESPECIFICACIONES
NMP Coliformes totales	POE 7.2.40 SM 9221 B Y C Número mas probable	NMP/100mL	> 1600	No declara

NMP: Número mas probable
< 10; < 3; < 1= ausencia de crecimiento en la menor dilución

SM: Standard Methods
POE: Procedimiento interno

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. SAE LEN 12-001
Los resultados marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

- Observaciones:
1. Responsable de análisis: MA
2. Especificaciones: Tabla 8 Límites de Descarga al sistema de alcantarillado público TULSMA Libro VI

Q.F. Andrea Cumba A.
CENTROCESAL Cía. Ltda.
RESPONSABLE DE SUPERVISION



- Notas:
ND: No declara
NA: No aplica
NOTA 1: Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas de este reporte.
NOTA 2: Los ensayos son realizados a temperatura ambiente excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales de temperatura y humedad no influyen en este análisis
NOTA 3: Muestras recibidas en el laboratorio e información de las mismas proporcionada por el cliente. CENTROCESAL Cía. Ltda. se responsabiliza únicamente de los análisis
NOTA 4: La declaración sobre la incertidumbre de medición, se puede solicitar al laboratorio y será información cuando el cliente lo requiera o cuando afecte a los límites de una especificación.
NOTA 5: El tiempo de permanencia de las muestras en el laboratorio corresponde a perecibles: 48 horas y no perecibles: 20 días desde la entrega del resultado.
NOTA 6: Todas las actividades son realizadas en las instalaciones del laboratorio excepto donde se especifique
NOTA 7: La declaración de conformidad está dada de acuerdo a la guía ISO 98-4
NOTA 8: Los datos suministrados por cliente y los requisitos de recepción de ítem de ensayo que afectan a la validez de los resultados serán declarados en observaciones
NOTA 9: Toda información que sea proporcionada por el cliente y que afecta a la validez resultados, es exclusiva responsabilidad de quienes las emiten y no representa responsabilidad para CENTROCESAL

ref.:POE:7.8.1 Rev.:04 Anexo 1

Este informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente, sin la autorización escrita del Laboratorio

Av. América N31-232 y Av. Mariana de Jesús
Telfs: (593 2) 2230342 / 2233792 Fax: Ext. 102 Celular: 099649872
e-mail: info@centrocesal.com / www.centrocesal.com
QUITO - ECUADOR



CENTRO DE SOLUCIONES ANALITICAS INTEGRALES
CENTROCESAL Cia. Ltda.
AREA QUÍMICA

INFORME DE ENSAYO No.: 42078-01-23-08-21-Q

Datos del Cliente

Cliente: LARA DANIELA
Representante: Daniela Lara
Dirección: Libertadores
Teléfono: 098 492 0298

Datos del ítem de Ensayo

Identificación de la Muestra: AGUA DE EMPRESA ROSSI
Descripción de la Muestra: Líquido turbio amarillo con sólidos color café
Contenido declarado: 2000 mL
Conservación de la Muestra: Ambiente
No. Lote o código: ND
Fecha de elaboración: ND
Fecha de caducidad: ND

Datos de Muestreo, Recepción y Análisis

Responsable toma de muestra: Por el cliente
Fecha toma de muestra: ND
Responsable muestreo: NA
Fecha de recepción: 2021-08-23
Referencia: Los resultados se aplican a la muestra tal cual como se recibió
Fechas de ensayo: 2021-08-23/09-01
Parámetros acreditados muestreo: NA
Fecha de reporte: 2021-09-01

Resultados analíticos: Pag.: 1 de 1

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	Lim Máx Permitido
Aceites y Grasas	POE: 7.2.50 EPA 1664A	mg/L	246,4 ± 7,32	Hasta 70 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	POE: 7.2.53 SM 5210	mg/L	2 300 ± 69	Hasta 250 mg/L
Detergentes aniónicos, MBAs Tensoactivos (SAAM)	POE: 7.2.55 SM 5540-C	mg/L	0,50 ± 0,03	Hasta 2,0 mg/L
Nitrógeno total *	SM 4500-N Kjedhal	mg/L	11,90 ± 0,71	Hasta 60 mg/L
Nitrógeno amoniacal *	SM 4500-N	mg/L	9,00 ± 0,54	No declara
Sólidos suspendidos totales	POE: 7.2.36 SM 2540-D	mg/L	326 ± 14	Hasta 220 mg/L

POE: Procedimiento Interno

SM Standard Method APHA (Método de Referencia)

Observaciones:

- Responsable de análisis: CA, RR, PT, HW
- Especificaciones: Tabla 8 Límites de Descarga al sistema de alcantarillado público TULSMA Libro VI
Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. SAE LEN 12-001
Los resultados marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

Q.F Andrea Cumba A.
CENTROCESAL C/a. Ltda.

RESPONSABLE DE SUPERVISION



CENTROCESAL Cia. Ltda.

Notas:

- ND: No declara NA: No aplica
- NOTA 1: Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas de este reporte.
- NOTA 2: Los ensayos son realizados a temperatura ambiente excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales de temperatura y humedad no influyen en este análisis
- NOTA 3: Muestras recibidas en el laboratorio e información de las mismas proporcionada por el cliente. CENTROCESAL Cia. Ltda, se responsabiliza únicamente de los análisis
- NOTA 4: La declaración sobre la incertidumbre de medición, se puede solicitar al laboratorio y será información cuando el cliente lo requiera o cuando afecte a los límites de una especificación.
- NOTA 5: El tiempo de permanencia de las muestras en el laboratorio corresponde a perecibles: 48 horas y no perecibles: 20 días desde la entrega del resultado.
- NOTA 6: Todas las actividades son realizadas en las instalaciones del laboratorio excepto donde se especifique
- NOTA 7: La declaración de conformidad está dada de acuerdo a la guía ISO 98-4
- NOTA 8: Los datos suministrados por cliente y los requisitos de recepción de ítem de ensayo que afectan a la validez de los resultados serán declarados en observaciones
- NOTA 9: Toda información que sea proporcionada por el cliente y que afecta a la validez resultados, es exclusiva responsabilidad de quienes las emiten y no representa responsabilidad para CENTROCESAL

fref.:POE:7.8.1 Rev..04 Anexo 1

Este informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente, sin la autorización escrita del Laboratorio

Av. América N31-232 y Av. Mariana de Jesús
Telfs: (593 2) 2230342 / 2233792 Fax: Ext. 102 Celular: 099649872
e-mail: info@centrocesal.com / www.centrocesal.com
QUITO - ECUADOR

ANEXO 3: DISEÑO TANQUE DE HOMOGENIZACIÓN

Tabla 14. Valores de caudal

Horario		#	t(min)	Q(m3/h)	Vi=Q*t(m3)	Vi acum(m3)
9	9:30	0	30	0,003052	0,09156	0,09156
9:30	10:00	1	30	0,003052	0,09156	0,18312
10:00	10:30	2	30	0,003169	0,09507	0,27819
10:30	11:00	3	30	0,003619	0,10857	0,38676
11:00	11:30	4	30	0,003619	0,10857	0,49533
11:30	12:00	5	30	0,004662	0,13986	0,63519
12:00	12:30	6	30	0,003619	0,10857	0,74376
12:30	13:00	7	30	0,004709	0,14127	0,88503
13:00	13:30	8	30	0,004709	0,14127	1,0263
13:30	14:00	9	30	0,004709	0,14127	1,16757
14:00	14:30	10	30	0,004173	0,12519	1,29276
14:30	15:00	11	30	0,00346	0,1038	1,39656
15:00	15:30	12	30	0,00346	0,1038	1,50036
15:30	16:00	13	30	0,004709	0,14127	1,64163
Total				0,054721	1,64163	11,72412

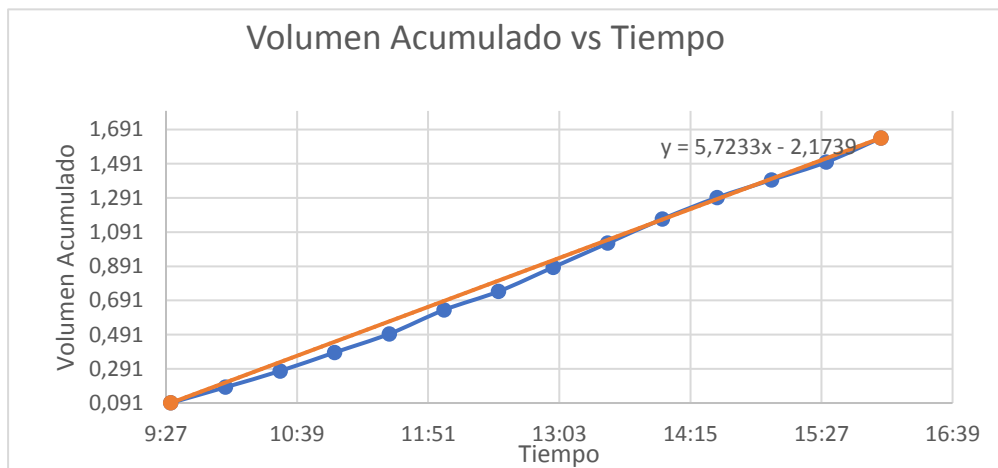


Figura 10. Gráfico caudal acumulado vs tiempo

Tabla 15. Dimensiones del tanque homogeneizador (Mendoza, 2015)

Parámetro	Medidas	Unidad
Volumen	80	L/día
Diámetros	50	cm
Altura	75	cm
Diámetro del agitador	30	cm
Diámetro del difusor	15	cm
Altura de agitador	50	cm
Potencia de la bomba	435	Watts
	0,6	HP

ANEXO 4: NORMATIVA TULSMA TABLA 11

Tabla 16. Tabla 11 de Límites de descarga al sistema de alcantarillado público (TULSMA LIBRO VI ANEXO 1, 2015)

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/L	100
Alkil mercurio		mg/L	No detectable
Ácidos o bases que puedan causar contaminación, sustancias explosivas o inflamables.		mg/L	Cero
Aluminio	Al	mg/L	5,0
Arsénico Total	As	mg/L	0,1
Bario	Ba	mg/L	5,0
Cadmio	Cd	mg/L	0,02
Carbonatos	CO ₃	mg/L	0,1
Caudal máximo		L/s	1.5 veces el caudal promedio horario del sistema de alcantarillado
Cianuro Total	CN ⁻	mg/L	1,0
Cobalto Total	Co	mg/L	0,5
Cobre	Cu	mg/L	1,0
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo (ECC)	mg/ mg/L L	0,1
Cloro activo	Cl	mg/L	0,5
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/L	0,5
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/L	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B. O ₅ .	mg/L	250
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/L	500
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/L	1,0
Fósforo Total	P	mg/L	15
Hierro Total	Fe	mg/L	25,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/L	20

Manganeso Total	Mn	mg/L	10,0
Materia flotante	Visible	mg/L	Ausencia
Mercurio (Total)	Hg	mg/L	0,01
Níquel	Ni	mg/L	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/L	40
Plata	Ag	mg/L	0,5
Plomo	Pb	mg/L	0.5
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Sólidos Sedimentables		ml/L	20
Sólidos Suspendedos Totales		mg/L	220
Sólidos Totales		mg/L	1600
Selenio	Se		
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/L	400
Sulfuros	S	mg/L	1,0
Temperatura	°C		<40
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	2,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/L	1,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/L	1,0
Sulfuro de carbono	Sulfuro de carbono	mg/L	1,0
Compuestos Organoclorados(totales)	Concentración de organoclorados totales	mg/L	0,05
Organofosforados y carbamatos (totales)	Concentración de organofosforados y carbamatos totales	mg/L	0,1
Vanadio	V	mg/L	5,0
Zinc	Zn	mg/L	10

ANEXO 5: MEMORÍA TÉCNICA

Memoria Técnica

Lombrifiltro Para la Empresa Grupo Rossi

Daniela. A. Lara; Lissette.G. Ruchi

Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Formación de Tecnólogos
Quito, octubre 2021

Contenido

Capítulo 1. Generalidades	xviii
1.1. Información general de la empresa	xviii
1.2. Beneficiarios del proyecto	xviii
1.3. Glosario.....	xix
1.4. Abreviaturas	xix
Capítulo 2. Problemática y oportunidades.....	xx
2.1. Problemática	xx
2.2. Justificación.....	xx
Capítulo 3. Objetivos generales y específicos.....	xx
3.1. Objetivo General	xx
3.2. Objetivos Específicos	xx
Capítulo 4. Desarrollo del proyecto	xxi
4.1. Marco teórico	xxi
4.1.1. Tanque homogeneizador	xxi
4.1.2. Trampa de Grasas	xxi
4.1.3. Lombriz roja californiana	xxi
4.1.4. Sistema Tohá.....	xxii
4.2. Ejecución del proyecto	xxiii
4.2.1. Actividades y resultados del prototipo del sistema Tohá	xxiii
4.2.2. Escala de proyecto a nivel real y acciones previas	xxv
4.2.3. Evaluación de la viabilidad del proyecto.....	xxviii
4.2.4. Reformulación o ajuste	xxviii
Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones.....	xxix
5.1. Conclusiones.....	xxix
5.2. Recomendaciones.....	xxix
Bibliografía.....	xxx

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

El tratamiento y disposición de las aguas residuales es una obligación marcada en la ley de recursos hídricos, uso y aprovechamiento del Ecuador. Por lo cual, el cumplimiento de las disposiciones ha hecho que muchos propietarios de las empresas lácteas busquen métodos innovadores que funcionen eficientemente, además de tener un bajo costo de construcción y operación. Grupo Rossi es una de las empresas interesadas en el mejoramiento de su actual tratamiento de aguas residuales para lo cual, se ha planteado la evaluación de un lombrifiltro, mismo que busca mejorar las características del efluente de la empresa.

El sistema Tohá o más conocido como lombrifiltro tiene como propósito la remoción de diferentes contaminantes, entre los que se destaca la materia orgánica. Las diferentes concentraciones de sustancias presentes en el agua residual pueden afectar al medio y generar ambientes insalubres, así como daños en las infraestructuras del alcantarillado. La propuesta planteada está basada en la revisión de bibliografía y los análisis de laboratorio para el planteamiento del proyecto y su futura aplicación en caso de que Grupo Rossi esté dispuesta a llevarla a cabo.

1.1. Información general de la empresa

La empresa Grupo Rossi se encuentra ubicada en el cantón Mejía, provincia de Pichincha. Esta industria se caracteriza por la fabricación de quesos gourmet y derivados de la leche con la implementación de tecnología italiana desde 1980.

1.2. Beneficiarios del proyecto

Los principales beneficiarios del proyecto son los propietarios de la empresa Grupo Rossi, los cuales son acreedores de la memoria técnica con las especificaciones del proyecto.

El siguiente documento tienen el fin de presentar los datos obtenidos y las recomendaciones para su implementación en caso de que así lo deseen las personas involucradas. Además, el desarrollo de este proyecto a nivel real ayudará a las organizaciones gubernamentales como el municipio y el ministerio del ambiente que, si bien no tienen un beneficio directo, el tratamiento da auge a la disminución de contaminación de la zona y evitara daños al alcantarillado público. Asimismo, la obra producirá empleos temporales mientras se encuentre en construcción y en las operaciones de mantenimiento.

1.3. Glosario

- **Afluente:** líquido que ingresa a un sistema unitario.
- **Biodegradable:** dicho de una sustancia que puede ser degradada por acción biológica.
- **Caracterización:** determinar los atributos peculiares del flujo, de modo que claramente se distinga de los demás.
- **Colmatar:** rellenar un espacio del terreno mediante sedimentación de materiales transportados por el agua.
- **Demanda química de oxígeno:** parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia orgánica por reacciones químicas.
- **Demanda biológica de oxígeno:** parámetro que mide la cantidad de dióxígeno consumido al degradar la materia orgánica, a través de microorganismos.
- **Efluente:** líquido que sale de un proceso de tratamiento.
- **Filtro:** elemento compuesto por materiales porosos, los cuales, elimina partes del flujo, normalmente factores no deseados.
- **Materia orgánica:** asociado a carbono orgánico disuelto o sustancias húmicas.
- **Lombrices:** gusano de cuerpo blando, cilíndrico, muy alargado, y dividido mediante anillos transversales; vive enterrado en la tierra húmeda y se alimenta de materia orgánica.
- **In situ:** parámetros que se realizan en el lugar de la toma de muestra.
- **Tasa de riego:** volumen de afluente que puede tratarse en el área filtrante en un determinado tiempo.
- **Tiempo de retención hidráulica:** es el tiempo que el líquido que entra en un recipiente tarda en salir del mismo.
- **Nutrientes:** sustancia que asegura la conservación y crecimiento de un organismo.
- **Grasas:** sustancia orgánica, generalmente sólida a temperatura ambiente, que se encuentra en el tejido adiposo y en otras partes del cuerpo de los animales, así como en los vegetales.

1.4. Abreviaturas

- **DQO:** Demanda química de oxígeno
- **DBO:** Demanda biológica de oxígeno
- **Tr:** Tasa de riego
- **TRH:** Tiempo de retención hidráulica
- **PTAR:** Planta de Tratamiento de Agua Residual

CAPÍTULO 2. PROBLEMÁTICA Y OPORTUNIDADES

2.1. Problemática

Grupo Rossi es una empresa dedicada a la creación de productos lácteos, en los cuales, para su producción y limpieza se utiliza un caudal aproximado de 10 m³/día, de este alrededor de 7 m³ corresponden al agua residual que es vertido sin ningún tratamiento. Por lo cual, el líquido de salida de la fábrica no cumple la normativa ecuatoriana para descargas en alcantarillado, debido a la falta de tratamientos que se asocian al alto costo de implementación. Sin embargo, gracias al interés de los propietarios para contribuir con el ambiente y cumplir la normativa ecuatoriana, se ha dado auge a la investigación sobre tratamientos económicos y eficientes, como el sistema Tohá, implementación de microorganismos eficientes y obras complementarias, que permitan tratar sus aguas residuales, de tal manera que se encuentren dentro de la ley.

2.2. Justificación

La presente investigación se enfoca en los efectos de depuración del lombrifiltro para el tratamiento de aguas residuales de Grupo Rossi, además de su facilidad de implementación en comparación con otros procesos que son más costosos, lo que facilita su implementación. El proyecto busca brindar una solución económica y que beneficie al propietario y a la zona donde se encuentra ubicada la empresa. Además, de documentar los cambios, comportamientos y factores que pueden llegar a afectar el buen manejo del sistema Tohá. Lo que permite una mirada integral al funcionamiento y eficiencia del lombrifiltro.

CAPÍTULO 3. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

3.1. Objetivo General

Presentar los resultados obtenidos tras la evaluación del modelo experimental de un lombrifiltro para el tratamiento del agua residual industrial de la empresa Grupo Rossi.

3.2. Objetivos Específicos

- Describir el procedimiento experimental realizada para el tratamiento de agua residual de Grupo Rossi.
- Especificar los parámetros de control utilizados para la evaluación del tratamiento de agua residual de Grupo Rossi

- Presentar los resultados finales a la empresa Grupo Rossi y el dimensionamiento a escala real bajo las condiciones de experimentación.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL PROYECTO

El método experimental permitió el tratamiento del afluente para controlar el aumento o disminución de las cargas contaminantes, así como las condiciones de diseño adecuadas para la experimentación (Serrano et al., 2010). Cabe recalcar que previo a la construcción y análisis se presentó una etapa de investigación que fue la base para llevar a cabo el proyecto. Asimismo, se consideró obras complementarias para asegurar la eficiencia del tratamiento. Sin embargo, en la experimentación se determinó la necesidad de una trampa de grasas, que deberá ser analizada y estudiada a profundidad antes de la construcción del proyecto presentado.

En el caso de necesitar más información revisar la Tesis: EVALUACIÓN DE UN LOMBRIFILTRO PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE GRUPO ROSSI, que se encuentra en el repositorio de la Escuela Politécnica Nacional.

4.1. Marco teórico

4.1.1. Tanque homogeneizador

El tanque homogeneizador es una obra complementaria que se presenta para favorecer la eficiencia del lombrifiltro, con el objetivo de mantener una la alimentación continua, regular las cargas y propiciar las condiciones adecuadas para el desarrollo de las lombrices.

4.1.2. Trampa de Grasas

Dispositivo fabricado o construido para el pretratamiento de aguas residuales, utilizado para separar los residuos sólidos y las grasas.

4.1.3. Lombriz roja californiana

Conocida por su nombre científico como *Eisenia Foetida* o roja californiana, la cual según los autores Visvanathan, Trankler, Josph y Nagendran, posee las características más resistentes. La Tabla 1 muestra las condiciones de desarrollo de las lombrices. Además, se destaca la reducción de parámetros como: sólidos suspendidos totales entre el 90-95%, y remoción de materia orgánica en 80-90%.

Tabla 1. Parámetros para el desarrollo de la *Eisenia Foetida* (Mejía, 2016)

Parámetro	Nivel Óptimo	Nivel Adecuado	Peligro de muerte
Temperatura	20°C	15°C - 24°C	< 5°C; >37°C
Humedad	75%	70% - 80%	<70%; >80%
pH	6.5 - 7.5	6.0 - 8.0	<4.5; >8.5
Conductividad eléctrica	2.5 mS/cm	3.0 mS/cm	> 8.0 mS/cm
Proteínas	13%	7.5% - 13%	<7.5%; >18%

4.1.4. Sistema Tohá

El sistema Tohá o lombrifiltro pertenece a un sistema de tratamiento biológico secundario y es definido como una gama de percoladores, por esta razón se denomina un sistema aerobio debido a que en el lecho del lombrifiltro se degradan los residuos líquidos y sólidos por la acción de las lombrices (Manrique Delgado & Piñeros Castañeda, 2016). Generalmente se utilizan 4 capas para efectuar el tratamiento entre los que se destaca: lombrices y humus, aserrín o viruta, grava, bolones o piedras de río.

Para el diseño del lombrifiltro se debe considerar las variables y condiciones que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros para el diseño experimental a nivel laboratorio

Parámetros	Nomenclatura	Ecuación	Recomendaciones	Autores
Biodegradabilidad		$\frac{DQO}{DBO_5}$	≤ 2.5	(Von Sperling, 2014)
Tasa de riego	Tr	$\frac{Q}{A}$	$Tr \leq 1 \frac{m^3}{m^2 \cdot día}$	(Salazar Miranda, 2005)
Tiempo de retención hidráulica	TRH	$\frac{p \cdot Vs}{Q}$	Entre 2 a 6 horas	(Bravo Marinni, 2019)
Altura de estrato	hs	$\frac{E \cdot H}{100\%}$	Acorde a la altura total del filtro	(Caicedo Campoverde, 2017)

Donde:

- DQO : (mg/L) Demanda Química de Oxígeno del agua residual de Grupo Rossi
- DBO₅ : (mg/L) Demanda Biológica de Oxígeno del agua residual de Grupo Rossi
- Q : (m³/día) caudal
- A : (m²) área útil del lombrifiltro
- p : (67%) porosidad del medio
- V_s : (m³) volumen de tierra donde se encuentran las lombrices
- E : (%) estrato asumido

H : (cm) altura útil del lombrifiltro

4.2. Ejecución del proyecto

4.2.1. Actividades y resultados del prototipo del sistema Tohá

Se realizó una visita técnica para constatar la situación de la empresa, se realizó un plan de muestreo para la toma de un ejemplar compuesto destinado a análisis preliminares sobre la calidad del agua residual de Grupo Rossi. Las muestras fueron analizadas *in situ* y llevadas a los laboratorios, con el objetivo de conocer las características del afluente a tratar.

Los resultados de los análisis se muestran en la Tabla 3. Con base en los datos obtenidos se verificó que el agua es biodegradable, debido a que la relación de DQO y DBO₅ fue de 0.94, siendo menor a la recomendación que se indica en la Tabla 2. Con base en ese resultado, se pudo verificar que el afluente es adecuado para un tratamiento biológico, como el sistema Tohá. Del mismo modo, los datos obtenidos muestran una alta cantidad de concentración de aceites y grasas que deben ser tratados antes de la ejecución del proyecto propuesto.

Tabla 3. Caracterización del agua residual de Grupo Rossi

Parámetro	Valores hallados	Unidades
Aceites y grasas	246.40	mg/L
Conductividad	2.91	mS/cm
Color Aparente	> 500	PtCo
Coliformes Totales	> 1600	NMP/100 mL
DQO	2 175	mg/L
DBO ₅	2 300	mg/L
Fosfatos	16	mg/L
Hierro	3.8	mg/L
Manganeso	4.47	mg/L
Nitratos	63	mg/L
Nitritos	170	mg/L
Nitrógeno Total Kjeldahl	11.90	mg/L
Nitrógeno Amoniacal	9	mg/L
Oxígeno Disuelto (OD)	1.47	ml/L
pH	6.18	
Sulfatos	50	mg/L
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	1 860	mg/L
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	326	mg/L
Temperatura	20.71	°C

Turbidez	> 1000	NTU
Tensoactivos	0.50	mg/L

Para la puesta en marcha de la experimentación a nivel laboratorio se implementó un tanque de homogenización para regular las cargas contaminantes y propiciar las condiciones adecuadas para el desarrollo de la especie *Eisenia foetida*.

Posteriormente, se pasó la muestra por el lombrifiltro por un periodo de tiempo de siete días. Para la experimentación se consideraron parámetros de diseño basados en bibliografía que se indican en la Tabla 2. Además, se tomaron en cuenta diferentes caudales con valores de 15 y 45 L/día respectivamente. Asimismo, para identificar la eficiencia del lombrifiltro se consideró los siguientes parámetros de control: DQO, nitritos, nitratos y color aparente.

Los valores de los análisis, así como el porcentaje de remoción se indican en la Tabla 3. Estos últimos fueron evaluados a través de la Ecuación 1, para calcular la eficiencia de los caudales con respecto al efluente inicial de la empresa.

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100$$

Ecuación 1. Porcentaje de eficiencia en remoción (Caicedo Campoverde, 2017)

Donde:

C_i : (mg/L) concentración inicial del afluente

C_f : (mg/L) concentración final del efluente

Tabla 3. Resultados del efluente en situación óptima

Caudal	TRH (h)	Parámetro	Lombrifiltro	Unidades	Eficiencia
$Q_1 = 15$ L/día	6	Color aparente	247	mg/L	Adecuada
		DQO	410	mg/L	81.14%
		Nitratos	0.9	mg/L	98.57%
		Nitritos	0.006	mg/L	99.99%
$Q_2 = 45$ L/día	2	Color aparente	356	mg/L	Adecuada
		DQO	856	mg/L	60.64%
		Nitratos	3.6	mg/L	94.28%
		Nitritos	1	mg/L	99.41%

En consecuencia, los resultados demuestran gran eficiencia del sistema Tohá para el tratamiento de agua residual de la empresa Grupo Rossi a un mayor tiempo de retención hidráulica. Además, los datos presentados dan crédito a la actividad de las lombrices de la especie *Eisenia Foetida* para la remoción de contaminantes.

Cabe mencionar que los parámetros analizados dan una idea de la disminución de la materia orgánica, nutrientes y sólidos suspendidos. Sin embargo, en la experimentación también se notó una disminución de grasas y aceites debido a que se quedan en el sistema y a lo largo del tiempo provocan una colmatación y elevación de DQO que termina por encima del valor inicial de la caracterización, por lo que no se aconseja la aplicación del lombrifiltro, si no se cuenta con una trampa de grasas.

De igual forma, el resultado de DQO obtenido en un tiempo de retención de 6h, logra entrar en límite máximo permitido por el Anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) para la descarga al sistema de alcantarillado público. Pese a esto, se debe realizar un análisis global del efluente para asegurar un vertido seguro y bajo la normativa ecuatoriana.

4.2.2. Escala de proyecto a nivel real y acciones previas

Para la puesta en marcha del Sistema Tohá, se deben considerar obras adicionales, así como acciones previas que garanticen las condiciones propicias para la obtención de un tratamiento eficaz que reduzca la cantidad de materia orgánica y otros contaminantes. Asimismo, se debe considerar un análisis completo del agua al final del tratamiento propuesto, con el fin de garantizar las características apropiadas para la descarga al sistema de alcantarillado.

En el Gráfico 1 se observa el proceso que la empresa necesita llevar a cabo para obtener una remoción eficiente de los contaminantes.

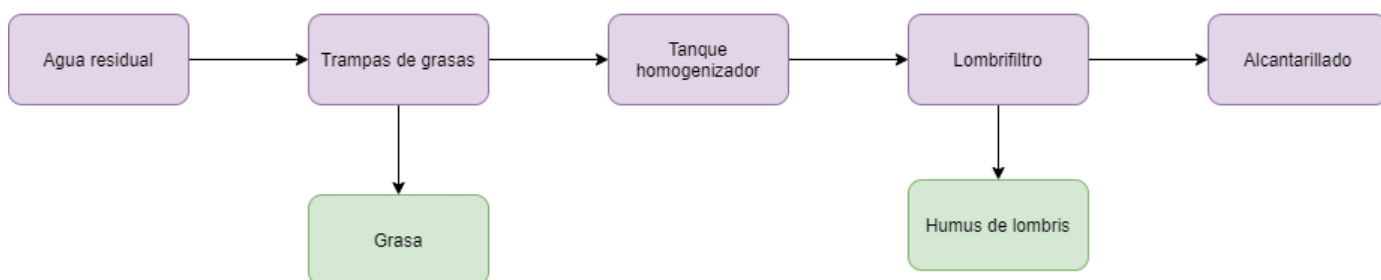


Gráfico 1: Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR)

De igual forma, los subproductos de los tratamientos (grasas y humus) deben ser gestionados de tal forma que no representen un riesgo para la salud y el ambiente. Por

una parte, la comercialización de humus puede representar un ingreso extra para el mantenimiento de todo el sistema. En tanto que la separación de las grasas da auge a otros estudios académicos.

- **Tanque homogeneizador**

Para la implementación a nivel real de esta obra, se consideró un diseño para un gasto de 11 m³/día, en consideración al aumento de caudal y con un porcentaje de seguridad. La Tabla 4 presenta las medias obtenidas. El diseño se pensó de forma circular para su mejor eficiencia, a fin de evitar la presión del líquido en las intersecciones de un modelo rectangular.

Tabla 4. Dimensiones del tanque homogeneizador

Parámetro	Medidas	Unidad
Volumen	80	L
Diámetros	50	cm
Altura	75	cm
Diámetro del agitador	20	cm
Diámetro del difusor	10	cm
Altura de agitador	25	cm
Potencia de la bomba	435	Watts
	0.6	HP

Se puede acceder a un tanque homogeneizador dentro del mercado si se desea siempre y cuando las medidas sean cercanas a las calculadas. El diseño se encuentra en el apartado de Anexos.

- **Adaptación de lombrices**

Para su adaptación al sistema se debe alimentar a la lombriz roja californiana, inicialmente con una porción de hojas secas y alimentos. Además de una cantidad del afluente de la empresa por un periodo mínimo de 8 días, este proceso debe darse disminuyendo progresivamente el alimento sólido y manteniendo una humedad del 75 al 80%, hasta que se logre solo el consumo del líquido residual.

Cabe mencionar que se debe priorizar la disminución de grasas y aceites del afluente previo a la adaptación debido a que la concentración de este factor podría terminar por afectar al desarrollo de la especie *Eisenia foetida*, al punto de provocar su deceso.

Para el desarrollo del proyecto se debe considerar una densidad de lombrices de alrededor de 58 000 individuos, distribuidos entre los estratos de tierra y aserrín. Cabe mencionar que, entre más lombrices se puede obtener mejores resultados siempre y

cuando se respeten las características principales para su desarrollo, las mismas que se indican en la Tabla 1.

- **Construcción del sistema Tohá**

La construcción del modelo experimental del sistema Tohá se llevó a cabo en condiciones similares a las de la empresa, y al mismo tiempo con recomendaciones que proceden de la bibliografía. Para el diseño a nivel industrial se planteó un modelo de forma rectangular el cual facilita la construcción. Los parámetros y medidas se presentan en la Tabla 6.

Es importante mencionar que la tasa de riego y el tiempo de retención hidráulica, están en función de los mejores resultados obtenidos en la experimentación a nivel laboratorio. La estructura del sistema propuesto abarca un área superficial de 20 m², con un ancho de 2.65 m, considerando un metro de cada lado para movilidad, y 7.5 m de largo incluyendo un metro de superficie para el tanque de homogenización y movilidad de los operadores.

Tabla 6. Dimensiones y parámetros de diseño de cada lombrifiltro

Parámetro	Medidas	Unidad
Tr	0.2	m ² /m ³ *día
TRH	6	h
Ancho	0.65	m
Largo	1	m
Altura total	1.7	m
Altura de seguridad	0.3	m
Altura de falso fondo	0.15	m
Altura útil	1.2	m
Pendiente de fondo para colocación de tubería del efluente	1	%
Volumen útil	0.8125	m ³

En virtud de un caudal a tratar de 7 m³ por día, se considera 5 lombrifiltros que trabajen de forma simultánea con las mismas características de la Tabla 6 para un gasto de 1.4 m³/día. Asimismo, la cantidad de sistemas es independiente para tratar el gasto y propician las condiciones adecuadas para el mantenimiento de cada una de las celdas.

Adicional se considera los porcentajes y alturas de la Tabla 7 para cada estrato que conforma el sistema Tohá.

Tabla 7. Porcentajes y alturas de las capas del lombrifiltro

No.	Estrato	Porcentaje	Altura	Unidades
1	Tierra	5%	0.07	m
2	Aserrín	55%	0.68	m
3	Grava	20 %	0.25	m
4	Piedra bola	20 %	0.25	m

De igual forma, se debe implementar la especie de lombriz roja californiana cada 30 cm entre los estratos 1 y 2. Adicional, se debe colocar una tubería de 2 pulgadas de forma vertical, la misma deberá ser perforada cada 5 cm para la ventilación desde el fondo del sistema hasta 20 cm de altura sobre el último sustrato. Esta tubería deberá ser colocada en cada extremo cada 50 cm. Asimismo, se debe colocar 3 capas de malla *raschel* para separar la grava y el aserrín. El diseño unitario se encuentra en los Anexos.

La alimentación del sistema Tohá puede desarrollarse por una tubería perforada que trabaje a presión como se realizó en la experimentación o se puede estudiar la factibilidad de la aplicación de aspersores con base en las características del afluente.

Asimismo, el lombrifiltro debe estar en constante funcionamiento, las 24 horas del día para evitar la muerte de las lombrices por la falta de humedad, priorizando que el tanque de homogenización no llegue al déficit.

4.2.3. Evaluación de la viabilidad del proyecto

Conociendo la situación de la empresa Grupo Rossi el proyecto puede ser llevado a cabo, siempre y cuando se disminuya la concentración de grasas, debido a que posee el área suficiente y el capital requerido no es elevado, para poner en funcionamiento el sistema planteado.

4.2.4. Reformulación o ajuste

Para el correcto funcionamiento del lombrifiltro se plantea que la empresa necesita, mejorar su tratamiento incluyendo como mínimo una trampa de grasas antes del ingreso al tanque homogeneizador, lo que evitara posibles colmataciones y muerte de las lombrices. Por otra parte, el análisis de una trampa de grasas deberá ser analizada acorde a las necesidades de la empresa.

De ideal forma la ejecución del proyecto debe considerar la implementación de accesorios y obras complementarias como la aplicación de válvulas, áreas de camino

y mantenimiento, etc. Así como de estudios complementarios que afiancen la información presentada.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El sistema Tohá ha demostrado gran capacidad para la remoción de parámetros como la DQO, nitritos y nitratos, por lo cual, se considera una opción favorable para el tratamiento de aguas residuales de Grupo Rossi. Sin embargo, antes de su implementación es necesario completar los análisis del agua al final del tratamiento para comprobar su descarga segura al sistema de alcantarillado.
- Las obras anexas al tratamiento son importantes por lo que se debe precautelar la construcción de un tanque de homogenización y trampa de grasas, para evitar la colmatación del lombrifiltro y la muerte de los organismos, a su vez, esto permitirá obtener un efluente más limpio y conforme a la normativa ecuatoriana.
- Es necesario considerar las medidas de construcción y diseño del sistema Tohá, así como el ajuste de caudal requerido por el desarrollo de los lombrifiltros de acuerdo con la puesta en marcha y las condiciones que se pueden presentar en el desarrollo a escala real del lombrifiltro.
- Los porcentajes de remoción pueden variar acorde a las características del líquido de entrada por lo que se debe evaluar en las condiciones reales tras el tratamiento. Asimismo, esto permitirá las modificaciones de alimentación para cumplir con la normativa de descarga al alcantarillado.

5.2. Recomendaciones

- Antes de ejecutar el proyecto, realizar una limpieza del área y solucionar problemas de fugas en las conducciones ya realizadas.
- Considerar emplear señalética y rejas que protejan las obras hidráulicas para evitar accidentes.
- Antes de la construcción del lombrifiltro implementar una trampa de grasas y un tanque de homogenización.
- Complementar la ejecución del proyecto con estudios de la calidad del efluente después de la ejecución de todos los sistemas.

- Realizar un cronograma de actividades para establecer las responsabilidades de operación y mantenimiento de los sistemas propuestos.
- Mantener las áreas de tratamiento sin la presencia de maleza y con las condiciones óptimas.

BIBLIOGRAFÍA

- Bravo Marinni, M. A. (2019). Diseño y evaluación del uso de lombrifiltro como alternativa al tratamiento de residuos líquidos industriales en el proceso de producción de carragenina [Universidad del Bío-Bío].
<http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/3456>
- Caicedo Campoverde, J. A. (2017). Diseño, construcción y evaluación de un prototipo biológico compuesto de Eisenia fetida y Agave filifera, para el tratamiento de aguas residuales en la granja del Ministerio de Agricultura, Acuacultura, Ganadería y Pesca, Riobamba 2015. [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6321>
- Chamorro, G. (2014). Evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa de fabricación de quesos [USFQ].
<https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/3851/1/112494.pdf>
- Manrique Delgado, E. P., & Piñeros Castañeda, J. (2016). Evaluación del sistema de depuración biológica a partir de lombrices de tierra (Eisenia Foetida) en aguas residuales procedentes de industrias lácteas a nivel laboratorio [Fundación Universidad de América].
<https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/578>
- Marcial Rodríguez, S. G. (2012). Reducción del impacto de la contaminación provocada por el deficiente tratamiento en el evacuado del suero de leche en la Quesería Rural Asociativa Abelito del cantón Ambato [Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Maestría en

Producción más Limpia].

<https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/1922>

Mejía, A. P. (2016). AGROFLOR Manual Lombricultura (Agroflor Lombricultura).

<http://agro.unc.edu.ar/~biblio/Manual%20de%20Lombricultura.pdf>

Salazar Miranda, P. I. (2005). Sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales | Tesis doctoral [Universidad Austral de Chile]. <https://www.aguasresiduales.info/idi/tesis-doctorales/sistema-toha-una-alternativa-ecologica-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-sectores-rurales>

Serrano, A. A., Sanz, L. G., Rodrigo, I. L., Gordo, E. G., Álvaro, B. G., & Brea, L. R.

(2010). MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN DE ENFOQUE EXPERIMENTAL. 34.

[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55568285/Experimental-with-cover-page-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55568285/Experimental-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1631690578&Signature=NhD65w0KZKSfRGpVwhn1B1juKZg5)

[v2.pdf?Expires=1631690578&Signature=NhD65w0KZKSfRGpVwhn1B1juKZg5](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55568285/Experimental-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1631690578&Signature=NhD65w0KZKSfRGpVwhn1B1juKZg5)

WD RKilag92LwJa8AVSBVcjCgxOiAUZnJ-9roVkbsaeGhK9H-

cTm0S8w7Z3QbjUGz0-

3VWiu1OZvezKpUOMp7qdvQZJgZqesxAM1IMvriLJZlcPznOycdha631wzSdgej

NaB~26JNvCuQdZKNZ52Q~t3oeCJP10R-

x2THitO9W7P5M2u8LIYMUxLujDYdzg1Ah240drMQeMYCbla1fgUe808IVUe6W2V

KkFzRw9WLGXvQwh5AfK9yZ2AOEe62x095LHgLopAheWKIWCKekVDIbFi0ej

oEa JaAC-5rOhXbGH8VWs6SbcUMgu3k2Q &Key-Pair-

Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

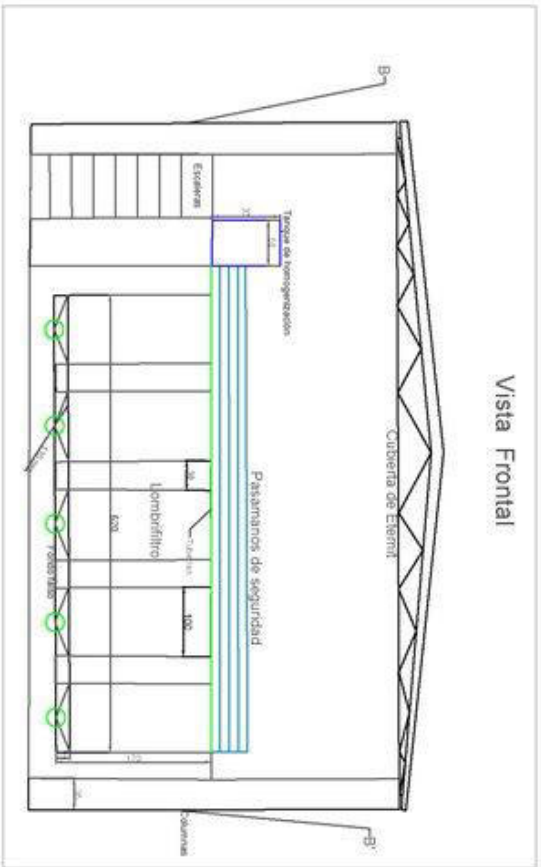
Visvanathan, C., Trankler, J., Joseph, K., & Nagendran, R. (2005). Vermicomposting as an Eco-tool in Sustainable Solid Waste Management (Asian Institute of Technology).

[https://www.yumpu.com/en/document/read/20379558/vermicomposting-as-an-](https://www.yumpu.com/en/document/read/20379558/vermicomposting-as-an-eco-tool-in-sustainable-solid-waste-)

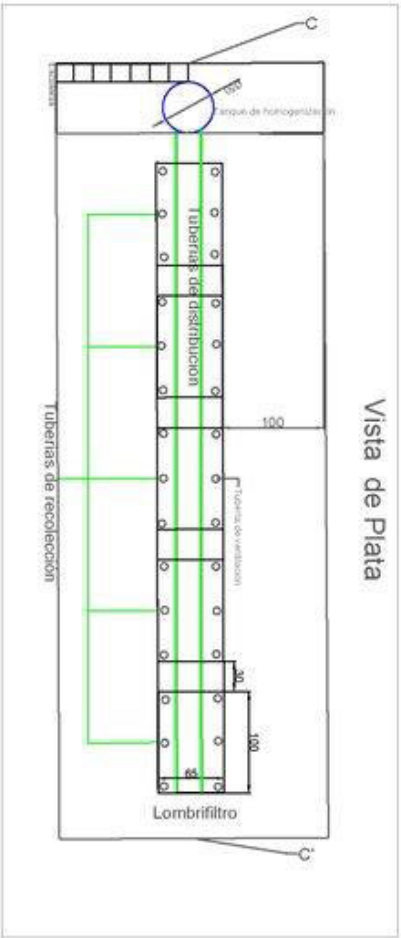
[eco-tool-in-sustainable-solid-waste-](https://www.yumpu.com/en/document/read/20379558/vermicomposting-as-an-eco-tool-in-sustainable-solid-waste-)

Von Sperling, M. (2014). Introdução à qualidade das águas e ao tratamento d esgotos (4a.ed.). Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais.

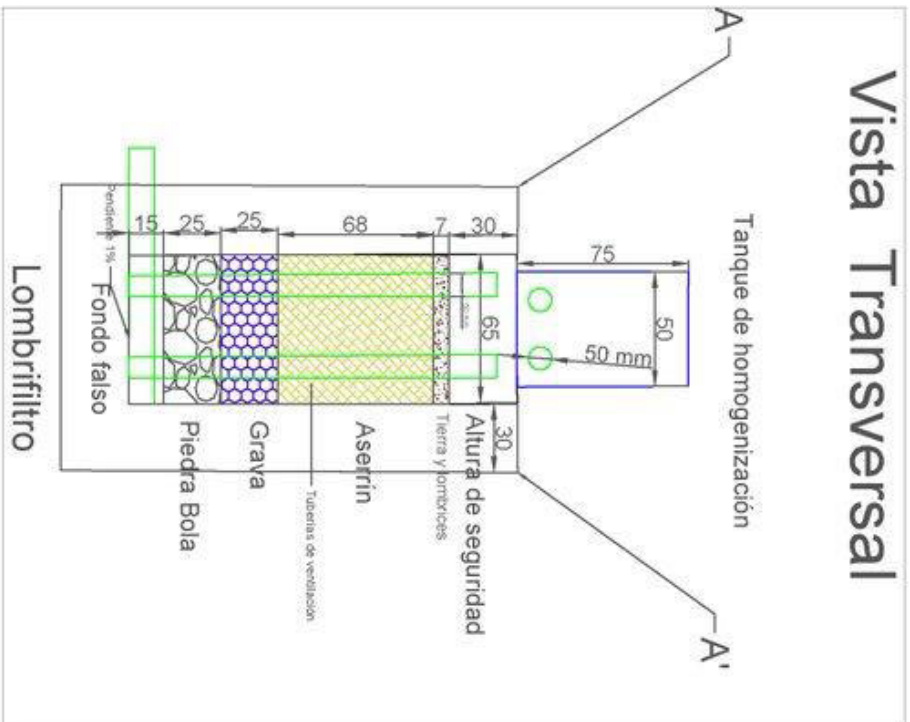
**ANEXO 6: ESQUEMAS DE LA INFRAESTRUCTURA DEL
SISTEMA TOHÁ**



Vista Frontal



Vista de Plata



Vista Transversal

	Proyecto de Titulación Lara Ramon Daniela Abigail Ruchi Duchi Lisette Gabriela	Escuela Politécnica Nacional E.S.F.O.T
	Lombrifiltro	Unidad de trabajo: cm
Lámina: 1/1	Escala: 100:1	26/01/2022

ANEXO 7: EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



Figura 11. Pozos de revisión y vertedero a cielo abierto



Figura 12. Visita técnica a las instalaciones



Figura 13. Identificación del punto de muestreo y medición del caudal.



Figura 14. Toma de muestra y medición *in situ*



Figura 15. Análisis del agua residual de Grupo Rossi en el laboratorio de Tecnología Industrial Área de Agua y Saneamiento Ambiental



Figura 16. Prototipos del Lombrifiltro y filtro de control



Figura 17. Análisis del agua tratada en el laboratorio de Tecnología Industrial Área de Agua y Saneamiento Ambiental.

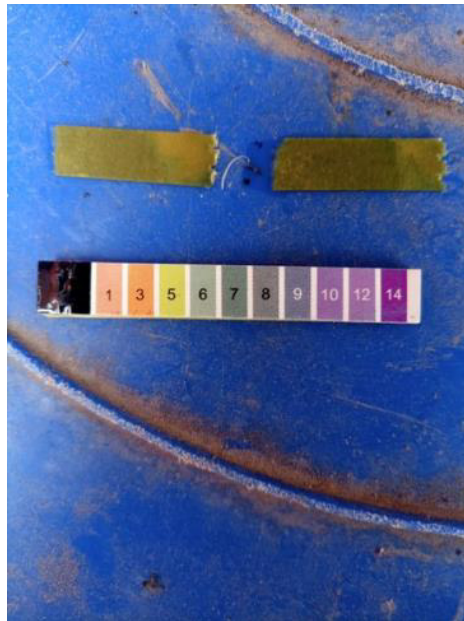


Figura 18. Control del pH

ANEXO 8: VIDEO RECOPIULATORIO DE LA EXPERIMENTACIÓN

Enlace:

<https://youtu.be/qgWMAliD-Qw>

Código QR:

