

Remoción de contaminantes de
las aguas mieles del café,
utilizando lombrices Eisenia
foetida y Lumbricus terrestris,
Moyobamba 2019
por MAGALY RUIZ CÓRDOVA

Fecha de entrega: 14-mar-2025 02:55p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2569117483

Nombre del archivo: TESIS_Magaly_Ruiz_C_rdova_12.03.2025.docx (5.55M)

Total de palabras: 9514

Total de caracteres: 49849



Esta obra está bajo una [licencia
Creative Commons Atribución -
4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)
Vea una copia de esta licencia en
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>



Obra publicada con autorización del autor



17
FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Tesis

Remoción de contaminantes de las aguas mieles del café, utilizando lombrices *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*, Moyobamba 2019

2
Para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Magaly Ruiz Córdova

<https://orcid.org/0008-0007-7128-8287>

Asesor:

Bigo. M.Sc. Alfredo Iban Díaz Visitación

<https://orcid.org/0000-0002-8130-7588>

Código N° 6051119

Moyobamba, Perú

2023



FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Tesis

Remoción de contaminantes de las aguas mieles del café, utilizando lombrices *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*, Moyobamba 2019

Para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Magaly Ruiz Córdova

Sustentado y aprobado el 20 de diciembre del 2023, ante el honorable jurado:

Presidente de Jurado

Ing. M.Sc. Julio César De La Rosa
Ríos

Secretario de Jurado

Bigo. M.Sc. Luis Eduardo Rodríguez
Pérez

Miembro del Jurado

Ing. M.Sc. Juan José Pinedo Canta

Asesor

Bigo. M.Sc. Alfredo Iban Díaz Visitación

Moyobamba, Perú

2023

Declaratoria de autenticidad

Magaly Ruiz Córdova, con DNI N° 47586725, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Remoción de contaminantes de las aguas mieles del café, utilizando lombrices *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris***, Moyobamba 2019.

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda información que contiene la tesis no ha sido auto plagada.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados; por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como parte a la realidad investigada.

Por todo lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Moyobamba, 20 de diciembre del 2023.



.....
Magaly Ruiz Córdova
DNI N° 47586725

Ficha de identificación

<p>Título del proyecto</p> <p>Remoción de contaminantes de las aguas mieles del café, utilizando lombricos <i>Eisenia foetida</i> y <i>Lumbricus terrestris</i>, Moyobamba 2019.</p>	<p>Área de investigación: Ciencia y tecnología ambiental Áreas de investigación: Saneamiento Ambiental Sublínea de investigación: Tratamiento de aguas Grupo de investigación: Tecnologías de tratamiento del agua, Resolución N° 521-2023-UNSM/CF/FE Tipo de investigación: Básica <input type="checkbox"/>, Aplicada <input checked="" type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input type="checkbox"/></p>
<p>Autor:</p> <p>Magaly Ruiz Córdova</p>	<p>Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental https://orcid.org/5008-0007-7195-5297</p>
<p>Asesor:</p> <p>Bigo, M.Sc. Alfredo Ivan Diaz Visitation</p>	<p>Dependencia local de soporte: Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental Unidad o Laboratorio Ingeniería Ambiental https://orcid.org/5000-0002-9130-7520</p>

Dedicatoria

A mis queridos padres y hermanos por su apoyo incondicional que me brindaron durante todos estos años de estudio.

A mi compañero de vida por estar siempre conmigo apoyándome en todos los momentos y así poder lograr una de mis metas.

43
A mi hijo, que es mi motor y motivo mi fortaleza para poder realizar todo lo que me propongo y seguir adelante.

Magaly

Agradecimientos

Agradecer principalmente a Dios; por la vida, la salud y la sabiduría que nos da cada día de nuestras vidas para así culminar con éxito nuestras metas.

Quiero expresar mi gratitud a cada miembro de mi familia, quienes fueron fundamentales para la realización exitosa de mi proyecto de tesis. De diversas formas, estuvieron a mi lado en los momentos felices, tristes y desafiantes.

Especialmente a mi asesor, quien me brindó todo su apoyo y orientación en el desarrollo de todo este proyecto de tesis, como también la trayectoria universitaria.

3 Índice general

Ficha de identificación	7
Dedicatoria	7
Agradecimientos	8
Índice general	9
Índice de tablas	11
Índice de figuras	12
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN	15
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	17
2.1. Antecedentes de la investigación	17
2.1. Fundamentos teóricos	18
2.1.1. Lumbicultura	18
2.1.2. <i>Eisenia foetida</i> "Lombriz Roja Californiana"	18
2.1.3. <i>Lumbricus terrestris</i> "Lombriz de tierra"	20
2.1.4. Sustrato para lombrices	21
2.1.5. Generalidades del "café" (<i>Coffea</i> sp)	21
2.1.6. Aguas mieles de "café" (<i>Coffea</i> sp)	24
2.1.7. Aguas residuales	25
2.1.8. Lombrifiltro Sistema Toha	25
2.1.9. Parámetros del diseño	26
2.1.10. Legislación ambiental	27
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.1. Ambito y condiciones de la investigación	29
3.1.1. Contexto de la investigación	29
3.2. Periodo de ejecución	29
3.3. Sistema de variables	29
3.4. Variables principales	29

	10
3.5. Variables secundarias.....	29
3.6. Procedimientos de la investigación.....	29
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1. Resultados.....	33
4.1.1. Parámetros físico-químicos (Temperatura, pH, DCO y DBO5) pre tratamiento.....	33
4.1.2. Resultado de la Eficiencia en la remoción de contaminantes.....	34
4.1.3. Comparación de resultados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA).....	38
CONCLUSIONES	41
RECOMENDACIONES	42
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
ANEXOS	46

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación taxonómica de <i>Eisenia foetida</i>	18
Tabla 2. Factores a tener en cuenta en la plantación de lombriz roja californiana	20
Tabla 3. Clasificación taxonómica de <i>Lumbricus terrestris</i>	21
Tabla 4. Clasificación taxonómica del café	21
Tabla 5. Fraccionamiento del fruto en % de peso húmedo	23
Tabla 6. Composición química de la pulpa del café	23
Tabla 7. Composición química del mucilago del café	24
Tabla 8. Límites Máximos Permisibles para los afluentes de PTAR	25
Tabla 9. Diseño de tratamientos	31
Tabla 10. Parámetros físico-químicos	33
Tabla 11. Parámetros físico-químicos	33
Tabla 12. Eficiencia en el pH	34
Tabla 13. Temperatura del agua de ingreso y salida durante el proceso de tratamiento	35
Tabla 14. Eficiencia en la DBO5	36
Tabla 15. Eficiencia en la DQO	36
Tabla 16. Comparación de los resultados obtenidos por los sistemas de tratamiento con los Límites Máximos Permisibles	38

Índice de figuras :

Figura 1: Comportamiento del pH pre y post tratamiento.....	34
Figura 2: Comportamiento de la Temperatura pre y post tratamiento.....	35
Figura 3: Comportamiento de la DBO ₅ al ingresar y salir del sistema de tratamiento ..	36
Figura 4: Comportamiento de la DQO al ingresar y salir del sistema de tratamiento ...	37
Figura 5: Porcentaje de eficiencia del sistema de tratamiento para la DBO ₅ y DQO	37

RESUMEN

Remoción de contaminantes de las aguas mieles del café, utilizando lombrices *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*, Moyobamba 2019

Esta investigación se realizó en el Distrito de Moyobamba, Provincia de Moyobamba, Departamento de San Martín. Su periodo de ejecución fue en los meses de mayo del 2019 al mes de enero del 2020, durante 08 meses. El objetivo fue determinar los parámetros físico-químicos (T°, pH, DBO₅ y DQO) de pre y post tratamiento de las aguas mieles del café. Con respecto al problema central fue el siguiente ¿Cuál es la remoción de contaminantes de las aguas mieles del café, utilizando lombrices *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*? En tanto a variables se consideró: *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*. Entre los tratamientos evaluados fueron: Testigo (T₀), *Eisenia foetida* (T₁) y *Lumbricus terrestris* (T₂). Como resultados se obtuvieron, el pH del agua de ingreso fue muy ácida con un valor de 3,62 y después del tratamiento se ha logrado mejorar las condiciones del pH con una salida del (T₁) de 5,80; (T₂) 4,99 y (T₃) 4,90. La temperatura del agua miel antes de ingresar al sistema de tratamiento fue de 25°C y los resultados de salida fueron (T₁) de 24°C, (T₂) de 24,5 y (T₃) de 24,5. La DBO₅ presentó un valor de 3841,3mg/L. Después del tratamiento el agua de salida fue del (T₁) de 809,8 mg/L, (T₂) 2 568,3 mg/L y (T₃) 2 780 mg/L. La DQO presentó un valor de 16 793 mg/L. Después del tratamiento se obtuvieron resultados (T₁) de 1 640 mg/L, (T₂) 5 420 mg/L, (T₃) 5 554 mg/L. En conclusión, se ha obtenido como resultado que *Eisenia foetida* ha logrado remover entre DBO₅ y DQO un 84,55%, mientras que *Lumbricus terrestris* lo hizo en un 50,45% de remoción de DBO₅ y DQO.

Palabras clave: Lombrifiltro, aguas mieles del café, *Eisenia foetida*, *Lumbricus terrestris*.

ABSTRACT

Removal of contaminants from coffee wastewaters, using *Eisenia foetida* and *Lumbricus terrestris* worms, Moyobamba 2019

This research was conducted in the District of Moyobamba, Province of Moyobamba, Department of San Martín. It was carried out from May 2019 to January 2020, for 08 months. The objective of the research was to determine the physicochemical parameters (T°, pH, BOD5 and COD) of pre and post treatment of coffee wastewater. The central problem was the following: What is the removal of pollutants from coffee wastewater using earthworms *Eisenia foetida* and *Lumbricus terrestris*? The variables considered were: *Eisenia foetida* and *Lumbricus terrestris*. The treatments evaluated were: Control (T₀), *Eisenia foetida* (T₁) and *Lumbricus terrestris* (T₂). The results showed that the pH of the inlet water was very acidic with a value of 3.62 and after treatment, the pH conditions improved with an output of (T₁) 6.80; (T₂) 4.99 and (T₀) 4.90. The temperature of the honey water before entering the treatment system was 25°C and the output results were (T₁) 24°C, (T₂) 24.5° and (T₀) 24.5°. The BOD5 presented a value of 3841.3 mg/L. After treatment, the output water was (T₁) 809.8 mg/L, (T₂) 2,566.3 mg/L and (T₀) 2,780 mg/L. The COD presented a value of 16 793 mg/L, after treatment, results were obtained as follows: (T₁) 1 640 mg/L, (T₂) 420 mg/L, (T₀) 554 mg/L. In conclusion, *Eisenia foetida* achieved 84.55% removal of BOD5 and COD, while *Lumbricus terrestris* achieved 50.45% removal of BOD5 and COD.

Key words: Worm filter, coffee wastewater, *Eisenia foetida*, *Lumbricus terrestris*.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

En la actualidad, Perú tiene una participación del 3% en el mercado global del "café". Este cultivo es de gran importancia para la economía nacional, siendo el principal producto de exportación agrícola. Además, desempeña un papel crucial como generador de divisas y empleo. Aproximadamente, se utilizan alrededor de 24 millones de jornales anuales en producción y procesamiento del café. La actividad cafetalera es muy relevante en la selva del país, obteniendo los mayores resultados en ciertas regiones como "Amazonas, San Martín y Cajamarca". Lo que ha convertido en el cultivo alternativo más significativo en comparación con la coca, siendo la principal fuente de ingresos para muchas familias. Esto se debe a que el cultivo del café se lleva a cabo en condiciones agroecológicas ideales, ciertas plantaciones se localizan en montañas tropicales de los Andes en alturas de 600 y 2.700 metros sobre el nivel del mar (Agrobanco, 2007).

La actividad cafetalera como tal deja muchos residuos entre ellos está el mucilago lo que a causa del inadecuado manejo contamina los cuerpos de agua superficial y subterráneo y así mismo diversas plagas (Cieza, 2002).

En tal sentido con el paso del tiempo en relación a la problemática se han creado leyes para ayudar a mitigar tales impactos negativos. Así mismo la investigación pretende dar una alternativa de solución por medio de lombrices "*Eisenia foetida*" y "*Lumbricus terrestris*". Cuyo funcionamiento radica en un filtro en la cual se adhieren las lombrices y al pasar el agua residual queda retenida la materia la cual es digerida por las lombrices y también por la microbiología existente.

Expuesta la problemática que se ocasiona después del proceso del café, no solo de la Provincia de Moyobamba, sino en todas las regiones productoras de café, nos hacemos la siguiente pregunta: ¿Cuál es la remoción de contaminantes de las aguas mieles del café, utilizando lombrices *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*?

En tal sentido el estudio fue de suma importancia por lo que planteó como objetivo general "determinar la remoción de contaminantes de las aguas mieles del café, utilizando lombrices *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*", así mismo, se trazaron los objetivos específicos:

Determinar los parámetros físico-químicos (Temperatura, pH, DQO y DBO₅) de pre y post tratamiento de las aguas mieles del café. Evaluar la eficiencia en la remoción de contaminantes de las aguas mieles del café utilizando lombrices *Eisenia foetida* y

Lumbricus terrestris. Comparar los resultados de remoción de contaminantes de las aguas mieles del café con los (ECA).²¹

Para determinar las cantidades de remoción de los contaminantes de las aguas mieles se aplicaron análisis en el laboratorio antes de ingresar al sistema de tratamiento, como también después del tratamiento.²⁹

En la investigación se planteó como hipótesis, la remoción de contaminantes de las aguas mieles del café, es eficiente utilizando lombrices **Eisenia foetida** y **Lumbricus terrestris**, Moyobamba 2019. Se ha planteado de esta manera, con el fin de poder determinar cuál de estas dos especies son más eficientes en la remoción de contaminantes.¹

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Román (2020), en su investigación denominada "Vermifiltración con lombriz roja (*Eisenia foetida*) para el tratamiento de aguas residuales". Los análisis de las pruebas de laboratorio revelaron disminuciones significativas de los parámetros evaluados en las aguas residuales residenciales tratadas. Por lo tanto, es crucial destacar que el vermifugo que contiene especies de *Eisenia foetida* es muy eficaz en la eliminación de parámetros físicos (temperatura y sólidos en suspensión totales), químicos (pH, nitrógeno total, fósforo total, aceites y grasas, demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno) y microbiológicos (coliformes totales). Esto es evidente por la disparidad en los valores de los parámetros entre las aguas residuales domésticas no tratadas y las aguas residuales domésticas tratadas en las tres fechas distintas.

Saboya (2018), en su tesis desarrollado en la Universidad Peruana Unión que examinaba la eficacia de un filtro de lombrices en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la zona de Chachapoyas. El estudio evaluó el rendimiento de dos especies de lombrices, *Lumbricus terrestris* y *Eisenia foetida*. Los resultados fueron positivos para la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), ya que redujo los parámetros analizados (DBO₅, DCO, nitrógeno total, coliformes totales, turbidez y pH) en un promedio de 87%. Por su parte, el *Lumbricus terrestris* los redujo en un 85%. El Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM determinó que ambos enfoques para el tratamiento de aguas residuales son aptos para el riego vegetal inestricto y limitado, así como para su uso como agua de bebida para animales.

Díaz y Zafra (2018), en su tesis denominada "Implementación de un lombrifiltro para el tratamiento de aguas residuales procedentes del camal municipal de Cajamarca en 2017". Se construyó un sistema prototipo para enfatizar la necesidad de tratar el efluente y garantizar su estado óptimo para su liberación al medio ambiente. Los resultados más favorables se obtuvieron durante la segunda interacción del experimento, con una disminución significativa del 96,86% de la DBO₅ y del 93,94% de la DCO. Las mediciones finales registradas fueron un pH de 7,23, una concentración de oxígeno disuelto (OD) de 7,25 mg/l, y una temperatura de 19,80°C. Estos valores estaban dentro del rango aceptable definido por la VMA.

Vizcaino y Fuentes (2016), en su investigación denominada "Efectos de *Eisenia foetida* y *Eichhornia crassipes* en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en

efluentes domésticos" Estuvo contemplado en un tiempo de evaluación de 30 días con tres tratamientos con tiempos de retención hidráulica de 24 h y caudal de 0,125 L/min (*E. foetida*) y 0,020 L/min (*E. crassipes*). Resultando que (T₁): *E. foetida* "biofiltro dinámico aeróbico de flujo vertical" resultó en DQO 89,2 % de eficiencia, mientras que (T₂): *E. crassipes* "sistema de flujo horizontal con plantas flotantes" eliminó el 100% de SST y el T₃): *E. foetida* + *E. crassipes* "sistema en serie" fue mejor en remoción en comparación a los dos tratamientos anteriores.

Salazar (2005), tesis denominada "Sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales" hace mención que la técnica de lombrifiltro es muy eficiente para remover contaminantes y microorganismos patógenos lo que de acuerdo a las variables de estudio está por encima del 80 %. En cuanto al sistema Tohá mejora la calidad del recurso hídrico para los diferentes usos, así mismo este modelo genera humus lo cual es viable para sectores rurales que tienen un impacto negativo mínimo y un impacto positivo en las personas y el ambiente ya que no genera lodos contaminantes.

2.1. Fundamentos teóricos.

2.1.1. Lombricultura

Esta es una práctica en la cual se cría lombrices en espacios controlados que tiene un fin el de producir humus además de producir grandes cantidades de lombrices las cuales representan una valiosa fuente de proteína. Se caracteriza por su enfoque ecológico, ya que aprovecha diferentes sustratos para alimentar a las lombrices, como excretas de animales y residuos sólidos que sirven como alimento para las lombrices. Esta práctica ofrece una solución sencilla, razonable y económica para abordar los problemas ambientales (Somariba y Guzmán, 2004).

2.1.2. *Eisenia foetida* "Lombriz Roja Californiana"

Es conocida como la lombriz californiana por el hecho de que fue en California donde se le dio énfasis al efecto de las lombrices por el humus y además que representaba generación de ingresos (Campos y Guzmán, 2014).

25
Tabla 1
 Clasificación taxonómica de *Eisenia foetida*

Reino	Animal
División	Articulados
Clase	Cilícelados
Orden	Haplotelidos
Familia	Lambricidos

Género	Eisenia
Especie	E. foetida

Fuente: García Castro O. 2005.

32
Características de la *Eisenia foetida* "lombriz roja californiana"

Tiene una boca desprovista de dientes y se alimenta succionando los alimentos. Los rayos ultravioletas pueden acabar con ella, estas se caracterizan por tener un cuerpo entre 120 a 175 segmentos, cubierta por una delgada cutícula y alcanza una longitud de 6 a 8 cm en su etapa adulta, con un diámetro de 3 a 5 mm con un color blanco rosado hasta el rojo oscuro en la etapa adulta, así mismo cabe mencionar que respira por su piel, además de ser hermafrodita. Sin embargo, no puede autofecundarse y requiere del apareamiento con otra lombriz de su especie. El apareamiento ocurre cuando dos lombrices se posicionan en paralelo y en sentido inverso, permitiendo la correspondencia entre los aparatos genitales masculinos y femeninos (Díaz, 2002).

Citellium: La parte anterior es de color blanco rosado y con forma de anillo, alberga una glándula encargada de segregar las sustancias necesarias para la formación de capullos o cocones donde se depositan los huevos fecundados con un tamaño de 2 a 3 mm de color verde amarillento, pero con el tiempo se vuelven verde rojizo. En condiciones favorables de humedad y temperatura, los capullos se abren entre los 14 y 21 días posteriores a su formación. Al emerger, las lombrices recién nacidas tienen aproximadamente 1 mm de longitud. En su estado adulto, pesan entre 0,8 y 1 g. Se alimentan diariamente de materia orgánica en descomposición, consumiendo el 100% de su peso. De esta ingesta, el 60% se excreta se traduce en abono y la otra parte lo asimila (Cañari, 2002).

Las lombrices alcanzan la madurez aproximadamente a los 90 días. A partir de este momento, están listas para el apareamiento con intervalos de 7 días, la cual por cada lombriz puede aumentar hasta 1,500 huevecillos por cada año. Las glándulas calcíferas producen carbonato de calcio. Estas glándulas desempeñan un papel importante en el control del pH y de inhibir el crecimiento de ciertos hongos y bacterias que puedan encontrar en algún sustrato (Díaz, 2002).

En cuanto a la regeneración, las lombrices tienen la capacidad de regenerar los segmentos que han perdido, pero esto solo ocurre siempre y cuando sean cortadas al final del intestino de lo contrario esta morirá. Es importante destacar que una lombriz está compuesta aproximadamente por un 80 de agua y un 20 % de materia sólida y contiene alrededor del 65% de proteína (Ferruzi, 1987).

16 día 2**Factores a tener en cuenta en la plantación de lombriz roja californiana**

N°	FACTORES	DESCRIPCIÓN
01	Ubicación de los canchales	Es recomendable colocar capas espesas de zacate sobre ellas para brindar seguridad y evitar la evaporación del sustrato. Además, es importante que estas capas permitan un fácil acceso a las lombrices.
02	La superficie debe ser casi plana	La pendiente debe ser menor 20 % pero tampoco debe ser susceptible a inundarse por qué debe tener drenaje las instalaciones así teniendo en cuenta la dirección del viento.
03	Iluminación	Es recomendable tener a las lombrices bajo sombra o techo por el sentido de que estas son altamente sensibles a los rayos solares lo que les ocasiona la muerte.
04	Humedad	Esta debe estar en un rango entre el 75 al 80 %, cabe recalcar si está por debajo de los 70 % la reproducción baja y si está por debajo del 60% estas tienen a morir.
05	Temperatura	En líneas generales, las lombrices pueden habitar en un amplio rango de temperaturas, que va desde 0 hasta 35 °C. Sin embargo, se debe tener en cuenta que las temperaturas alrededor de los 25 °C son especialmente favorables para su desarrollo y bienestar.
06	pH	Los niveles de este parámetro deben estar entre los 6.8 a 7.2 que representan lo óptimo para la cría de lombrices.
07	Aireación	El aire es indispensable en todos los procesos por lo que se debe realizar la remoción como máximo cada 7 días.

Fuente: Bonavita y Guzmán, 2014.

2.1.3. Lumbricus terrestris "Lombriz de tierra"

Cumplen un rol fundamental ya que, gracias a su actividad, remueven y airean el suelo, mejorando su fertilidad. Además, son una fuente de alimento para pequeños mamíferos, anfibios y aves. Estos organismos presentan un cuerpo dividido en numerosos segmentos o secciones. Aunque carecen de visión, audición y olfato, poseen órganos sensoriales llamados prostomios cerca de la boca para detectar la luz y las vibraciones. Su cuerpo es alargado y cilíndrico, con ambos extremos puntiagudos, siendo la cabeza la parte más afilada y la cola la menos puntiaguda. Una característica distintiva de las lombrices de tierra adultas es una banda engrosada de color ligeramente pálido llamada clitelo, que se encuentra en su cuerpo. (https://www.rapaluru.org/sitio_1/organicos/articulos/Lombriz_tierra_agricultura_a_grotoxicos.pdf)

Hay variaciones de color entre la parte superior e inferior del cuerpo, así como en diferentes, pero las lombrices de tierra suelen tener un color uniforme que va desde un pálido rojo hasta un marrón claro, con tonalidades que pueden variar entre un rosa mate. No tienen parápodos ni "pies". La cabeza es pequeña, carece de órganos visuales y en su extremo se encuentra la boca. No poseen pulmones y obtienen oxígeno a través de la piel (RUPAL, 2010).

Tabla 3
Clasificación taxonómica de *Lumbricus terrestris*

Reino	Animal
División	Artrópodos
Clase	Chelicerados
Orden	Haplópodos
Familia	Lumbricidae
Género	<i>Lumbricus</i>
Especie	<i>L. terrestris</i>

Fuente: Garenia-Cachero CI, 2005

2.1.4. Sustrato para lombrices

La primera capa sobre la cual se colocan las lombrices debe contener entre un 20% y un 25% de celulosa. Por lo general, esta capa está compuesta de estiércol, el cual debe estar descompuesto previamente para evitar que la temperatura supere los 25°C. Durante la fermentación y descomposición, el estiércol puede alcanzar temperaturas de hasta 70 u 80 °C, lo cual, junto con la acidez y los gases producidos durante el proceso, puede ser letal para las lombrices. La descomposición del estiércol ocurre una vez que entra en contacto con el ambiente. Para reducir rápidamente la acidez del sustrato, se puede añadir carbonato de calcio en una proporción de 300 gramos por cada metro cuadrado. Es importante que el pH del sustrato se establezca en un rango de 6 a 8.5 (Cando, 1996).

2.1.5. Generalidades del "café" (*Coffea sp*)

El café es el segundo producto a nivel mundial e importancia económica, la calidad de este producto está en relación a tres aspectos los cuales son el cultivo, procesamiento y almacenamiento. Cabe recalcar que de los 80 países en promedio de productores de café 50 de ellos lo exportan (Cieza, 2002).

Tabla 4
Clasificación taxonómica del café

Reino	Vegetal
División	Artrópoda
Clase	Dicotiledóneas
Subclase	Simpetales
Orden	Rubiales

Familia	Rubiacea
Género	Coffea
Especie	Arábica, Canéfora, Ibérica, etc.

Fuente: Méndez, 2010.

Botánica del "café" (*Coffea sp*)

El café es una planta arbusto dicotiledónea perenne. En su forma silvestre, puede llegar a alcanzar una altura de 10 metros, pero en las plantaciones controladas de café, suele mantenerse alrededor de los 3 metros, lo cual facilita la recolección. La familia Rubiaceae está compuesta por aproximadamente 500 géneros y más de 6.000 especies. Se encuentran en la parte baja de bosques tropicales teniendo en cuenta que las ramas principales se disponen de manera opuesta, ya sea horizontalmente o colgando, y las hojas crecen en pares a lo largo de tallos cortos. Estas hojas suelen tener una longitud aproximada de 15 cm y presentan un color verde oscuro y un brillo característico (Sandoval, 2019).

Las primeras flores de la planta de café aparecen entre los 3 y 4 años de edad de color blanco cremoso y un aroma dulce. Se presentan en racimos en las axilas de las hojas, y la corola tiene aproximadamente 20 mm de longitud, dividida en cinco pétalos. Posterior a ello se transforman en drupas por lo que cada flor se transforma en un grano que alcanza una longitud de hasta 18 mm y un diámetro de 10-15 mm y dicho proceso se da una vez al año (Pérez y Morales, 2011).

Frutos del "café" (*Coffea sp*)

Es conocido como cereza. Según "se refiere al fruto fresco completo del árbol de café, el cual está compuesto por varias capas que generalmente envuelven dos granos de café" (Sagarpa, 2004). Estas capas externas reciben diferentes nombres:

- **Cáscara o pericarpio:** Es lo que envuelve a todo el fruto
- **Pulpa o exocarpio:** Es la parte carmosa que se ubica por debajo de la cáscara
- **Mucilago o mesocarpio:** "Sustancia viscosa que se encuentra junto al endocarpio"
- **Pergamino o endocarpio:** Es la capa que recubre a la semilla
- **Cutícula:** Es la película que cubre al grano y es de color blanco

Grano de café: "semillas contenidas en la fruta del café. Normalmente existen dos en cada fruta, pero puede haber sólo una o hasta tres" (Sandoval, 2007).

Tabla 5
Fraccionamiento del fruto en % de peso húmedo

Fraccionamiento del fruto del café	% en peso
Pulpa (residuos)	42,0
Mucilago y azúcares solubles	16,0
Cascarilla (residuos)	4,0
Semilla	20
Agua	1,3
Total	100

Fuente: García, 2007.

La pulpa del "café" (*Coffea sp*)

Es un residuo sólido lo que en total se estima un 40 % del café maduro lo que representa un gran problema de no ser tratada por la contaminación. Así mismo cabe indicar que de la pulpa fresca el 80 % es humedad (ICATIE, 1974). Otro autor hace referencia entre el 75 y 80% de humedad que contiene la cascara fresca (PROMECAFE, 1992). Considerado un producto secundario de más cantidad, representando un aproximado del 40% del del total del fruto pesado; así mismo en Costa Rica se aprovecha como abono en las parcelas de café" (García, 2014).

Tabla 6
Composición química de la pulpa del café

Compuesto	Base seca (%)
Tannos	1,80 – 8,56
Sustancias péptidas totales	8,5
Azúcares reductores	12,4
Azúcares no reductores	
cafeína	2,0
Ácido clorogénico	1,3
Ácido cafeico total	2,6
Celulosa	1,8
	27,6

Fuente: Elias, 1979

Mucilago del "café" (*Coffea sp*)

El mucilago es un subproducto del café que presenta un alto nivel contaminante debido a que presenta sustancias químicas, siendo así que un millón de costales que pesan 60 kg de café en grano, originan alrededor de 55,500 tn de mucilago fresco, siendo peligroso que este subproducto no se utilice de manera adecuada, ya que podría producir contaminantes que equivalen a lo originado anualmente por los desechos

orgánicos (heces y orín) que son producidos por 310, 000 pobladores, aplicando la terminología DBD₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno) (Rodríguez, 2009).

Tabla 7

Composición química del mucilago del café

Compuesto	Base seca (%)
Sustancias pépticas totales	53,8
Azúcares totales medios	45,8
Azúcares reductores	30
Azúcares no reductores	20
celulosa	17

Fuente: Cárdenas y Ortiz, 2014

Fermentación del mucilago del "café" (*Coffea sp*)

El mucilago se encuentra en el mesocarpio del fruto del café, siendo requerido su eliminación durante el procedimiento de humedad con el fin de elaborar un café suave lavado, similar al producto de Colombia. Representando un aproximado del 15% del peso del fruto fresco y tiene una constitución específica. Durante el proceso de fermentación, se producen diversas reacciones bioquímicas que permiten que el mucilago se disuelva en agua después de 10-15 horas. "La fermentación se lleva a cabo en el mucilago y no en el grano de café, y su propósito principal es facilitar el lavado adecuado del café. Por lo tanto, es más preciso referirse a este proceso como fermentación del mucilago" (Cárdenas y Ortiz, 2014).

Un fermentado tradicional es un procedimiento crítico en el periodo de humedecimiento, refiriéndose a conservar la calidad del fruto, controlando rigurosamente la duración del procedimiento, evitando un fermentado excesivo lo que causa olor y sabor a vinagre, cebolla nauseabunda y piña madura (Cárdenas y Ortiz, 2014)

2.1.6. Aguas mieles de "café" (*Coffea sp*)

El recurso hídrico utilizado durante el proceso de despulpado, así como el lavado del fruto es convertido en agua residual. Estas aguas pueden ser especialmente perjudiciales si se descargan en cuerpos de agua, ya que suelen tener un alto nivel de acidez y contenido de materia orgánica. En caso de una retención en fosa o laguna, puede existir riesgos de contaminación de los flujos hídricos subterráneos (Molina, 1999).

La pulpa y el macilago están compuestos por sustancias físico químicas que, al ser lavados, contaminan el agua con partículas, materia orgánica, ácidos orgánicos, nitrógeno, etc. (ANACAFE, 2005). Así mismo estas aguas tienen una alta carga de azúcares, materia orgánica, materia soluble lo que a causa de esto una contaminación significativa (García, 2014).

2.1.7. Aguas residuales

El agua residual (AR) se refiere al agua que ha experimentado cambios en su composición a causa de las actividades antropogénicas. Estos contaminantes afectan los ecosistemas acuáticos y su entorno. Las aguas residuales pueden tener diversas composiciones y se clasifican según su origen en "aguas residuales domésticas (ARD), industriales, de infiltración y pluviales" (Metcalf y Eddy, 2003).

- **Domésticas:** Utilizadas con fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, etc.).
- **Industriales:** Las aguas residuales industriales son líquidos que se producen como resultado de los procesos industriales. Estas aguas tienen características particulares que varían según el tipo de industria en cuestión.
- **Infiltración y caudal adicionales:** Las aguas se infiltran por medio de los empalmes, paredes de las tuberías en mal estado entre otras (Barrios, 2012).
- **Pluviales:** Básicamente es la precipitación de pluvial que va hacia el suelo en la cual en su porcentaje va por un drenaje y otra parte va por la superficie de la tierra acarreado material particulado (Barrios, 2012).

Tabla 8
Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformos Termo tolerantes	NMP/100mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6,5-8,5
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	±35

Fuente: Ministerio del Ambiente

2.1.8. Lombrifiltro Sistema Toha

El lombrifiltro consiste principalmente en tres capas y utiliza lombrices del tipo *Eisenia foetida*. Está compuesto por una base filtrante, seguida de una capa de ripio o grava.

En la parte superior, se coloca aserrín o viruta, y es allí donde las lombrices empiezan a vivir por un periodo de tiempo determinado. La sustancia orgánica que queda atrapada en el medio filtrante es eliminada por una población de microbios y las lombrices adheridas al medio, las cuales se encargan de descomponer la sustancia orgánica que utilizan como alimento produciendo humus de a través de sus excrementos, que se pueden extraer periódicamente y utilizar como fertilizante orgánico para el suelo. En cuanto al líquido residual pasa por un filtro de arena cubierto de celulosa en la que las partículas quedan retenidas (Salazar, 2005).

Una propiedad relevante es la elevada capacidad de retención del lombrifiltro, gracias a la movilidad de la lombriz, lo que provoca que el filtrado se realice rápidamente y se evite la generación de malos olores, así como la propagación de insectos como moscas y otros (Salazar, 2005).

2.1.9. Parámetros del diseño

El filtro de lombrices se fundamenta en la elaboración de un equilibrio de masa que contempla el volumen de gusanos que pueden coexistir por unidad de superficie, la cantidad de materia orgánica que estos pueden procesar y la velocidad máxima a $1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$. De este modo, se toma en cuenta para el diseño:

$$T_{\text{respo}} = \frac{V}{A} \leq \frac{1 \text{ m}^3}{1 \text{ m}^2/\text{día}}$$

Una vez determinado el caudal de diseño y tasa de riesgo se calcula el área a tratar

Eficiencia del tratamiento. A continuación, se muestran los siguientes datos en remoción:

- 95% de la DBO
- 95% de Sólidos Totales.
- 93% de los Sólidos Suspendidos Volátiles.
- 80% Aceites y Grasas.
- 60% a 80% de Nitrógeno Total.
- 60% a 70% del Fósforo Total.
- Coliformes fecales: 99%.

La capa filtrante es a base de un espesor de 2 cm en la cual estará habitada por microorganismo y las lombrices *Eisenia foetida* que está compuesta por tres capas. La primera capa de soporte, que también actúa como filtro, consiste en aserrín o viruta cuyo

espesor debe ser de al menos 25 cm para lograr la franja operativa necesaria para las lombrices. "Además, su objetivo principal es servir como alimento para las lombrices en caso de que la carga contaminante del afluente no sea suficiente" (Cobex, 2012).

La segunda capa está compuesta por ripio o grava, mientras que la tercera capa está formada por bolones con un espesor aproximado de 25 cm. Las piedras más grandes se colocan en la parte inferior y las más pequeñas en la parte superior. Esta capa está destinada a la aireación y el drenaje del sistema (Cobex, 2012).

La base del filtro está compuesta por un radiar con pendiente del 1% que permita que fluya el agua hacia la canalota que está a una pendiente de 0.5%. En lo que respecta al radiar, se encuentran losas de cemento vibrado que descansan sobre soportes de cualquier material resistente e inerte. Estas losas están disponibles en varias dimensiones y están separadas por una distancia aproximada de 2 cm. Las piedras más grandes se colocan por encima de las más pequeñas, sobre todo de las que tienen un diámetro superior a 2 cm, para evitar que descendan. Se colocan tubos de PVC de 110 mm de diámetro alrededor del perímetro interior del filtro de lombriz a un intervalo medio de 2 m. Los tubos se apilan verticalmente y se apoyan en la base del radiar. Se extienden 20 cm por encima del lecho filtrante, que consiste en humus. Los tubos están equipados con aberturas de 10 mm de diámetro, espaciadas uniformemente tanto en los 20 cm inferiores como en los 6 cm superiores. Las perforaciones facilitan la aireación tanto de la región del falso fondo como de la capa subsiguiente del soporte (Salazar, 2005).

2.1.10. Legislación ambiental

En el Perú, actualmente no existe una regulación legal específica que controle los permisos para construir y operar plantas de beneficio húmedo de café (*Coffea sp.*), especialmente en lo que respecta al adecuado control de las aguas residuales generadas durante todo el proceso del café. Sin embargo, contamos con la Ley N° 29338 - Recursos Hídricos (2009), que establece en su Art. 34 que el uso del agua debe ser eficiente y respetar los derechos de terceros, "promoviendo la conservación o mejoramiento de las características físico-químicas del agua y el régimen hidrológico en beneficio del ambiente, la salud pública y la seguridad nacional". Asimismo, el Artículo 79 establece que la Autoridad Nacional debe autorizar el vertido de agua residual tratada en cuerpos naturales de agua, sobre el cumplimiento de los (ECA-Agua) y (LMP), y que está prohibido verter agua residual sin dicha autorización. (DEFA, 2014)

Cuando se exceden los parámetros mediante la contaminación de cuerpo de agua superficial mediante el vertimiento, o arrojó de residuos y así mismo a las aguas

subterráneas se le denomina una intracción de acuerdo a ley de recursos hídricos N° 29338 (CEFA. 2014)

3 CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. **Ámbito y condiciones de la investigación**

3.1.1. **Contexto de la investigación**

La investigación se ha desarrollado en el distrito de Moyobamba, Provincia de Moyobamba, Departamento de San Martín. En el Jr. 28 de julio número 110, Barrio de Lullucucha.

3.2. **Periodo de ejecución**

Se ejecutó en los meses de mayo del 2018 al mes de enero del 2020

3.3. **Sistema de variables**

3.4. **Variables principales**

Eisenia foetida

Lumbricus terrestris

3.5. **Variables secundarias**

Contaminantes de las aguas mieles del café.

3.6. **Procedimientos de la investigación**

5 **Determinar los parámetros físico-químicos (Temperatura, pH, DQO y DBO₅) de pre y post tratamiento de las aguas mieles del café.**

Cada sistema utilizaba tres sistemas idénticos de tratamiento de flujo continuo, diseñados para reproducir una planta de tratamiento biológico a pequeña escala utilizando una configuración continua de agua por goteo. En estos sistemas se introdujeron las especies *Eisenia foetida*, a menudo conocida como "lombriz roja", y *Lumbricus terrestris*, también conocida como "lombriz de tierra".

La construcción se llevó a cabo de la siguiente manera para garantizar la simplicidad del proceso, la comodidad de manejo y el acceso conveniente a los recursos.

32 **Tanque de almacenamiento.** Se compró y se adaptó un balde de 12 litros para almacenar el agua miel del café para poder ser distribuido a cada uno de los tratamientos. Ver imagen N°04

Fuente de ingreso. Se construyó un sistema de tubería de 1/2", con un ingreso de aguas mieles a cada uno de los tratamientos y también contó cada uno con una llave de control, para así poder medir el ingreso del agua.

5 Construcción de los acuarios. Se construyeron 3 acuarios de material de vidrio, para el tratamiento con medidas de "36 cm de altura, 10 cm de ancho y 30 cm de largo" y una capacidad de 0,010 m³ c/u.

Instalación de los Sistemas. Se utilizaron "03 acuarios de vidrio de las siguientes dimensiones: 36 cm de altura, 10 cm de ancho y 30 cm de largo. El volumen de los acuarios fue de 10 litros (0,01m³ c/u)". Los acuarios se abastecieron con agua miel derivada del café. Esta agua se alimentaba a través de un cubo de almacenamiento y luego se distribuía a cada tratamiento mediante tuberías de conducción individuales. Para regular el caudal, se instalaron válvulas de control adecuadas. El diseño de los acuarios incluía capas de distintos materiales: 8 cm de grava gruesa en la base, seguidos de 8 cm de grava fina, 8 cm de serrín y, por último, 12 cm de compost para *Eisenia foetida* y 12 cm de tierra para *Lumbricus terrestris*.

Para la selección de las lombrices. Se contó con 250g. *Eisenia foetida* y 250g. *Lumbricus terrestris*, las cuales se colocaron en la parte superior de cada tratamiento y estas se inocularon en cada sustrato.

Recolección de las especies de lombrices. La *Lumbricus terrestris* se extrajo de un suelo húmedo y la *Eisenia foetida* se hizo por medio de compra.

5 Adaptación de la Eisenia foetida y Lumbricus Terrestris en el agua miel del café. Se tomó como base a (Mendieta, 2011) para este caso se realizó en un periodo de 10 días en la cual al sexto día ya las lombrices presentaban un clima favorable.

5 Relleno de los acuarios biofiltro. Sobre el fondo de cada acuario se colocaron de forma manual una capa de grava gruesa de 2 cm aproximadamente y se añadió grava fina de 1cm aproximadamente, posteriormente "se cubrió con la malla tipo raschel sobre la capa de gravas y sobre esta se colocaron una capa de aserrín, y finalmente una capa de compost y tierra en cada acuario con lombrices previamente adaptadas al agua miel del café", y se dejó escurrir agua miel sobre el acuario de vidrio. Ver imagen N°05

5 Medición del caudal de entrada al acuario. Para ello se utilizó el método volumétrico:

$$Q = V/T = 12\ 000\ \text{ml} / 1\ 4400\ \text{S.} \quad Q = 8.33\ \text{ml} / \text{s} / 3\ \text{acuarios} = 2.77\ \text{ml} / \text{s.}$$

Toma de muestra. Se realizaron dos tomas de muestras, la primera fue al ingreso del agua miel del café y la segunda toma fue a la salida del agua, un agua ya con su debido

tratamiento y se colocaron en envases debidamente esterilizados para ser analizados. Ver imagen N°08

Análisis de las muestras. Se realizaron estudios de campo y de laboratorio para evaluar la eliminación de contaminantes de las mieles de agua de café.

Diseños experimentales con Pre prueba – Post prueba: Hace mención a un análisis antes y después del tratamiento para así dar respuestas a la problemática planteada y a su vez la comprobación de la hipótesis para así lograr el objetivo planteado. Para estudios de enfoque cuantitativo el diseño sirve para el análisis de la hipótesis o también es indispensable para el aporte de evidencias respecto a la línea del estudio (Hernández, 2003).

ANTES		DESPUÉS DE SIETE DIAS	
G. TESTIGO	A1		A2
G. EXPERIMENTAL	B1	ESTIMULO X	B2
G. EXPERIMENTAL	C1	ESTIMULO Y	C2

Donde:

- A1, B1, C1 : Pre-Tratamiento
 Estimulo X, Y : *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*
 A2, B2, C2 : Post-Tratamiento

Tabla 9

Diseño de tratamientos

N° DE TRATAMIENTOS	TRATAMIENTOS (Especies)
T ₀	Testigo
T ₁	<i>Eisenia foetida</i>
T ₂	<i>Lumbricus terrestris</i>

Donde

T₀: Testigo

T₁: Tratamiento con *Eisenia foetida*

T₂: Tratamiento con *Lumbricus terrestris*

Evaluar la eficacia de la utilización de lombrices de tierra para eliminar los contaminantes del agua del café con *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*.

La eficiencia de remoción de los contaminantes de las aguas mieles del café fueron comparadas entre especies obteniendo como resultado que *Eisenia foetida* ha logrado

remover entre DBO5 y DCO un 84,55%, mientras que *Lumbricus terrestris* lo hizo en un 50,45% de remoción de DBO5 y DCO. Siendo un resultado favorable para la remoción de contaminantes de las aguas mieles del café.

Comparar los resultados de remoción de contaminantes de las aguas mieles del café con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA).

La categoría III de aguas de la ECA establece el requisito de que el agua utilizada para el riego de cultivos y el consumo animal debe tener un nivel de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) de 15 mg/l. El análisis posterior al tratamiento arrojó una concentración de 809,8 miligramos por litro.

La normativa sobre aguas de categoría III del TCE estipula que el agua utilizada para el riego de cultivos y el consumo animal debe tener un nivel de Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 40 mg/L. El tratamiento arrojó una concentración máxima de 1.640 mg/L.

12
CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Parámetros físico-químicos (Temperatura, pH, DQO y DBO₅) pre tratamiento.

Tabla 10
Parámetros físico-químicos

Parametro	Unidad de medida	Agua miel de café Pre Tratamiento		
		T ₀	T ₁	T ₂
pH	Unidad de pH	5,62	-	-
T°	C°	25	-	-
DBO ₅	mg/l	3 841,3	-	-
DQO	mg/l	16 790	-	-

Fuente: Elaboración propia

Parámetros físico-químicos (Temperatura, pH, DQO y DBO₅) post tratamiento.

Tabla 11
Parámetros físico-químicos

Parametro	Unidad de medida	Agua miel de café Post Tratamiento		
		T ₀	T ₁	T ₂
pH	Unidad de pH	4,9	6,8	4,99
T°	C°	24,5	24	24,5
DBO ₅	mg/l	2 780	899,8	2 568,3
DQO	mg/l	5 554	1 640	5 420

Fuente: Elaboración propia

Vizcaino y Fuentes (2016), establece que: en la eliminación de sustancias orgánicas, nutrientes y bacterias coliformes en los desechos domésticos. Durante un periodo de un mes, se aplicaron tres procedimientos: T₁: *Eisenia foetida* (filtro biológico dinámico aeróbico de flujo vertical); T₂: *Eichhornia crassipes* (sistema de flujo horizontal con plantas flotantes) y T₃: *Eisenia foetida* + *Eichhornia crassipes* (sistema en serie). T₁ demostró ser más eficaz en la eliminación de DQO en un 89,2%, T₂ eliminó el 100% de SST, mientras que T₃ informó las mejores eficiencias de eliminación para las otras variables analizadas. Sin embargo, en este estudio se estableció que T₁: *Eisenia foetida* utilizada para la eliminación de contaminantes en las aguas residuales del café, es recomendable. Ya que se ha logrado eliminar un 90,2% de la DQO.

4.1.2. Resultado de la **5** Eficiencia en la remoción de contaminantes

Tabla 12

Eficiencia en el pH

Parámetro	Unidad de medida	Agua de ingreso	Tratamientos		
			Agua de salida Testigo T ₀	Agua de salida <i>Eisenia foetida</i> T ₁	Agua de salida <i>Lumbricus terrestris</i> T ₂
pH	Unidad de pH	3,62	4,90	6,80	4,99
Eficiencia (%)			37,83%	94,08%	40,53%

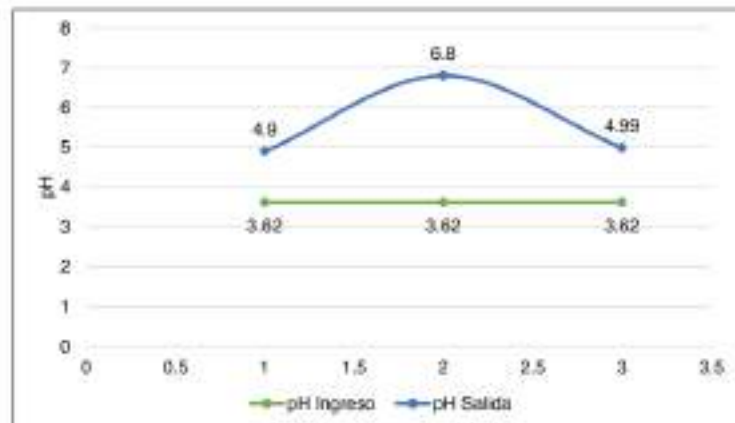


Figura 1

Comportamiento del pH pre y post tratamiento.

Interpretación: En la figura 1 se evidencia los resultados del pH donde; el agua de ingreso fue ácido, con un valor de 3,62 "está por debajo del valor establecido en los ECA para agua categoría III (6,5–8,5 para riego y 6,5–8,4 para bebida de animales). Después del tratamiento se puede observar valores de pH" en el *Eisenia foetida* (T₁) 6,80; *Lumbricus terrestris* (T₂) 4,99; Testigo (T₀) 4,90. Se puede considerar que hay mejores resultados en el T₁ con la *Eisenia foetida* (lombriz roja californiana) con un pH de 6,80.

Eficiencia en la Temperatura

Se aprecia lo siguiente:

Tabla 13

Temperatura del agua de ingreso y salida durante el proceso de tratamiento

Parámetro	Unidad de medida	Agua de ingreso	Tratamientos		
			Agua de salida Testigo (T ₂)	Agua de salida Eisenia foetida (T ₁)	Agua de salida Lumbricus terrestris (T ₃)
T°	°C	25	24,5	24	24,5
Eficiencia (%)			2%	-4%	2%

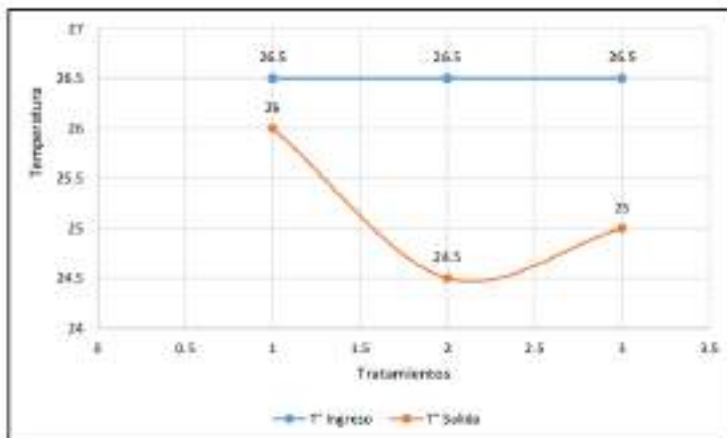


Figura 2
Comportamiento de la Temperatura pre y post tratamiento.

Interpretación: La figura 2 muestra los valores registrados para la temperatura de entrada y de salida. El agua de entrada presentaba una temperatura más elevada, de 26,5 grados Celsius. La variación de la temperatura del agua del ECA es de tres grados Celsius. La temperatura media del agua en esta zona es de 26 °C. Por lo tanto, para esta investigación, los parámetros de temperatura se fijaron entre 23 °C y 29 °C. Según el gráfico, las lecturas de temperatura no superan el valor especificado en el ECA.

Tabla 14
Eficiencia en la DBO₅

Parámetro	Unidad de medida	Agua de Ingreso	Tratamientos		
			Agua de salida Testigo (T ₀)	Agua de salida Eisenia foetida (T ₁)	Agua de salida Lumbricus terrestris (T ₂)
DBO ₅	Mg/l	3 841,3	2 780,0	800,8	2 568,3
Eficiencia (%)			27,6 %	78,9 %	33,1 %



Figura 3
Comportamiento de la DBO₅ al ingresar y salir del sistema de tratamiento

Interpretación: En la figura 3 se observa que la DBO₅ del agua de ingreso tiene un valor de 3 841,3 mg/L, este valor "sobrepasa lo establecido por los ECA para categoría III (15 mg/L para riego y bebida de animales); después del tratamiento se puede observar una "disminución" especialmente con el tratamiento de *Eisenia foetida* (lombriz roja) los valores son de 8 mg/L.

Tabla 15
Eficiencia en la DCO

Parámetro	Unidad de medida	Agua de Ingreso	Tratamientos		
			Agua de salida Testigo (T ₀)	Agua de salida Eisenia foetida (T ₁)	Agua de salida Lumbricus terrestris (T ₂)
DCO	Mg/l	16 783	5 554	1 640	5 420
Eficiencia (%)			66,8 %	90,2 %	67,7 %

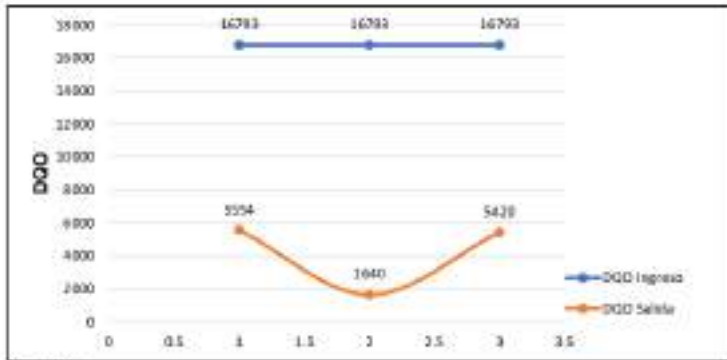


Figura 4
Comportamiento de la DBO al ingresar y salir del sistema de tratamiento

Interpretación: En la figura 4 se observa que la DBO del agua de ingreso tiene un valor de 16 793 mg/L, "este valor sobrepasa lo establecido por los ECA para categoría III (40 mg/L para riego y bebida de animales); después del tratamiento presenta una disminución notable" especialmente con *Eisenia foetida* (lombriz roja) los valores son de 1 640 mg/L.

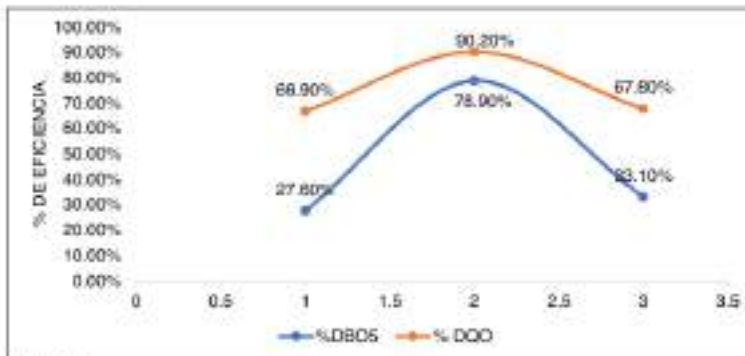


Figura 5
Porcentaje de eficiencia del sistema de tratamiento para la DBO5 y DBO

Interpretación: La figura 5 muestra los resultados finales de la eficacia del sistema de tratamiento, medidos en términos de DBO5 y DBO. El sistema alcanzó índices de eliminación de DBO de hasta el 90,20% y de DBO5 del 78,9%.

Safazar (2005), en su tesis llamada "Sistema Tohá: una opción ecológica para el tratamiento de aguas residuales en áreas rurales" concluyó que el uso del lombrifiltro tiene efectos positivos en la calidad de las aguas descargadas en cuerpos de agua o en el subsuelo, ya que este proceso es altamente eficaz en la eliminación de contaminantes y microorganismos patógenos, con reducciones mayores al 90%. No obstante, este estudio determinó que la *Eisenia foetida* logró eliminar aproximadamente el 84,55% de DBO₅ y DQO, mientras que la *Lumbricus terrestris* lo hizo en un 50,45% de remoción de DBO₅ y DQO, este resultado sigue siendo ventajoso para la eliminación de contaminantes en las aguas residuales generadas durante el procesamiento del café.

4.1.3. Comparación de resultados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA).

Los LPM; son la medida de la cantidad de elementos o parámetros físicos, químicos y biológicos, identifican una emisión que, si se excede, puede provocar daños a la salud, el bienestar humano y el medio ambiente. "El cumplimiento de estos límites es requerido por ley por el Ministerio del Ambiente y los organismos que integran el Sistema de Gestión Ambiental" (D.G. N° 003-2010-MINAM).

Tabla 16
Comparación de los resultados obtenidos por los sistemas de tratamiento con los Límites Máximos Permisibles.

Parámetro	Unidad de medida	Tratamientos				LMP
		Agua de ingreso	Agua de salida Testigo (T ₀)	Agua de salida <i>Eisenia foetida</i> (T ₁)	Agua de salida <i>Lumbricus terrestris</i> (T ₂)	
Temperatura	°C	25	24,5	24	24,5	°C
pH	Unidad de pH	3,62	4,90	6,80	4,99	6,5-8,5
DBO ₅	mg/L	3 841,3	2 780	899,8	2 588,3	15
DQO	mg/L	16 793	5 554	1 640	5 420	40

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 6

Comparación de resultados con los lmp en %

fuente: Elaboración Propia

Los parámetros fisicoquímicos que fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles fueron: pH, Temperatura, DBO₅ y DQO. De lo cual el tratamiento con *Eisenia foetida* presentó una buena eficiencia en la remoción a comparación del tratamiento con *lumbricus terrestris*.

En su ensayo "Sistema Toha de Biofiltración Aeróbica Dinámica", UNTEC (2000) llega a la conclusión de que el sistema Toha, es una opción económica para tratar aguas residuales tanto municipales como industriales. Este sistema se compone de diversos lechos filtrantes y lombrícolas de la especie *Eisenia foetida*. La investigación destaca que el presupuesto para construir y mantener un sistema de lombrifiltración es bajo, que es un sistema ecológico y que tiene una alta eficiencia en el tratamiento de sólidos y líquidos orgánicos.

En cuanto a los parámetros; tales como la temperatura, el agua inicial fue de 25°C y después del tratamiento los resultados fueron los siguientes: $(T_1) = 24^\circ$, $(T_2) = 24,5^\circ\text{C}$, $(T_3) = 24,5$

Con respecto al pH, el ingreso fue de 3,62 y los resultados después del tratamiento fueron los siguientes $(T_1) = 6,8$ $(T_2) = 4,99$ $(T_3) = 4,9$

CONCLUSIONES

Se acepta la hipótesis alternativa y la hipótesis nula es rechazada. Se podría decir que hay una diferencia significativa en la concentración de los parámetros T[°], pH, DBO5 y DQO antes y después del tratamiento de siete días, con resultados favorables en el sistema de tratamiento con *Eisenia foetida* (T1) para la remoción de contaminantes de aguas mieles del café. En consecuencia, se confirma la hipótesis de investigación: "La eficiencia de la remoción de contaminantes de las aguas mieles del café utilizando lombricos *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*, Moyabamba 2019".

Los parámetros físico-químicos de la DBO, del agua miel del café ha tenido un valor de pre tratamiento 3 641.3mg/L. Luego los valores de post tratamiento fueron: (T₁) de 809,8 mg/L, (T₂) 2 568,3 mg/L y (T₃) 2 780 mg/L.

Los parámetros físico-químicos de la DQO del agua miel del café ha tenido un valor de pre tratamiento 18 793 mg/L. Luego los valores de post tratamiento fueron T₁) de 1 640 mg/L, (T₂) 5 420 mg/L, (T₃) 5 554 mg/L.

La eficiencia de remoción de los contaminantes de las aguas mieles del café fueron comparadas entre especies obteniendo como resultado que *Eisenia foetida* ha logrado remover entre DBO₅ y DQO un 84,55%, mientras que *Lumbricus terrestris* lo hizo en un 50,45% de remoción de DBO₅ y DQO. Siendo un resultado favorable para la remoción de contaminantes de las aguas mieles del café.

La categoría de agua III de la ECA establece que el agua utilizada para el riego de cultivos y el consumo animal debe tener un nivel de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) de 15 mg/L. El análisis posterior al tratamiento arrojó una concentración de 809,8 mg/L.

Los criterios del agua de la categoría III del TCE estipulan que el agua utilizada para el riego de cultivos y el consumo animal debe tener un nivel de Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 40 mg/L. La terapia arrojó un resultado máximo de 1640 mg/L.

RECOMENDACIONES

A los agricultores que se dedican al cultivo de café implementar una planta de tratamiento para sus aguas residuales utilizando el sistema de lombrifiltro, ya que así se podría evitar las fuertes contaminaciones de los ríos, quebradas, lagunas y del mismo suelo.

Las cooperativas de café deberían apoyar a todos sus socios en la implementación de un sistema de tratamiento de las aguas mieles del café utilizando lombrices *Eisenia foetida* ya que es un sistema ecológico y amigable con el medio ambiente.

A la Universidad Nacional de San Martín, Facultad de Ecología, implementar un campo experimental de 01 Ha del cultivo del café, para así realizar investigaciones y así obtener resultados óptimos y eficientes.

Ampliar el estudio para poder determinar la tasa de producción y mortalidad de las lombrices

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCE, L., 2013. Urbanizaciones sostenibles: descentralización del tratamiento de aguas residuales residenciales. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2013. 90p.
- AVILES, E., 2011. Determinación de la efectividad del proceso de lombricultura como tratamiento para la estabilización de lodos residuales proveniente de una planta de tratamiento de aguas. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, 2011. 105p.
- GARDENAS R., ORTIZ J., 2014. Manejo integrado del recurso agua, en el proceso de beneficio húmedo del café, para la asociación de productores de café especial "cafeto" en el municipio de Fresno, departamento del Tolima. 2014.
- CIEZA, B., 2002. Producción de café (Coffea arábica): cultivo, beneficio, plagas y enfermedades. México, 2002.
- CUEVA J., VÁSQUEZ, A. 2022. Efecto de la densidad de lombrices sobre el proceso de lombrifiltración de las aguas residuales del Camal Municipal del distrito de La Esperanza, La Libertad 2021 (Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte). 2022.
- DIAZ R., ZAFRA O., 2018. Implementación de un lombrifiltro para el tratamiento de aguas residuales procedentes del camal municipal de Cajamarca en 2017. Universidad Privada del Norte. 2018.
- FERRUZI C. 1987. Manual de Lombricultura. Ediciones Mundiprensa. Madrid, 1987. Pág. 138.
- GARCIA, E., 2014. Evaluación fisicoquímica de subproductos del beneficiado húmedo de café, sometidos a tratamiento anaeróbico. Solalá: Universidad Rafael Landívar.
- HERNANDEZ, A., 2007. Sólidos suspendidos totales en agua secados a 103 – 105 °c. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Colombia, 2007. 7p.
- LIZARRAGA, A. 1991. Biología de la lombriz de tierra y de la lombriz doméstica roja californiana *Eisenia foetida*. Separata I, Curso Técnicas de manejo de una planta de lombricultura. Jauja, 1991. 20 p.
- MINAM. 2006. Disposiciones para la implementación de los estándares nacionales de calidad ambiental ECA para aguas. Diario El peruano, 2006.

- MITMA, J. 2017. Efecto del sistema de lombrifiltro en la depuración de DBO5 y DQO de las aguas residuales domésticas del Distrito de Moche, Chanchamayo. Tesis (Ingeniero Ambiental) Universidad Cesar Vallejo, 2017.
- MONTERO, M., 2009. La contaminación de las aguas mieles en Costa Rica: un conflicto de contenido ambiental. Diálogos Revista Electrónica de Historia. Universidad de Costa Rica, 2009. Vol. 10.
- OEFA. 2014. Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. Lima: Biblioteca Nacional del Perú, 2014. 42p.
- PEREZ T., MORALES, S. Producción de café (Coffea arábica): cultivo, beneficio, plagas y enfermedades. Universidad de las Américas Puebla, C.P. 72810. México, 2011.
- RIVERA, X., 2013. Caracterización físicoquímica y microbiológica de los lodos presentes en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (PTARI) de la empresa HIT de la ciudad de Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira, 2013.
- RODRÍGUEZ, G., 2005. Proceso de descontaminación de aguas. Cálculos Avanzados Informativos. España, 2005.
- ROMÁN G., 2020. Vermifiltración con lombriz roja (*Eisenia foetida*) para el tratamiento de aguas residuales. Universidad Científica del Sur. Lima, 2020.
- SALAZAR, P., 2005. Sistema Tohá: una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales. Chile: Universidad Austral de Chile, 2005. 117p.
- SAMAYOA, T., 2014. Extracción de mucílago, azúcares, y taninos de la pulpa del café y producción de ácido ascórfico comercial a partir de las mieles del café. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2014.
- SANDOVAL, R, JANY (2019). Efecto de tres consorcios específicos de hongos micorrizicos arbusculares nativos en la biofertilización de plantas de Café (Coffea arábica) variedad pache en las provincias de Moyobamba, Lamas y Hualaga de la Región San Martín. Univ. Peruana Unión.
- XIL, W., 2012. Evaluación de la eficacia del tratamiento de aguas mieles de un beneficio húmedo de café, localizado en san Juan la laguna, Sololá. Tesis (Ingeniero Químico). Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012.
- ZUÑIGA, F., 2005. Tratamiento de aguas mieles (residuales) del procesamiento de café en húmedo, en el fundo Halcón negro- Chanchamayo. Tesis (Ingeniero en

Recursos Naturales Renovables). Tingo María: Universidad Nacional Agraria de la Selva, 2005.

ZÚÑIGA, P., 2020. Determinación de los sustratos óptimos de diseño de un lombrifiltro como tratamiento secundario de las aguas residuales del fundo la banda Huasacache. Tesis (Ingeniero Ambiental). Universidad Católica de Santa María, 2020.

ANEXOS

Resultados de los análisis de las aguas mieles



LABORATORIO DE ENSAYOS ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - EN
CON REGISTRO Nº 1.51 - 098



INFORME DE ENSAYO Nº: IE-20-7579

I. DATOS DEL SERVIDOR

1. AGENCIA CLIENTE	MASAL Y RUIZ CORONA
2. DIRECCIÓN	San Martín - Moyobamba - Moyobamba
3. ABRANGENCIA	REMEDIACIÓN DE CONTAMINANTES DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAFFELITO ENANO (EMERGENCIAS SUDSA) FERTISA Y LUBRIFICANTES TERRESTRES - MOYOBAMBA zona
4. PROCEDIMIENTO	S.P. 001100104 - MOYOBAMBA
5. NÚM. DE MUESTRA	MASAL Y RUIZ CORONA
6. FECHA DE SERVICIO Nº	05.20.2020
7. PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	NO APLICA
8. MUESTREADOR POR	JL. S. GARCÍA
9. FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	06.01.2021

II. DATOS DEL ÍTEM DE ENSAYO

1. PRODUCTO	Agua
2. NÚMERO DE MUESTRA	4
3. FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	05.11.20
4. RÍNDICE DE ENSAYO	005-11-20-4-2020-13-07


Marco Valerico Huerta
Ingeniero Químico
MPCP 162287



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los datos suministrados.
No se otorga responsabilidad al informe de ensayo, excepto en los laboratorios, por la representación realizada por Analytical Laboratory S.L.S.A.
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad, con normas de productos o como certificación del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - SA
CON REGISTRO N° LE- 880



Región N° 05 - IIR

INFORME DE ENSAYO N°: IE-26-7376

B. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMAL REFERENCIA	TÍTULO
Demanda Oxidativa de Oxígeno ¹⁾	ISO 15705 APPLAMAN (MET) Part 3 (2015), 21 de EE 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5 Days (BOD ₅) Test
Demanda Química de Oxígeno ²⁾	ISO 15705 APPLAMAN (MET) Part 1 (2015), 21 de EE 2017	Dissolved Oxygen Estimation - Closed Reflux, Continuous Method
pH ³⁾	ISO 15705 APPLAMAN (MET) Part 1 (2015), 21 de EE 2017	pH Meter/Calibration and Reading

¹⁾ISO 15705¹⁾ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

²⁾Las normas referidas constituyen el método que han sido aprobadas por el INACAL. - SA

³⁾El pH se midió en la laboratorio

Imágenes

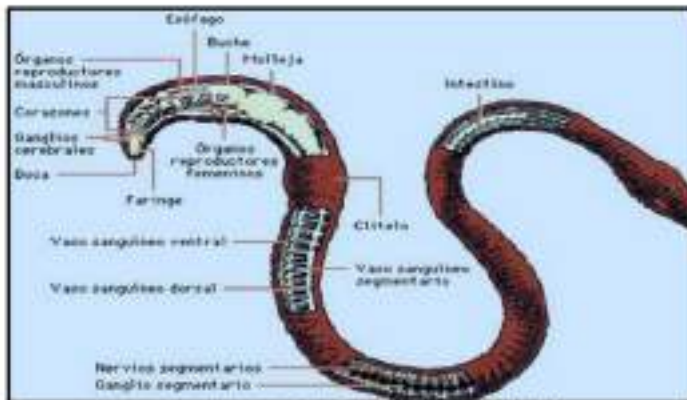


Imagen 1: Anatomía de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*)
Fuente: (BARBADO, 2003).

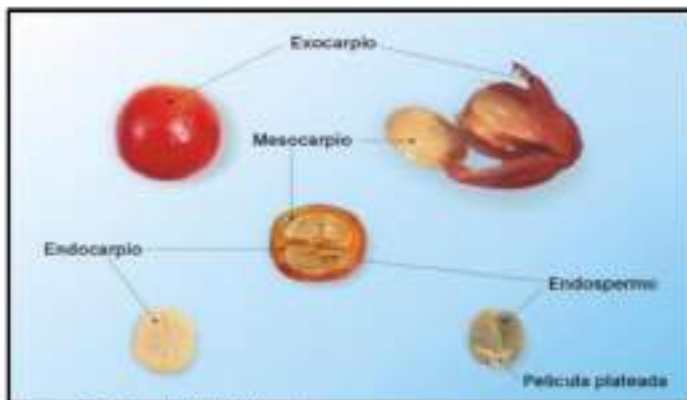


Imagen 2: Fruto del Café (*Coffea sp.*)
Fuente: (CIEZA, 2002)



Imagen 3: Descripción de las capas de un Lombrifiltro.
Fuente: A.V.F. INGENIERÍA AMBIENTAL, 2003.



Imagen 4: Materiales a utilizar para la construcción del lombrifiltro.
Fuente: (TESISTA MRC)



Imagen 5: Construcción del Lombrifiltro
Fuente: (TESISTA MRC)



Imagen 6: Lombrifiltro.
Fuente: (TESISTA MRC)



Imagen 7. Tratamiento del agua miel
Fuente: (TESISTA MRC)



Imagen 8. Muestras para analizar
Fuente: (TESISTA MRC)

Plano de Ubicación



Remoción de contaminantes de las aguas mieles del café, utilizando lombrices Eisenia foetida y Lumbricus terrestris, Moyobamba 2019

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	tesis.unsm.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	2%
5	repositorio.untrm.edu.pe Fuente de Internet	2%
6	Submitted to Universidad Nacional de San Martín Trabajo del estudiante	1%
7	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
9	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
10	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1%
11	repositorio.ujcm.edu.pe Fuente de Internet	

<1 %

12

repositorio.unc.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

13

Jorge Alonso. "Calidad del agua para estudiantes de ciencias ambientales", Ecoe Ediciones S. A. S., 2022

Publicación

<1 %

14

Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola

Trabajo del estudiante

<1 %

15

Submitted to unsaac

Trabajo del estudiante

<1 %

16

www.librosymanualesdeagronomia.com

Fuente de Internet

<1 %

17

Submitted to Universidad Continental

Trabajo del estudiante

<1 %

18

biblioteca.usac.edu.gt

Fuente de Internet

<1 %

19

repositorio.upeu.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

20

edoc.pub

Fuente de Internet

<1 %

21

repositorio.unbosque.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

22

Rosa María Ramírez Zamora, Alejandra Martín Domínguez, Lilia Margarita Herrera Ibarra, Martha Patricia Navarro Suástegui et al. "Estrategias para la implementación del reúso de aguas residuales tratadas con fines de uso y consumo humano", Universidad Nacional Autónoma de México, 2024

Publicación

<1 %

23 Panduro, Aldo Ivan Cardenas | Chávez, Juan Carlos Santos. "Sedapal, Propuesta de una Unidad de Negocio para la Comercialización de Aguas Residuales en Lima", Pontificia Universidad Católica del Perú (Peru), 2022
Publicación <1 %

24 repositorio.untels.edu.pe
Fuente de Internet <1 %

25 Submitted to GIMNASIO VERMONT
Trabajo del estudiante <1 %

26 repositorio.uandina.edu.pe
Fuente de Internet <1 %

27 repositorio.umsa.bo
Fuente de Internet <1 %

28 repositorio.upeu.edu.pe:8080
Fuente de Internet <1 %

29 futur.upc.edu
Fuente de Internet <1 %

30 Fontanez Barris, Yaritza. "Determinacion del perfil microbiologico de la almeja (*Lucina pectinata* Gmelin, 1791), del ostion de mangle (*Crassostrea rhizophorae* Guilding, 1828) y las aguas de extraccion de bivalvos de la zona suroeste de Puerto Rico", Proquest, 20111108
Publicación <1 %

31 Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD
Trabajo del estudiante <1 %

32 repositorio.usanpedro.edu.pe
Fuente de Internet <1 %

33 repositoriousco.co
Fuente de Internet <1 %

34	Rainer Niemann. "Nematodentest", Umweltwissenschaften und Schadstoff- Forschung, 11/1996 Publicación	<1 %
35	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
36	studylib.es Fuente de Internet	<1 %
37	vdocumento.com Fuente de Internet	<1 %
38	www.acodal.org.co Fuente de Internet	<1 %
39	Andrew R. Kniss, Drew J. Lyon, Joseph D. Vassios, Scott J. Nissen. " MCPA Synergizes Imazamox Control of Feral Rye () ", Weed Technology, 2017 Publicación	<1 %
40	issuu.com Fuente de Internet	<1 %
41	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
42	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
43	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
44	www.pressurewash.com Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 10 words

Excluir bibliografía

Activo