

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental

TRABAJO DE TITULACIÓN

**BIORREMEDIACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA
INDUSTRIA LÁCTEA A ESCALA DE LABORATORIO MEDIANTE EL SISTEMA
TOHÁ**

Autores: Patricia Alexandra Orozco Villalba
Walter Rodrigo Sánchez Cherez

Tutor: Dra. Ana Mejía López

**Riobamba - Ecuador
Año 2020**

CERTIFICADO DEL TRIBUNAL

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título:
**BIORREMEDIACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA
INDUSTRIA LÁCTEA A ESCALA DE LABORATORIO MEDIANTE EL SISTEMA
TOHÁ.**

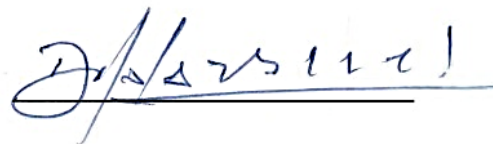
Presentado por: Patricia Alexandra Orozco Villalba
Walter Rodrigo Sánchez Cherrez

Dirigido por: Dra. Ana Mejía López

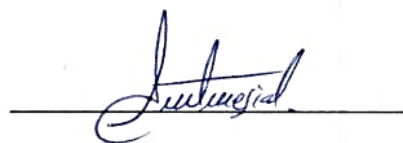
Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Por constancia de lo expuesto firman

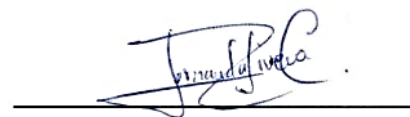
Dr. Mario Salazar Vallejo
Presidente del tribunal



Dra. Ana Mejía López
Tutor del proyecto



MsC. María Fernanda Rivera C.
Miembro del tribunal



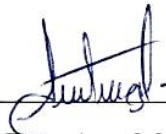
MsC. Patricio Santillán Lima
Miembro del tribunal



DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA

Por la presente, certifico que el actual trabajo de investigación previo a la obtención del título de INGENIERO AMBIENTAL, elaborado por: PATRICIA ALEXANDRA OROZCO VILLALBA Y WALTER RODRIGO SÁNCHEZ CHERREZ con el tema **“BIORREMEDIACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA A ESCALA DE LABORATORIO MEDIANTE EL SISTEMA TOHÁ”**, el mismo que fue analizado y supervisado bajo mi asesoramiento permanente en calidad de Tutor y Guía, por lo que se encuentra apto para ser presentado y defendido.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad



Dra. Ana Mejía López

Tutora del proyecto

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Nosotros, PATRICIA ALEXANDRA OROZCO VILLALBA con cedula de identidad N° 060473218-0 y WALTER RODRIGO SÁNCHEZ CHERREZ con cédula de identidad N° 230001579-5, somos responsables de las ideas, doctrinas, resultados y propuesta realizada en la presente investigación y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



Patricia Alexandra Orozco Villalba
060473218-0



Walter Rodrigo Sánchez Cherez
230001579-5

DEDICATORIA

El presente trabajo dedico a Dios que me ha dado la fuerza y perseverancia para lograr culminar esta meta, a mi madre María de Lourdes Villalba por su esfuerzo, sacrificio, por ser mi mayor inspiración y mi motor para la construcción de esta etapa nueva en vida y mi futuro.

A mis tías Martha Villalba y Merci Villalba, a mis abuelitos Aurelia Hernández y Juan Villalba, a mis hermanos Maritza Orozco y Fernando Orozco por el apoyo incondicional que me han brindado y sobre todo por ser mi motivación y ejemplo de lucha para no rendirme.

A Rodrigo Sánchez por su ayuda desinteresada y por los buenos momentos que compartimos.

Patricia Alexandra Orozco Villalba

Esta investigación dedico a Dios por darme salud, fuerza y voluntad para formarme como profesional y poder concluir esta etapa.

A mis padres Nelly Cherrez y Francisco Sánchez, quienes me apoyaron de manera incondicional en la culminación de mis estudios para la obtención de mi título profesional, con enorme sacrificio y gratitud al brindarme paz y tranquilidad en los momentos necesarios, donde necesitaba apoyo moral.

A mis hermanos y a toda mi familia, por el apoyo brindado para concretar con éxito la finalización de mis estudios.

A Patricia Orozco por ser mi fuente de motivación e inspiración.

Walter Rodrigo Sánchez Cherrez

AGRADECIMIENTO

A nuestro Dios por darnos el conocimiento necesario para terminar nuestra carrera profesional y a nuestros padres, quienes nos apoyaron en cada momento.

A nuestra tutora Dra. Ana Mejía López, por su tiempo dedicado a la revisión de este proyecto. A los miembros del Tribunal Ing. María Fernanda Rivera Castillo, Ing. Patricio Santillán por sus aportes y recomendaciones.

A todos mis profesores de educación básica, bachillerato y superior que con su conocimiento, sabiduría y ejemplo hicieron de mí una persona con la capacidad necesaria para asumir retos y responsabilidades.

A todos nuestros amigos Winer Acosta, Pablo Lizalde, y familiares que de una u otra forma nos ayudaron en el presente trabajo de Investigación.

ÍNDICE	
INTRODUCCIÓN.....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	2
1.2. OBJETIVOS	3
1.2.1. Objetivo General	3
1.2.2. Objetivos Específicos.....	3
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. PROBLEMÁTICA DE LAS AGUAS PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA.....	4
2.1.1. Características de las aguas residuales.....	4
2.2. BIORREMEDIACIÓN	5
2.3. CLASIFICACIÓN	6
2.3.1. In situ.....	6
2.3.2. Ex situ	6
2.4. TÉCNICAS DE TRATAMIENTO	6
2.4.1. Atenuación natural	6
2.4.2. Bioestimulación	7
2.4.3. Bioaumentación.....	7
2.4.4. Fitorremediación	7
2.4.5. Vermiremediación.....	8
2.5. SISTEMA TOHÁ	9
2.5.1. Descripción del lombrifiltro.....	10
2.6. LOMBRICES DE TIERRA (<i>EISENIA FOETIDA</i>).....	11
2.6.1. Características	11
3. MARCO METODOLÓGICO.....	13
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	13
3.2. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTOS DE DATOS	13

3.2.1. Localización del punto de muestreo.....	13
3.2.2. Muestreo.....	14
3.2.3. Determinaciones analíticas.....	14
3.2.4. Procedimiento para la adaptación de las lombrices	15
3.2.5. Construcción del prototipo del sistema Tohá.....	15
3.2.6. Evaluación de la eficiencia del lombrifiltro	16
3.3. TÉCNICAS DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN	16
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA.....	17
4.1.1. Medición de caudales	17
4.1.2. Caracterización del agua residual previo a su tratamiento.....	18
4.2. ADAPTAR LA LOMBRIZ <i>EISENIA FOETIDA</i> CON AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA.....	19
4.2.1. Adaptación de las lombrices	19
4.2.2. Población de lombrices en el lombrifiltro.....	20
4.3. CONSTRUCCIÓN DEL LOMBRIFILTRO A ESCALA DE LABORATORIO	21
4.4. EFICIENCIA DE LA BIORREMEDIACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIA LÁCTEA A TRAVÉS DEL SISTEMA TOHÁ.....	21
4.4.1. Medición de pH.....	21
4.4.2. Medición de la conductividad.	23
4.4.3. Medición de la turbidez.....	23
4.4.4. Medición de sólidos suspendidos.....	24
4.4.5. Medición del DQO.....	25
4.4.6. Medición de aceites y grasas.....	26
4.4.7. Determinación de materia orgánica	27
4.4.8. Comprobación de hipótesis	27
CONCLUSIONES.....	30

RECOMENDACIONES	30
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
ANEXOS.....	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Determinaciones analíticas.....	14
Tabla 2: Caracterización de los parámetros de control.....	18
Tabla 3: Estadísticas de muestras emparejadas	27
Tabla 4: Correlación de muestras	28
Tabla 5: Prueba de muestras	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de la parroquia Ilapo	13
Figura 2: Esquema de los Estratos del Lombrifiltro.....	16
Figura 3: Medición de caudal en la descarga	17
Figura 4: Medición de caudales.....	17
Figura 5: Lombrices en el sustrato adquirido (humus).....	19
Figura 6: Riego de agua residual	19
Figura 7: Contabilización de lombrices.....	20
Figura 8: Selección de lombrices para el tratamiento.....	20
Figura 9: Lombrifiltro.....	21
Figura 10: Medición del pH.....	22
Figura 11: Medición de la conductividad	23
Figura 12: Medición de turbidez	24
Figura 13: Medición de sólidos suspendidos.....	25
Figura 14: Medición del DQO.....	25
Figura 15: Medición de aceites y grasas.....	26
Figura 16: Porcentaje de materia orgánica	27

RESUMEN

La presente investigación fue desarrollada para determinar la eficiencia del sistema Tohá en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la industria láctea, debido a que las actividades productivas de estas industrias en zonas rurales generan descargas con alto contenido de materia orgánica, las cuales no reciben ningún tratamiento antes de ser eliminadas, el sistema Tohá es una alternativa de solución sostenible, muy económica y genera un doble beneficio: Trata el agua residual y se obtiene humus apto para la agricultura, el objetivo fue aplicar el Sistema Tohá a escala de laboratorio para la biorremediación de estas aguas residuales. El tratamiento se llevó a cabo durante 66 días en un biofiltro que consta de grava gruesa (12 mm), grava fina (6 mm), arena (0,07 mm), aserrín y las lombrices, mismas que son responsables de degradar la contaminación presente en el agua residual, el equipo tiene sistema de riego por goteo mediante un caudal intermitente, se realizó un volteo del sustrato cada 4 días para oxigenarlo, evitando la compactación y muerte de las lombrices. De esta manera se obtuvo agua con baja carga contaminante, removiendo DQO 77%, turbidez 68 %, sólidos suspendidos 65%, aceites y grasas 63%, mientras que el pH del agua se mantiene neutro. Es importante realizar pre tratamientos para retirar partículas gruesas, de tal manera que se evite la obstrucción de tuberías y de los sustratos.

Palabras clave: Industria láctea, aguas residuales, biorremediación, lombrifiltro, caudal intermitente, humus, lombrices, caracterización, eficiencia, sistema Tohá.

ABSTRACT

This research was developed to determine the efficiency of the Tohá system in the treatment of wastewater from the dairy industry. Taking into account the productive activities of these industries in rural areas generate discharges with a high content of organic matter, which does not receive any treatment before being eliminated. The Tohá system is a sustainable solution alternative which is very economical and generates a double benefit: It treats wastewater and hummus is obtained suitable for agriculture. The objective was to apply the Tohá System at a laboratory scale for the bioremediation of this wastewater. The treatment was carried out for 66 days in a biofilter consisting of coarse gravel (12 mm), fine gravel (6 mm), sand (0.07 mm), sawdust and worms, which are responsible for degrading contamination in the wastewater. The equipment has a system of drip irrigation by intermittent flow, a tipping of the substrate was performed every 4 days to oxygenate it avoiding compaction and death of the worms. In this way water with low pollutant load was obtained, removing COD 77%, in turbidity 68%, suspended solids 65%, oils and fats 63%, while the worms maintain the medium with a neutral pH. It is important to perform pretreatments to remove coarse particles, to avoid clogging pipes and substrates.

Keywords: Dairy industry, wastewater, bioremediation, worm filter, intermittent flow, hummus, worms, characterization, efficiency, Tohá system.

Abstract translation by Dr. Narcisa Fuertes, PhD

Professor at Competencias Lingüísticas UNACH



INTRODUCCIÓN

En nuestro país, y especialmente en zonas rurales, se encuentran comunidades, pueblos e industrias que evacúan sus aguas residuales directamente a cuerpos de agua dulce o descargan en pozos sépticos sin que reciban tratamiento depurador alguno, actividad que representa un riesgo potencial para la salud humana, los animales y el ambiente (Vicente, 2016).

Por otra parte, las actividades de pequeñas y medianas empresas en zonas rurales no llevan un manejo adecuado de sus descargas, por ello es importante contribuir a la disminución de la contaminación provocada por las mismas. Existen muchas formas de tratar las aguas residuales tanto en forma física, química y biológica, que requiere de personal cualificado para sus operaciones y posterior acondicionamiento de los lodos generados.

Sin embargo, el sistema desarrollado por el Dr. José Tohá conocido como sistema Tohá, en el que se utiliza materiales filtrantes (aserrín, arena, grava) y lombrices que son las principales benefactoras para la depuración de aguas residuales domésticas con el beneficio de obtener también humus, abono apto para la agricultura.

En el proyecto de investigación se describe en el capítulo I la justificación y los objetivos, en el capítulo II se resume la problemática de las aguas provenientes de la industria láctea, los tipos de biorremediación, sus técnicas y se describe ampliamente el sistema Tohá, en el capítulo III se indica las metodologías desarrolladas para cumplir con los objetivos mencionados y en el capítulo IV se reportan de forma gráfica los resultados obtenidos en la investigación y sus conclusiones.

CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

En nuestro país se evidencia pequeñas y medianas industrias dedicadas al procesamiento de la leche, las mismas que no llevan un manejo adecuado de los desechos sólidos, líquidos y gaseosos provocando impactos negativos en los recursos naturales, en especial en la provincia de Chimborazo, en las zonas rurales uno de los principales problemas es la falta de compromiso por parte de las autoridades competentes y de los pobladores para tratar las aguas residuales con un alto contenido de materia orgánica provenientes de las actividades de las pequeñas industrias dedicadas a la elaboración de derivados de la leche.

Los contaminantes que se generan se dan por el proceso de limpieza y desinfección de los equipos, implementos que se utilizan en la elaboración de quesos y de toda la microempresa, también existe derrames de leche al piso, al finalizar todos los procesos las descargas de las aguas residuales ocasionan impactos negativos al ambiente sobre todo hacia los ríos o el suelo generando enfermedades por la presencia de vectores.

Hoy en día, el tratamiento de aguas residuales de las industrias lácteas se lo realiza mediante procesos combinados, tanto tratamientos fisicoquímicos como tratamientos biológicos, siendo el principal el tratamiento biológico que requiere sistemas con controles tecnificados de los distintos parámetros, al final de este tratamiento se generan lodos que no se pueden reutilizar directamente sin un tratamiento previo. Por tanto, estos lodos generados de igual forma son eliminados a cielo abierto y en últimos de los casos son trasladados a rellenos sanitarios.

Debido a la gran problemática en las zonas rurales al no tener recursos para contratar un técnico especializado para el control del sistema biológico para tratar las aguas residuales de empresas artesanales de productos lácteos, es necesario la implementación de otras tecnologías como el tratamiento del Sistema Tohá que ayudará a minimizar la contaminación a bajos costos accesibles para la población.

El presente trabajo fue realizado con la finalidad de reducir la carga contaminante de las aguas residuales y mitigar los impactos generados en la zona rural al recurso suelo e hídrico

por las actividades desarrolladas en los diferentes procesos de producción que realiza la industria láctea, mediante un método no convencional que es el Sistema Tohá.

El sistema Tohá es un tipo de tratamiento biológico en el que se dan procesos de biorremediación, los principales benefactores son organismos vivos tales como la lombriz roja californiana. Esta técnica nueva fue planteada como una alternativa de solución para tratar el agua a un bajo costo en su operación y no genera subproductos que requieran un pretratamiento previo a su disposición final. Este proceso obtiene un doble beneficio que es tratar el agua y obtener humus (abono orgánico) apto para el cultivo. Generalmente los costos de operación en los tratamientos convencionales son altos a comparación con los procesos de Biorremediación que es mucho más económico y eficiente.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. **Objetivo General**

- Aplicar el Sistema Tohá a escala de laboratorio para la biorremediación de las aguas provenientes de la industria láctea.

1.2.2. **Objetivos Específicos**

- Caracterizar las aguas residuales de la industria láctea.
- Adaptar a la lombriz *Eisenia foetida* con aguas residuales industriales lácteas.
- Construir un lombrifiltro a escala de laboratorio.
- Evaluar la eficiencia de la biorremediación de las aguas residuales de la industria láctea a través del sistema Tohá.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. PROBLEMÁTICA DE LAS AGUAS PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA

El problema medioambiental más importante de la industria láctea es la generación de aguas residuales, tanto por su volumen como por la carga contaminante asociada (fundamentalmente orgánica). En cuanto al volumen de aguas residuales generado por una empresa láctea se pueden encontrar valores que oscilan entre 2 y 6 Lt/L leche procesada (Santamaría, Alvarez, Santamaría, & Zamora, 2015).

Las aguas residuales lácteas son similares a la mayoría de las otras aguas residuales de las agroindustrias, las tasas de flujo y contenido de materia orgánica en estos efluentes oscilan entre 0,8 a 7,0g/L de demanda química de oxígeno (DQO), de tal forma estas aguas requieren tratamientos especializados para cumplir con las normas de descarga de efluentes y para reducir el riesgo de problemas ambientales de ríos, lagos y aguas costeras (Tirado, Gallo , Acevedo, & Mouthon, 2016).

Estas aguas servidas presentan desechos sólidos y materia orgánica que incluyen leche desperdiciada y agua de la limpieza, desinfección, calefacción, refrigeración y lavado de pisos, y sus concentraciones son altas en contenido orgánico y altos niveles de sólidos disueltos o suspendidos, que incluyen grasas, aceites y nutrientes. Generalmente son neutras o poco alcalinas, pero tienen tendencia a volverse ácidas muy rápidamente a causa de la fermentación del azúcar de la leche produciendo ácido láctico, sobre todo en ausencia de oxígeno y la formación simultánea de ácido butírico, descendiendo el pH a 4,5 - 5,0 (Tirado, Gallo , Acevedo, & Mouthon, 2016).

2.1.1. Características de las aguas residuales

Las aguas residuales de una industria láctea presentan las siguientes características: Alto contenido en materia orgánica, debido a la presencia de componentes de la leche. La DQO media de las aguas residuales de una industria láctea se encuentran entre 1000 – 6000 mg DBO/L. Presencia de aceites y grasas, debido a la grasa de la leche y otros productos lácteos, como en las aguas de lavado de la mazada. Niveles elevados de nitrógeno y fósforo,

principalmente debidos a los productos de limpieza y desinfección (Santamaría, Alvarez, Santamaría, & Zamora, 2015).

Variaciones importantes de pH, vertidos de soluciones ácidas y básicas principalmente procedentes de las operaciones de limpieza, pudiendo variar entre valores de pH 2-11. Conductividad elevada (especialmente en las empresas productoras de queso debido al vertido de cloruro sódico procedente de salado del queso). Variaciones de temperatura (considerando las aguas de refrigeración). Las pérdidas de leche, que pueden llegar a ser del 0.5 -2.5 % de la cantidad de leche recibida o en los casos más desfavorables hasta del 3-4%, son una contribución importante a la carga contaminante del efluente final. Un litro de leche entera equivale aproximadamente a una DBO₅ de 110,000.00 mg/L y una DQO de 210,000.00 mg O₂/L (Santamaría, Alvarez, Santamaría, & Zamora, 2015).

2.2. BIORREMEDIACIÓN

La biotecnología se presenta como un conjunto de tecnologías con potencial para contribuir al desarrollo sostenible, en el ámbito de la solución de problemas de contaminación, ya que se desenvuelve en distintos campos, tales como: la producción y elaboración de alimentos; la agricultura y la silvicultura, el sector de la salud, la producción de materiales y productos químicos y la protección del ambiente. En esta última, tiene protagonismo, la biorremediación, también conocida como biotecnología ambiental (Garzón , Rodríguez, & Hernández, 2017).

La biorremediación es el uso de seres vivos para restaurar ambientes contaminados, para la cual se pueden emplear diversos organismos (Cornejo, 2017). La biodegradación es un proceso que se produce de forma natural en el medio ambiente y la biorremediación intenta potenciarlo. Se trata de una tecnología económica, aplicable en suelos y aguas, y que no requiere grandes infraestructuras (Izquierdo, 2013).

La biorremediación permite entonces reducir o remover los residuos potencialmente peligrosos presentes en el ambiente y por lo tanto, se puede utilizar para limpiar terrenos o aguas contaminadas, dado que su ámbito de aplicabilidad es muy amplio, pudiendo considerarse como objeto de remediación cada uno de los estados de la materia, es decir, sólido (suelos o sedimentos), o bien directamente en lodos, residuos, etc. Líquido, en aguas superficiales, subterráneas y residuales; así como gases, derivados de las emisiones industriales (Garzón , Rodríguez, & Hernández, 2017).

La biorremediación fue usada en una forma no refinada durante muchos años por la industria petrolera de los Estados Unidos. Surgió del conocimiento empírico de los operadores de las refinerías del petróleo, quienes desecharon los lodos de los separadores tipo API (Instituto Americano del Petróleo) y otros residuos aceitosos en forma de una capa delgada sobre la parte superior del suelo en un sitio próximo a la refinería. Esta técnica, llamada “landfarming” fue ampliamente usada sin comprender los procesos que causaban la degradación de los lodos (Garzón , Rodríguez, & Hernández, 2017).

2.3. CLASIFICACIÓN

2.3.1. **In situ**

En el sitio donde se encuentra el problema. Consiste en estimular a los organismos que viven en el sitio y que son capaces de reducir o degradar los contaminantes (Ulloa, 2018).

2.3.2. **Ex situ**

Fuera del lugar del contaminante. Es un método donde la matriz contaminada es llevada a otro sitio para ser tratada, generalmente se utiliza en suelos (Ulloa, 2018).

2.4. TÉCNICAS DE TRATAMIENTO

2.4.1. **Atenuación natural**

Es la que se lleva a cabo en muchos compuestos orgánicos por microorganismos autóctonos, principalmente bacterias, del medio afectado. En condiciones ideales, los contaminantes se transforman en compuestos químicos más simples, como dióxido de carbono o agua (Ulloa, 2018).

Un ejemplo de estudio de biorremediación fue publicado por (Ríos & Giuffré, 2018) en el artículo “Remediación de suelos contaminados con biodiesel”, el tratamiento de atenuación natural resultó ser el más lento y menos eficiente dando un porcentaje de remoción de diésel del suelo del 20%.

2.4.2. Bioestimulación

Consiste en la introducción de modificaciones en el medio, mediante el aporte de nutrientes, aireación y otros procesos. En ocasiones es suficiente solo añadir oxígeno, aunque en otros se podría requerir la adición de nutrientes o ajustes de pH (Ulloa, 2018).

La bioestimulación consiste en la estimulación in situ de aquellos microorganismos ya presentes en el medio que fue contaminado (microorganismos autóctonos), capaces de biorremediar la sustancia contaminante. La bioestimulación in situ se logra optimizando las condiciones fisicoquímicas para que ocurra el proceso deseado, es decir; el pH, oxígeno, la humedad, temperatura, entre otros, y agregando los nutrientes necesarios (Perdomo, 2014).

Un ejemplo de investigación sobre bioestimulación fue publicado por (Durán & Ladera, 2016) en el artículo “Biorremediación de Suelos Contaminados por Organoclorados mediante la Estimulación de Microorganismos Autóctonos, utilizando Biosólidos”. Al finalizar el proceso de tratamiento se obtuvieron porcentajes de remoción del 84% y 69% con biosólidos y sin biosólidos respectivamente.

2.4.3. Bioaumentación

Se refiere a la adición de microorganismos degradadores, esto cuando la densidad de microorganismos es muy baja o cuando estos no poseen la capacidad metabólica necesaria o el contaminante es tóxico. Pueden ser microorganismos nativos, externos o en pocas ocasiones con microorganismos genéticamente modificados (Ulloa, 2018).

Un ejemplo de investigación fue publicado por (Islas , Peralta, Vega, & Aguilar, 2016) en el artículo “La Bioaumentación con dos microorganismos aislados del mismo suelo contaminado” en donde hubo una remoción del diésel del 3 al 31% para tratamientos bioaumentados con *Bacillus sp*, y del 12 al 78% con *Meyerozima sp*, pero un mejor resultado se obtuvo al combinar los dos tipos de microorganismos obteniendo una remoción del 11 al 93%.

2.4.4. Fitorremediación

Corresponde al uso de plantas para operaciones de limpieza ambiental. La cual es posible debido a que algunas han desarrollado la capacidad de tomar y acumular metales en sus tallos, además han desarrollado interacciones y asociaciones en las raíces con organismos

que pueden causar la degradación o transformación acelerada de ciertos contaminantes (Ulloa, 2018).

Durante la fitorremediación puede ocurrir la degradación, extracción y/o estabilización (disminución de la biodisponibilidad) del contaminante. Estos procesos dependen de las interacciones entre las plantas y los microorganismos que habitan muy cerca de sus raíces, en una zona denominada rizosfera. La fitorremediación ha sido especialmente exitosa en la remoción de metales pesados y sustancias radioactivas de suelos y aguas superficiales o subterráneas (o rizofiltración de aguas contaminadas). En este caso, las plantas acumulan en sus tejidos los metales del medio y luego son cosechadas e incineradas bajo condiciones controladas, de manera que el contaminante pasa de estar disperso en el ambiente, a ser concentrado en forma de cenizas (Perdomo, 2014).

Un ejemplo de investigación fue publicado por (Bautista, y otros, 2016) en el artículo “Extracción de metales pesados por *Lolium perenne* en residuos de mina” los resultados mostraron que el establecimiento de raigrás y la incorporación de biosólidos y compost en los jales mejoran las características físicas, químicas y disminuyeron la concentración de metales. Los análisis demostraron que la mayor concentración de metales se sitúa en las raíces, superando los límites máximos tolerables en plantas y consumo animal.

2.4.5. Vermiremediación

“Vermi”, en latín, significa “organismo en forma de gusano”. Luego, en palabras simples, el término completo alude a la utilización de las lombrices de tierra para tratar suelo u otro sustrato que está contaminado, es decir, transformarlo en un lombricompost, en humus, en un sustrato “viabilizado” e inocuo. Con sus hábitos, las lombrices hacen que el suelo, o lo que se coseche, contrarreste la carga de patógenos, minimizando riesgos para la salud humana y animal (Cassano, 2018).

Las lombrices realizan acciones muy importantes porque no solamente intervienen en la transformación de residuos orgánicos a través de su ingesta y en simbiosis con su micro flora en un sustrato más estabilizado, sino que, mediante sus movimientos y desplazamientos, forman galerías en el suelo que ayudan a la infiltración, a la aireación y a la generación de micro hábitats para otros organismos. En otras palabras, las lombrices ayudan a la estructura y a la fertilidad del suelo y contribuyen de forma trascendente con los denominados “servicios eco sistémicos”, algo que la mayoría de las personas desconoce (Maisin, 2018).

Los organismos que se pueden emplear son diversos, los más usados son los microorganismos (tanto bacterias, como algas y hongos) y las plantas (en procesos llamados fitorremediación), pero también se pueden utilizar otros seres vivos tales como los nematodos (vermiremediación) (Vázquez & Palacios, 2014).

Un ejemplo de investigación fue publicado por (Cardoso, Ramírez, & Garzón, 2011) la vermiremediación en las aguas residuales y municipales durante el periodo de operación se obtuvieron los siguientes resultados: Piloto: se obtuvo una remoción de DQO de 92%, DBO de 99%, SST de 97%. Familiar: remoción de DQO de 77%, DBO de 94%, SST de 95%. Por otra parte, se observó la reducción de coliformes fecales (CF) ya que la concentración de coliformes fecales disminuyó de 1.8×10^4 NMP 100 mL a menos de 3 NMP 100 mL (99.98%). Sin embargo, cuando se aumentó la carga hidráulica no hubo reducción de patógenos.

2.5. SISTEMA TOHÁ

Es un sistema de tratamiento biológico de aguas residuales, ya sean de origen doméstico o industrial, el cual fue desarrollado por el Dr. José Tohá Castellá, en el año 1992, en este no es necesario realizar tratamientos primarios, secundarios ni terciarios porque este sistema cuenta con diferentes etapas que reemplazan estos tratamientos, no genera lodos debido a que la materia orgánica es consumida por las lombrices y además, no requiere de aditivos químicos (Manrique & Piñeros, 2016).

El Sistema Tohá, un tipo de Biofiltro, es una opción ecológica para el tratamiento de aguas servidas, el cual permitirá optimizar de manera sustentable la reutilización de las aguas servidas tratadas producto del consumo humano; así mismo favorece al recobro del recurso y a reducir los impactos en la salud y el ambiente (Paico, 2017).

El uso de lombrices como filtro percolador se basa también en un sistema conocido como Sistema Tohá o Biofiltro Dinámico Aerobio, el mismo que presenta varias ventajas como el de ser una tecnología innovadora, económico, baja inversión, fácil de operar, es eficiente en el tratamiento de carga contaminante, se adapta a varias condiciones climáticas, es conocida a nivel mundial (Lemay, 2016).

El Sistema Tohá, consistente en biofiltros que hacen uso de aserrín como sustrato para la ubicación de las lombrices, las cuales degradarán la materia orgánica de las aguas residuales,

generando aguas limpias y de calidad adecuada, el uso del sistema no solo sirve para ayudar al ahorro de agua, sino que tiene muchos beneficios más, como ayudar al medio ambiente, ya que, al no tener malos olores, pueden ser usadas en el riego de vegetales, disminuyendo las emisiones de material particulado (Paico, 2017).

Esta investigación permite fortalecer la cultura ambiental de las sociedades toda vez que favorece a optimar la calidad del Agua y promover la conservación de recursos naturales utilizando técnicas saludables para el ambiente, mediante la aplicación del Sistema Tohá. Un atributo del empleo de este sistema es que, produce un subproducto que puede ser utilizado como abono natural. El desarrollo del proyecto repercute positivamente, ya que si se toma en cuenta los múltiples beneficios del sistema Tohá, el cual es un método ecológico, eficiente y autosustentable que utiliza lombrices para filtrar los residuos. Los lombrifiltros remueven cerca del 90% de la DBO y los sólidos volátiles, y la casi totalidad de los coliformes fecales presentes en el agua residual, son sistemas de tratamiento no convencional con muy baja contaminación, no se produce malos olores, se produce un subproducto como es el humus, el agua puede ser reutilizada y el humus se puede utilizar como abono en cultivos orgánicos, que son más saludables y tienen un costo adicional (Paico, 2017).

2.5.1. Descripción del lombrifiltro.

Es un sistema de tratamiento de aguas servidas basado en la tecnología de lombrices (*Eisenia foetida*), que por sus características físicas o estructurales tiene alta eficiencia en la remoción de materia orgánica y organismos patógenos. Este es un biofiltro compuesto de cuatro estratos o lechos filtrantes de diversos materiales, a través del cual se hace pasar el agua servida. La capa superior consiste en un material orgánico con un gran número de microorganismos y lombrices. Cuando el agua residual pasa a través del lecho filtrante o sustrato, estos organismos absorben y digieren la materia orgánica eliminando su principal contaminante que son los residuos sólidos patógenos presentes en las aguas servidas (Jacipt, León, & Castillo, 2015).

En la actualidad los tipos que más se utilizan en la lumbricultura son tres, de aproximadamente ocho millares existentes.

Estas son: *Eisenia foetida*; *Lombricus rubellus* y *Rojo híbrido*.

El cultivo de lombrices en nuestro país se basa principalmente en el aprovechamiento del estiércol animal y los desechos agrícolas. En Chile la especie más utilizada es la *Eisenia foetida*, perteneciente al *phylum* (o tronco) de los Anélidos, de la clase de los Oligoquetos (Paico, 2017).

2.6. LOMBRICES DE TIERRA (*EISENIA FOETIDA*)

Las lombrices *Eisenia foetida* o también conocidas como lombrices rojas californianas consumen la materia orgánica de los afluentes residuales transformándolo por oxidación en anhídrido carbónico y agua. De acuerdo a investigaciones realizadas, se concluyó que la especie de lombriz *Eisenia foetida* es la más adecuada para la experimentación debido a que genera mayor reducción de DQO de un 86.53% y DBO de 87.16% comparado con lombrices de diferentes especies. En investigaciones anteriores realizadas a nivel laboratorio es sugerido que la densidad de las lombrices sea de 10.000 lombrices/m³ de lombrifiltro, teniendo en cuenta esta densidad y que el número de lombrices no varía respecto a la profundidad, sino respecto al área debido a que estas permanecen en la superficie en busca de oxígeno (Manrique & Piñeros, 2016).

La lombriz utilizada es la roja californiana que permite biodegradar la materia orgánica presente en el agua residual, la materia debe encontrarse de forma parcial o totalmente descompuesta para que durante la fermentación no se eleve la temperatura y no mueran. Se caracterizan por ser totalmente inmunes al medio contaminado en el que viven, para un mejor desarrollo el riego del agua debe ser manual o por aspersión para que sea uniforme la descomposición (Lemay, 2016).

2.6.1. Características

El rango óptimo de temperaturas para el crecimiento de las lombrices oscila entre 12-25°C; y para la formación de cocones entre 12 y 15°C, de cada cocón emergen las lombrices después de 14 a 21 días de incubación, en un número que va de 2 a 21 ejemplares recién nacidas, son de color blanco, se vuelven rosadas a los 5 o 6 días y se convierten definitivamente a rojo oscuro de los 15 a 20 días. Al nacer miden 1 mm y cuando es adulta 6 a 8 cm; su diámetro oscila entre 3 a 5 mm, tiene un peso que oscila entre 0.4 y 0.6 gramos, aunque en estado adulto pueden alcanzar 1 gramo. Se hace adulta a los 3 meses, tiempo en la que se encuentra con capacidad de reproducción, visualizándose un anillo de mayor

espesor o diámetro que el resto del cuerpo llamado clitelo, es hermafrodita insuficiente, es decir tiene ambos sexos, pero necesita aparearse para reproducirse (Lima, 2016).

La longevidad de esta especie se estima en alrededor de 15 a 16 años y no contrae ni transmite enfermedades, es una especie eurífaga, es decir, se alimenta con los más diversos desechos, especialmente, los de tipo orgánico, caracterizándose por su gran voracidad, ingiere una cantidad de comida equivalente a su propio peso y expelen el 60% transformándolo en humus, siendo el 40% restante en síntesis celular, respiración y otros procesos vitales, tiene gran tolerancia a la aglomeración, pudiendo cohabitar entre 4 000 a 50 000 individuos por metro cuadrado, es una especie muy prolífica, tiene una tasa de reproducción anual de 1:16, significando que cada 3 meses duplica su población (Acuña & Reyes, 2017).

La lombriz acepta sustratos con pH de 4.5 a 8.5, debe tener baja luminosidad ya que teme a la luz (pues los rayos ultravioletas las matan), la humedad debe comprender en un 70 a 80%, si las condiciones ambientales no son las mejores las lombrices tienen la capacidad de acomodarse para optimizar el aprovechamiento del medio (Paico, 2017).

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es causal explicativa porque se fundamenta en encontrar las causas y efectos de una variable de estudio.

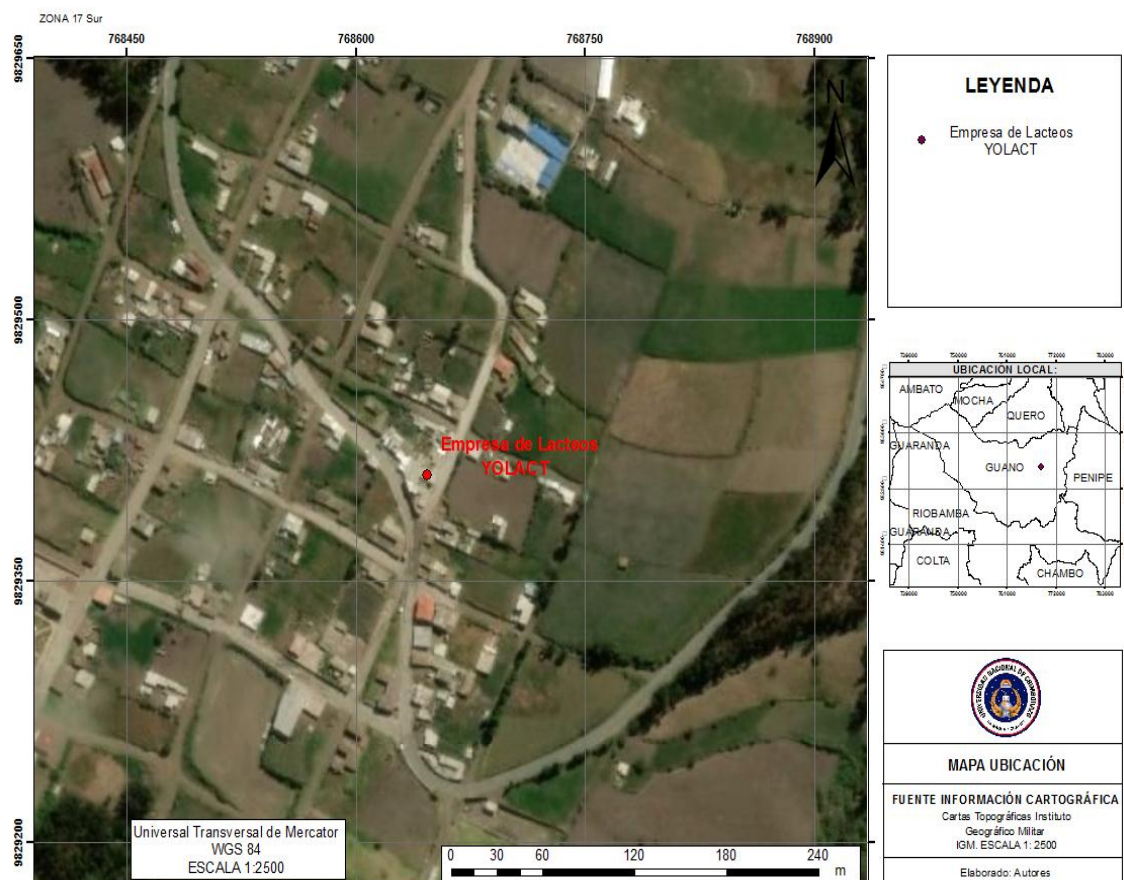
El diseño es experimental porque se identifica y cuantifica las causas de una variable de estudio.

3.2. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTOS DE DATOS

Para la recolección y tratamiento de datos se realizó los siguientes procedimientos:

3.2.1. Localización del punto de muestreo

Figura 1: Mapa de la parroquia Ilapo



Las muestras de agua se obtuvieron de la descarga de la microempresa Productos Lácteos “YOLACT”, dedicada a la producción de quesos, ubicada en la parroquia Ilapo perteneciente al canto Guano, provincia de Chimborazo.

3.2.2. Muestreo

La primera etapa consistió en conocer la cantidad de agua que utiliza diariamente la microempresa.

El caudal se determinó por el método volumétrico tomando muestras en diferentes horas del día durante tres días.

Para las determinaciones analíticas se recogió cuatro litros mediante un muestreo compuesto, tomando muestras cada hora durante la jornada de trabajo, se utilizó frascos de plástico de un litro para las muestras individuales que se mantuvieron en un cooler con el objetivo de preservar las mismas.

3.2.3. Determinaciones analíticas

Las determinaciones analíticas se realizaron en el laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo, los parámetros analizados y los métodos utilizados se indican en la tabla 1.

Tabla 1: Determinaciones analíticas

Parámetros	Unidad	Método
pH	--	Standard Methods 4500 - H B
Conductividad	us/cm	Standard Methods 2510 – B
Sólidos Suspendidos	mg/L	Standard Methods 2540 – D
Turbidez	NTU	Standard Methods 2130 B
DQO	mg/L	Standard Methods 5220 - D mod
DBO ₅	mg/L	Standard Methods 5210 - B
Aceites y Grasas	mg/L	EPA 418,1
Sólidos sedimentables	mg/L	Standard Methods 2540 - F

3.2.4. Procedimiento para la adaptación de las lombrices

3.2.4.1. Adquisición.

Las lombrices utilizadas para tratar las aguas residuales de la microempresa que se dedica a la producción de quesos “YOLACT” fueron adquiridas en Cantón Pallatanga. Se adquirieron 700 entre etapa adulta y jóvenes de lombriz roja californiana y el sustrato en el que se encontraban (humus).

3.2.4.2. Adaptación a sustrato orgánico y al agua residual.

Las lombrices se colocaron en un recipiente con aserrín y las lombrices junto con el sustrato de origen. Durante 20 días se humedecía el medio con el agua residual proveniente de la industria en estudio.

Al final de la adaptación se procede contabilizar y seleccionar las lombrices para posteriormente colocarlas en el sistema de tratamiento.

3.2.5. Construcción del prototipo del sistema Tohá

Para el dimensionamiento del sistema se consideró un caudal de 20 L/día, volumen que permite operar el sistema a un caudal constante a escala de laboratorio, se consideró que el largo es dos veces el ancho (Carrillo, Cabrera, & Mejía, 2017).

Y su profundidad de 30 cm en vista de las lombrices utilizadas pueda mantenerse dentro del sustrato.

Por lo tanto, sus medidas son 20 cm de ancho x 40 cm de largo x 30 cm de profundidad de tal manera que cubra los estratos utilizados en el proceso.

El prototipo contiene cuatro diferentes estratos: grava gruesa con un tamaño de 12 mm, grava pequeña de 6 mm, arena de 0,07 mm y aserrín, y las lombrices que son los organismos que se encargaran de degradar los residuos sólidos y líquidos presentes en el agua residual.

El prototipo tiene un sistema de riego mediante goteo, alimentado por un tanque de almacenamiento y utilizando mangueras con orificios para que el agua se distribuya homogéneamente por todo el equipo y sus sustratos.

Figura 2: Esquema de los Estratos del Lombrifiltro



3.2.6. Evaluación de la eficiencia del lombrifiltro

La determinación de la eficiencia se realizó mediante el funcionamiento del prototipo durante 66 días de forma continua, además antes de poner el caudal correspondiente realizamos un pretratamiento con un filtro de aserrín ya que por sus características es un buen retenedor de grasas simulando a un desengrasador, se tomaron datos de pH, conductividad, sólidos suspendidos, turbidez, tanto de entrada como de salida cada día, y DQO, aceites y grasas cada 5 días para determinar el porcentaje de remoción.

Un parámetro importante a analizar fue el contenido de materia orgánica.

Para evitar la muerte de las lombrices por la falta de oxígeno es necesario realizar un volteo de los sustratos cada 4 días.

3.3. TÉCNICAS DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para la evaluación de la eficiencia se aplicó porcentajes de remoción de los parámetros analizados y estadísticamente se aplicó t de Students de muestras relacionadas, aplicando el programa SPSS para lo cual se plantió dos hipótesis:

H₀: $\bar{X}_a = \bar{X}_d \rightarrow$ Que el sistema Tohá no remedia las aguas residuales de la industria láctea.

H₁: $\bar{X}_a \neq \bar{X}_d \rightarrow$ El sistema Tohá si remedia las aguas residuales de la industria láctea.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA

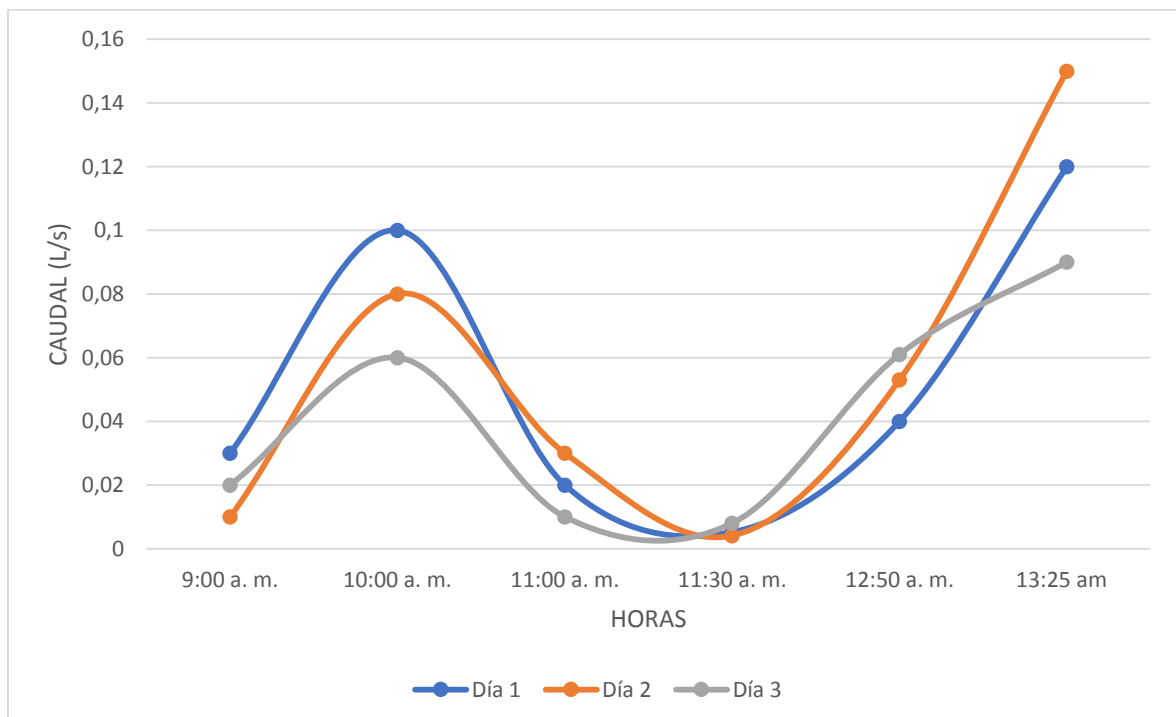
4.1.1. Medición de caudales

Y en la figura 3 se muestra la toma del caudal en la descarga de la microempresa y los resultados obtenidos de los caudales de tres días L/s en la figura 4.

Figura 3: Medición de caudal en la descarga



Figura 4: Medición de caudales



Como se puede observar en la figura 4 en los tres días a determinadas horas que realizan la limpieza el caudal aumenta siendo el de mayor volumen al finalizar el proceso.

4.1.2. Caracterización del agua residual previo a su tratamiento

Los resultados de los parámetros analizados se reportan en la tabla 2

Tabla 2: Caracterización de los parámetros de control

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO		
		Día 1	Día 2	Día 3
Caudal promedio	L/s	0,053	0,055	0,042
pH	U pH	4,34	6,37	4,95
Conductividad	mS/cm	8,02	2,62	20,40
DQO	mg/L	5580	5310	9880
DBO ₅	mg/L	2511	2390	4446
Aceites y Grasas	mg/L	544	968	1330,4
Sólidos Suspendidos	mg/L	1005	940	880
Sólidos Sedimentables	ml/L	10,5	13	11,5

Las aguas residuales generadas en la microempresa YOLACT son muy variables debido a que no tienen un sistema normalizado de procedimientos, las descargas del suero dependen de la reutilización o no del mismo en la alimentación de porcinos.

En el estudio realizado por (Santamaría, Alvarez, Santamaría, & Zamora, 2015) sobre biotratamientos de aguas residuales de la industria láctea, la caracterización de aguas residuales de este tipo de industria también es variable, oscilan valores de DQO y DBO₅ de 10000 a 18000 mg/L, pH de 4,74; conductividad alta de 7820 us/cm y sólidos con valores de 4800 mg/L.

4.2. ADAPTAR LA LOMBRIZ *EISENIA FOETIDA* CON AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA

4.2.1. Adaptación de las lombrices

La adaptación de las lombrices se lo llevó a cabo durante 20 días previos a la puesta en funcionamiento el lombrifiltro, la población inicial de lombrices fue de 450, al culminar el periodo de adaptación se obtuvo un total de 612 lombrices y 7 cocones (huevecillos de las lombrices) lo que indica su rápida reproducción, este resultado mencionado determina que las lombrices se adaptaron al agua contaminada. En las figuras 5, 6, 7,8; se demuestra el procedimiento de la adaptación de las lombrices

Figura 5: Lombrices en el sustrato adquirido (humus)



Figura 6: Riego de agua residual



Figura 7: Contabilización de lombrices



Figura 8: Selección de lombrices para el tratamiento



Según la investigación de (Lima, 2016), antes de colocar las lombrices en el sistema de biofiltración para tratar aguas residuales provenientes de la crianza de cerdos, se procedió a realizar un proceso de adaptación de las mismas con estiércol de ganado porcino en parcelas y evitar en lo posterior la muerte de las mismas en sistema ya implementado.

4.2.2. Población de lombrices en el lombrifiltro

La población inicial en el lombrifiltro fue de 150 lombrices, transcurrido 21 días de operación el sistema se saturó, las lombrices empezaron a salir a la superficie provocando la muerte de 20 de ellas, la saturación se debió por el alto contenido de grasas y por la alta humedad que causó el tratamiento de forma continua, para evitar esto se procedió a realizar un pretratamiento retirando previamente las grasas y operar el prototipo de forma intermitente y se aumentó la cantidad de lombrices a un total de 600. Al finalizar el proceso a los 80 días la población de lombrices fue de 720 y 712 cocones.

Se observó también que las lombrices se acondicionan mejor en la arena.

Las lombrices seleccionadas en la investigación de (Vicente, 2016) para la etapa de tratamiento del agua residual doméstica, observó elevada tasa de mortalidad de lombrices adultas, 11 de 25 lombrices. Caso contrario sucedió con las lombrices jóvenes, 13 de 15 lombrices se adaptaron rápidamente a descomponer la materia orgánica presente en el agua residual.

4.3. CONSTRUCCIÓN DEL LOMBRIFILTRO A ESCALA DE LABORATORIO

El material utilizado para la construcción del lombrifiltro fue de policarbonato, que es mucho más resistente a comparación con vidrio. Este filtro fue ubicado en una base de acero inoxidable con una pendiente del 1 %, evitando que el agua se estanque. Una vez construido se agregó los sustratos de grava, arena, aserrín y lombrices al equipo, y se colocó un tanque de almacenamiento para el agua residual que alimenta al equipo mediante un riego por goteo como se observa en la figura 9.

Figura 9: Lombrifiltro

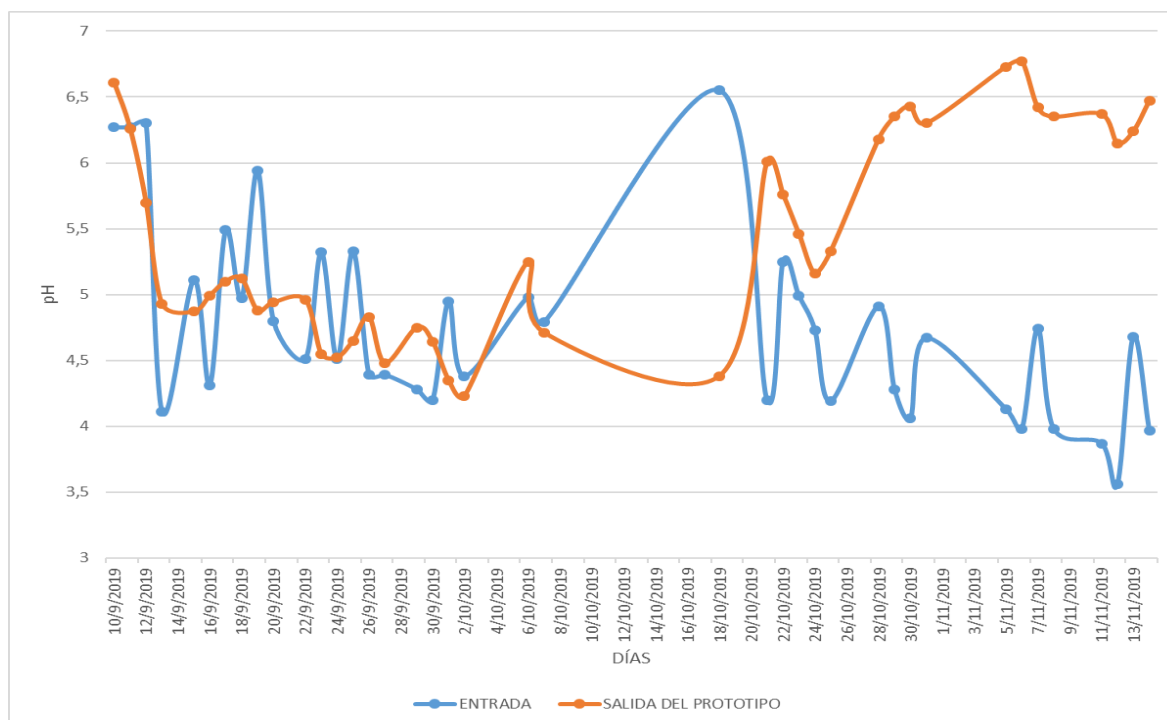


4.4. EFICIENCIA DE LA BIORREMEDIACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIA LÁCTEA A TRAVÉS DEL SISTEMA TOHÁ

4.4.1. **Medición de pH.**

En la figura 10, se encuentran los resultados de las determinaciones del pH durante los 66 días de tratamiento

Figura 10: Medición del pH



Como se puede observar el pH durante los primeros 21 días de tratamiento tiene valores ácidos con un promedio de 4 – 5 unidades de pH, a partir del día 22 se observa que el pH del agua tratada comienza a aumentarse alcanzando valores de 6 - 6,5 unidades de pH manteniéndose una diferencia notable del pH comparada con el agua de ingreso.

Según la investigación de (Manrique & Piñeros , 2016) sobre “Evaluación del sistema de depuración biológica a partir de lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) en aguas residuales procedentes de industrias lácteas a nivel laboratorio” se mantuvo autogenerado el pH con un valor inicial de 3.53, al pasar los primeros 8 días el pH del agua subió a 4.56 en el lombrifiltro y se mantuvo durante los 35 días de tratamiento.

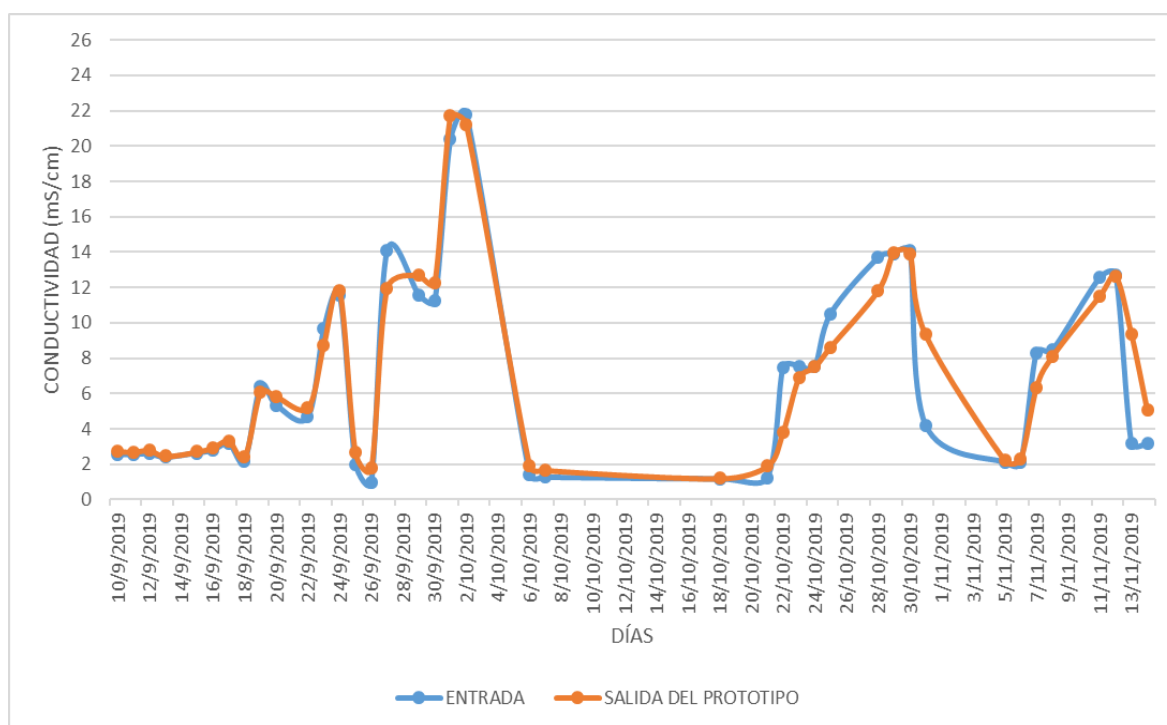
En los resultados de la investigación (Vicente, 2016) sobre la “Determinación de la eficiencia del aserrín y la fibra de coco utilizados como empaques para la remoción de contaminantes en Biofiltros para el tratamiento de aguas residuales” realizaron dos tipos de pruebas la primera fue un biofiltro con aserrín obteniéndose un pH de 5.8 y la segunda prueba fue con el biofiltro y obtuvo un pH 6.9, se puede diferenciar el cambio. Dado que el pH de entrada era de 6.2.

Por lo que podemos determinar que en un sistema de tratamiento biológico el pH se corrige.

4.4.2. Medición de la conductividad.

En la figura 11 se observa los resultados de la conductividad del agua de entrada y salida del biofiltro manteniéndose en valores similares, es decir, no existe ninguna remoción de las sales disueltas

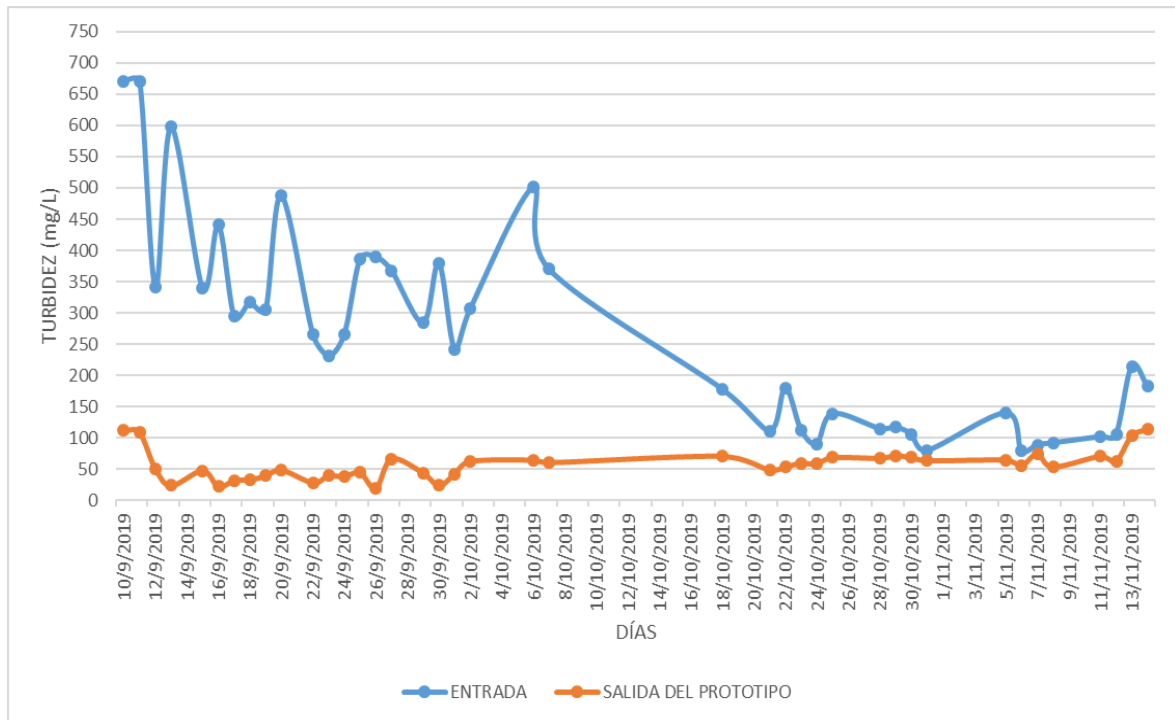
Figura 11: Medición de la conductividad



4.4.3. Medición de la turbidez.

Los resultados de la turbidez durante los días de tratamiento se indican en la figura 12, observándose una remoción entre 80 y 90% en los primeros 21 días debido a que los sustratos actúan como filtro reteniendo las grasas que el agua residual presenta, a partir del día 22 que se hace un pretratamiento se observa un porcentaje de remoción de un 42%

Figura 12: Medición de turbidez

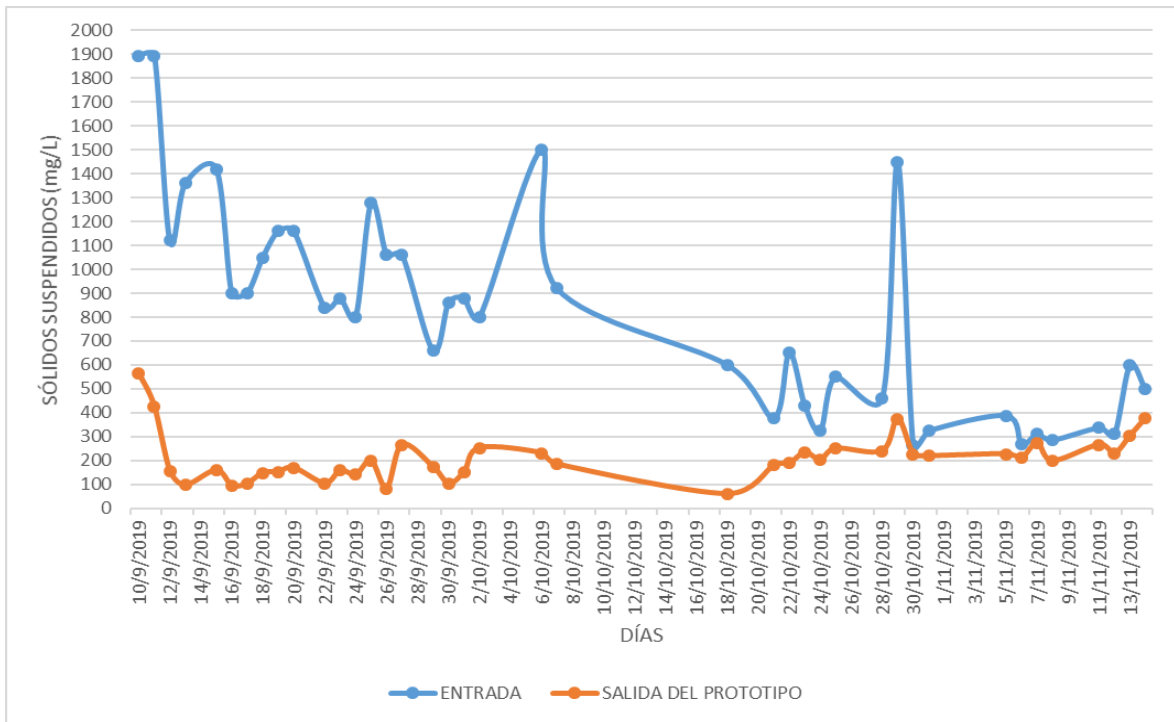


En la investigación de (Cardoso, Ramírez, & Garzón, 2011) sobre “Vermifiltración para tratamiento de aguas residuales industriales y municipales TC1107.1” indican que la remoción de turbidez es mayor a 88% en filtros con lombrices, a comparación con el filtro que no contenía lombrices, los cuales sólo pudieron remover 60% de turbidez. Lo que indica que los organismos vivos son los responsables de la degradación de la turbidez.

4.4.4. Medición de sólidos suspendidos.

La turbidez de las aguas se debe a la presencia de partículas suspendidas y coloidales por lo que la remoción de los sólidos suspendidos en las aguas de estudio tiene promedios del 80 al 90% y su comportamiento es similar a este parámetro como se observa en la figura 13.

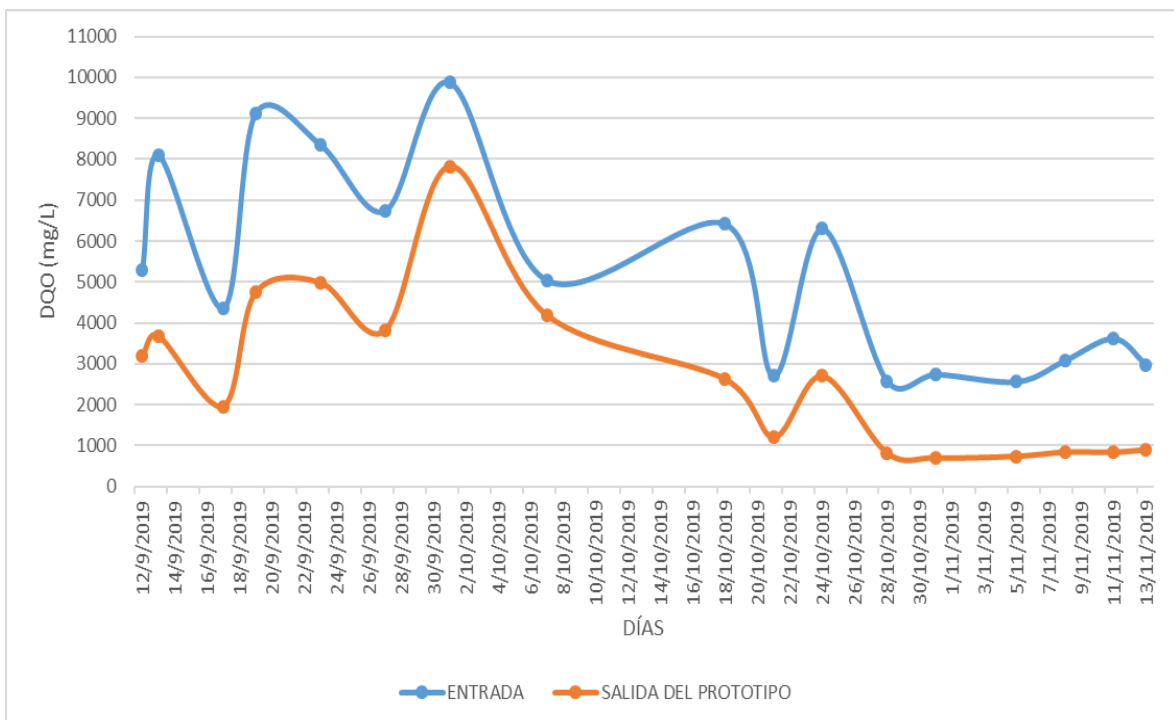
Figura 13: Medición de sólidos suspendidos



4.4.5. Medición del DQO.

En cuanto a la remoción del DQO reportado en la figura 14 se observa porcentajes de remoción del 50% alcanzando una disminución de la materia orgánica de hasta un 77%.

Figura 14: Medición del DQO

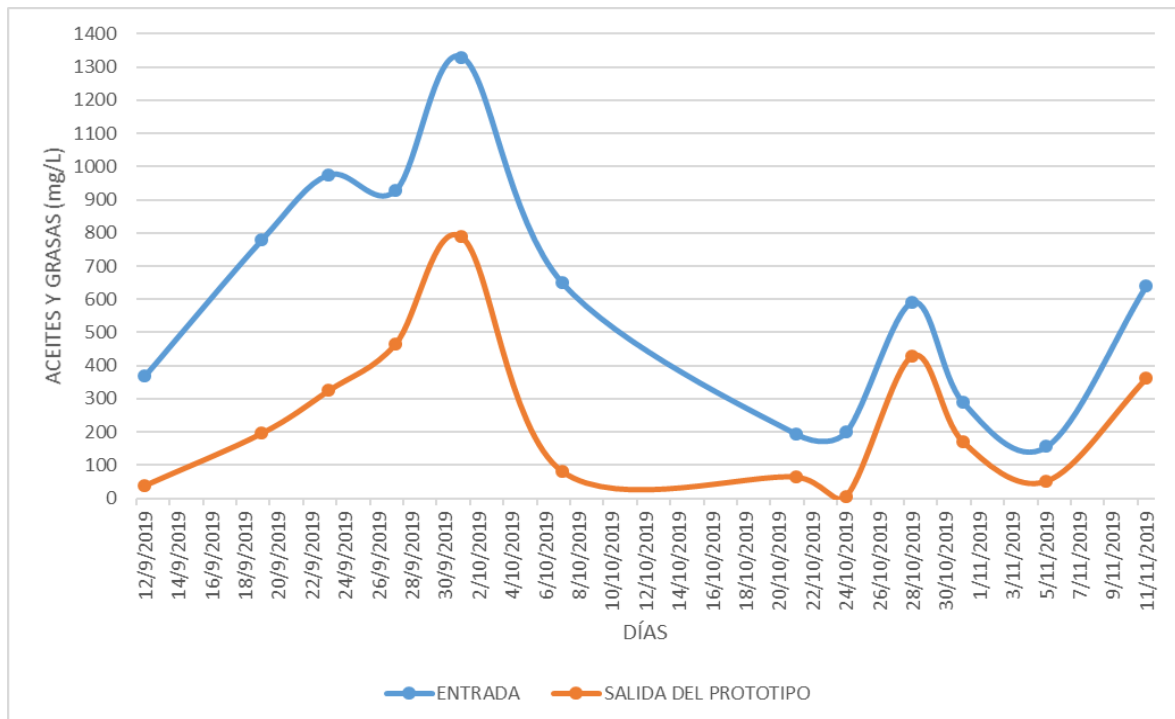


Según la investigación de (Cardoso, Ramírez, & Garzón, 2011) sobre “Vermifiltración para tratamiento de aguas residuales industriales y municipales TC1107.1” en filtros utilizando lombrices muestran que la eficiencia de remoción para la DQO fue de 80 % a 86 %.

4.4.6. Medición de aceites y grasas.

Los resultados obtenidos en la remoción de aceites y grasas durante el periodo de tratamiento en el sistema Tohá (figura 15), fueron mayores al 80% durante los primeros 15 días, a partir del día 16 los porcentajes de remoción disminuyeron debido a la saturación del biofiltro por el gran contenido de grasas de este tipo de aguas residuales generadas por la industria láctea. A partir del día 22 se realizó un pre tratamiento para disminuir el contenido de grasas dándonos porcentajes de remoción de las mismas de un 50% a 90%.

Figura 15: Medición de aceites y grasas



Según la investigación de (Vicente, 2016) sobre “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” se obtuvo un resultado del 99.40 % de remoción del mencionado parámetro, es decir que la remoción con este tipo de tratamiento es eficiente, ya sea por retención en los sustratos del biofiltro o por la degradación de las lombrices.

4.4.7. Determinación de materia orgánica

Figura 16: Porcentaje de materia orgánica

MUESTRAS	% MATERIA ORGÁNICA
Arena	1%
Arena + Agua residual	1%
Arena del prototipo seco superficie	3%
Arena del prototipo seco parte media	3%
Arena del prototipo seco fondo	2%
Arena del prototipo + Agua residual	2%

En la figura 16 se observa los resultados de la determinación del porcentaje de materia orgánica en diferentes capas del sustrato de arena en el cual se mantenían las lombrices, y se tiene un porcentaje del 2%.

4.4.8. Comprobación de hipótesis

Para la comprobación de hipótesis se utilizó el paquete estadístico SPSS, cuyos resultados se reportan a continuación en las tablas 3,4 y 5:

Tabla 3: Estadísticas de muestras emparejadas

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par	pH inicial	4,7585	40	,73074	,11554
1	pH salida	5,4545	40	,79779	,12614
Par	Turbidez inicial	267,4000	40	163,83337	25,90433
2	Turbidez salida	57,4168	40	23,39344	3,69883
Par	Sólidos Suspendidos inicial	820,7000	40	444,06971	70,21359
3	Sólidos Suspendidos salida	209,4500	40	98,78829	15,61980
Par	Aceites y Grasas inicial	592,2333	12	367,52651	106,09577
4	Aceites y Grasas salida	248,0667	12	234,03756	67,56082
Par	DQO inicial	5285,8824	17	2492,50642	604,52160
5	DQO salida	2689,4118	17	2008,53327	487,14087

Tabla 4: Correlación de muestras

Correlaciones de muestras emparejadas				
		N	Correlación	Sig.
Par 1	pH inicial & pH salida	40	-,199	,219
Par 2	Turbidez inicial & Turbidez salida	40	-,052	,751
Par 3	Sólidos Suspendidos inicial & Sólidos Suspendidos salida	40	,229	,156
Par 4	Aceites y Grasas inicial & Aceites y Grasas salida	12	,856	,000
Par 5	DQO inicial & DQO salida	17	,920	,000

Tabla 5: Prueba de muestras

Prueba de muestras emparejadas									
Diferencias emparejadas									
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	pH inicial - pH salida	-0,696	1,18422	0,18724	-1,07473	-0,31727	-3,717	39	0,001
Par 2	Turbidez inicial - Turbidez salida	209,98325	166,68765	26,35563	156,67395	263,29255	7,967	39	0
Par 3	Sólidos Suspendidos inicial - Sólidos Suspendidos salida	611,25	432,30626	68,35362	472,99175	749,50825	8,942	39	0
Par 4	Aceites y Grasas inicial - Aceites y Grasas salida	344,16667	206,24444	59,53764	213,1252	475,20813	5,781	11	0
Par 5	DQO inicial - DQO salida	2596,47059	1015,83058	246,3751	2074,1787	3118,76248	10,539	16	0

El criterio para decidir es:

- Si la probabilidad obtenida de P-Valor es menor o igual a alfa se rechaza la hipótesis 0 y se acepta la hipótesis 1

- Si la probabilidad de P-Valor es mayor que alfa se acepta H_0 y se rechaza H_1

Al comparar el P-valor (sig. bilateral) de cada uno de los parámetros analizados es igual 0.000 menor a alfa 0.005, lo que significa que existe una diferencia significativa entre las medias de los parámetros analizados antes y después del tratamiento por lo que se concluye que el sistema Tohá si tiene efectos significativos sobre la reducción de los contaminantes presentes en las aguas residuales provenientes de la industria láctea

CONCLUSIONES

- En la caracterización de la descarga de la microempresa “YOLACT” en la parroquia Ilapo perteneciente al cantón Guano, se determinó elevadas concentraciones de DQO (6923 mg/l), Sólidos suspendidos (941.7 mg/l), Aceites y Grasas (756 mg/l).
- Las lombrices pueden adaptarse a diferentes tipos de aguas residuales.
- La remoción al final del tratamiento fue: DQO del 77%, turbidez 68 %, sólidos suspendidos 65%, aceites y grasas 63%.
- El pH del sistema se neutraliza por la ayuda de las lombrices
- Existe un incremento de un 2% de materia orgánica en los 66 días de tratamiento.

RECOMENDACIONES

- Realizar pretratamientos para retirar partículas gruesas como las grasas y sólidos suspendidos que obstruyen las tuberías y los sustratos.
- Debe haber un control mecánico cada 4 días para voltear el sustrato en el que se encuentren las lombrices para evitar la compactación y por ende la muerte de las lombrices por la falta de oxigenación.
- Se debe implementar lombrices en su etapa adulta para que puedan consumir la materia orgánica mucho más rápido ya que las lombrices consumen diariamente un volumen igual a su peso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, J., & Reyes, J. (2017). *Eficiencia de Lumbricus terrestris y Eisenia foetida en el tratamiento de las aguas residuales en la ciudad de Bagua-Amazonas, 2015*. Bagua.
- Bautista, E., Hernández, E., Acevedo, D., Quintero, R., Diaz, P., & Robledo, E. (2016). Extracción de Metales Pesados por Lolium Perenne en Residuos de Mina. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1-16.
- Cardoso, L., Ramírez, E., & Garzón, M. (2011). Vermifiltración para tratamiento de aguas residuales industriales y municipales TC1107.1. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*, 1-169.
- Carrillo, Y., Cabrera, M., & Mejía, A. (2017). REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA MEDIANTE PROTOTIPO A ESCALA DE LABORATORIO. *La Granja: Revista de ciencias de la Vida*, 72-83.
- Cassano, A. (06 de Agosto de 2018). *CONICET*. Obtenido de CONICET: <https://santafe.conicet.gov.ar/lombrices/>
- Cornejo, M. (15 de Marzo de 2017). *FONDECYT*. Obtenido de FONDECYT: <http://www.cienciactiva.gob.pe/embajadores/la-biorremediacion-como-una-estrategia-para-eliminar-contaminantes>
- Durán, L., & Ladera, M. (2016). Biorremediación de Suelos Contaminados por Organoclorados mediante la Estimulación de Microorganismos Autóctonos, utilizando Biosólidos. *NEXO*, 22-28.
- Garzón, J., Rodríguez, J., & Hernández, C. (2017). Aporte de La Biorremediación para Solucionar Problemas de Contaminación y su Relación con el Desarrollo Sostenible. *Universidad y Salud*, 309-318.
- Islas, A., Peralta, M., Vega, L., & Aguilar, R. (2016). Biorremediación por bioestimulación y bioaumentación con microorganismos nativos de un suelo agrícola contaminado con hidrocarburos. *Biotecnología y Sustentabilidad*, 82-85.
- Izquierdo, A. (2013). *Biodegradación de HAPs Durante la Biorremediación Aeróbica de Suelos Contaminados con Hidrocarburos del Petróleo*. Barcelona: Universitat de Barcelona.

- Jacipt, A., León, J., & Castillo, N. (2015). Diseño de un Sistema Alternativo para el Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas por medio de la Técnica de Lombrifiltros utilizando la Especies Eisenia. *Revista Mutis*, 46-54.
- Lemay, N. (2016). *Diseño e Implementación de un Modelo Experimental Físico-Biológico para el Tratamiento de Aguas Residuales en la Comunidad Piscicaz Alto Filial a la Unión de Organizaciones Campesinas de San Juan "UCASAJ"*. Riobamba.
- Lima, J. (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*,. Zamora: Universidad Nacional de Loja.
- Maisin, C. (07 de Agosto de 2018). *Divulgación Científica*. Obtenido de <https://www.conicet.gov.ar/lombrices-de-tierra-vs-contaminantes-en-suelos/>
- Manrique , E., & Piñeros , 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*. Bogotá: Fundación Universidad De América.
- Paico, D. (2017). *Sistema Tohá, para el Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Cesar Vallejo*. . Chiclayo: Universidad Cesar Vallejo.
- Perdomo, T. (2014). *Lifeder*. Obtenido de Lifeder: <https://www.lifeder.com/biorremediacion/>
- Ríos, P., & Giuffré, L. (2018). Remediación de suelos contaminados con biodiésel. En L. Brutti, M. Beltrán, & I. García de Salamone, *Biorremediación de los recursos naturales* (págs. 231-258). Buenos Aires: INTA.
- Santamaría, F. E., Alvarez, F., Santamaría, D. E., & Zamora, M. (2015). Caracterización de los parámetros de calidad del agua para disminuir la contaminación durante el procesamiento de lácteos. *Agroindustrial Science*, 13-26.
- Tirado, D., Gallo , L., Acevedo, D., & Mouthon, J. (2016). Biotratamientos de aguas residuales en la industria láctea. *Produccion + Limpia*, 171-184.
- Ulloa, E. (2018). *Productos y Servicios de Biorremediación*. Costa Rica: Procomer.

Vázquez, M., & Palacios, G. (2014). Propuesta de biorremediación microbiana de vertimientos peligrosos, aceites de automóviles, mediada por PTAR compacta. *Latin American Journal of Science Education*, 1-26.

Vicente, 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. *Scielo*, 41-56.

ANEXOS

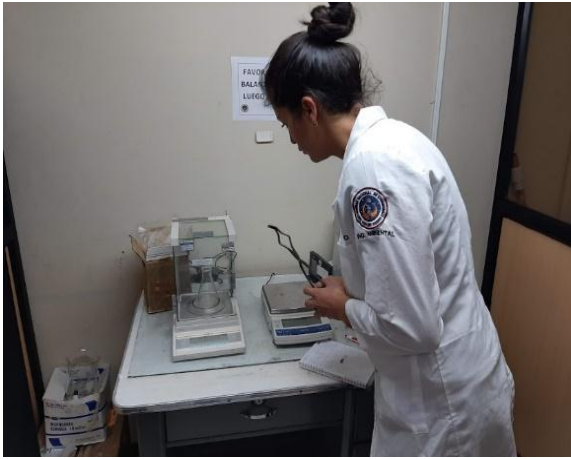
Anexo 1: Muestreo, caracterización, análisis en el laboratorio y funcionamiento del prototipo con el agua residual de la industria láctea.

Muestreo puntual



Análisis de los parámetros en el laboratorio





Sustratos del sistema Tohá



Funcionamiento del prototipo



Anexo 2: Tablas de promedios semanales de los parámetros analizados.

pH

PROMEDIOS SEMANALES	ENTRADA	SALIDA DEL PROTOTIPO
SEMANA 1	5,74	5,88
SEMANA 2	5,10	4,98
SEMANA 3	4,74	4,67
SEMANA 4	4,45	4,49
SEMANA 5	4,89	4,98
SEMANA 6	6,55	4,38
SEMANA 7	4,67	5,54
SEMANA 8	4,48	6,32
SEMANA 9	4,21	6,5675
SEMANA 10	4,02	6,3075

Conductividad

PROMEDIOS SEMANALES	ENTRADA	SALIDA DEL PROTOTIPO
SEMANA 1	2,53	2,68
SEMANA 2	3,76	3,88
SEMANA 3	7,16	7,02
SEMANA 4	16,26	16,97
SEMANA 5	1,34	1,81
SEMANA 6	1,17	1,20
SEMANA 7	6,87	5,74
SEMANA 8	11,47	12,25
SEMANA 9	5,24	4,74
SEMANA 10	7,91	9,66

Turbidez

PROMEDIOS SEMANALES	ENTRADA	SALIDA DEL PROTOTIPO
SEMANA 1	570,25	74,06
SEMANA 2	364,33	37,46
SEMANA 3	318,00	39,75
SEMANA 4	303,25	43,57
SEMANA 5	436,00	63,00
SEMANA 6	178,00	71,00
SEMANA 7	126,80	58,19
SEMANA 8	104,50	68,25
SEMANA 9	100,25	62,5
SEMANA 10	151,25	88

Sólidos Suspendidos

PROMEDIOS SEMANALES	ENTRADA	SALIDA DEL PROTOTIPO
SEMANA 1	1567,50	311,25
SEMANA 2	1098,33	137,67
SEMANA 3	986,67	158,33
SEMANA 4	800,00	170,50
SEMANA 5	1210,00	207,50
SEMANA 6	600,00	60,00
SEMANA 7	467,00	210,80
SEMANA 8	624,00	265,25
SEMANA 9	313,50	227,25
SEMANA 10	435,75	294

DQO

PROMEDIOS SEMANALES	ENTRADA	SALIDA DEL PROTOTIPO
SEMANA 1	6690,00	3430,00
SEMANA 2	6740,00	3350,00
SEMANA 3	7550,00	4400,00
SEMANA 4	9880,00	7820,00
SEMANA 5	5040,00	4180,00
SEMANA 6	6420,00	2620,00
SEMANA 7	4500,00	1950,00
SEMANA 8	2660,00	760,00
SEMANA 9	2820	790
SEMANA 10	3300	870

Aceites y Grasas

PROMEDIOS SEMANALES	ENTRADA	SALIDA DEL PROTOTIPO
SEMANA 1	369,60	38,40
SEMANA 2	779,20	196,00
SEMANA 3	951,20	394,80
SEMANA 4	1330,00	788,00
SEMANA 5	650,40	80,80
SEMANA 6	195,20	64,00
SEMANA 7	200,00	5,60
SEMANA 8	441,60	300,80
SEMANA 9	156,00	51,20
SEMANA 10	640,8	361,6