

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**Tratamiento de agua residual del camal municipal de
Chimbote, usando un Biofiltro de lombrices, para el riego
de parques y jardines**

Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil

Autor:

Bermúdez Timoteo Guillermo W.

Asesor

Ing. Solar Jara, Miguel

Chimbote-Perú

2019

TÍTULO

Tratamiento de agua residual del camal municipal de Chimbote, usando un Biofiltro de lombrices para el riego de parques y jardines

PALABRAS CLAVES:

TEMA	TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL
ESPECIALIDAD	HIDROLOGÍA

KEY WORDS:

THEME	WASTE WATER TREATMENT
SPECIALTY	HYDROLOGY

LINEA DE INVESTIGACIÓN:

Hidráulica

Mejorar la distribución y tratamiento de recursos hídricos procurando generar ahorro y mayor productividad en los procesos constructivos asociados y una adecuada protección de los recursos hídricos

2. ingeniería y tecnología

2.7. Ingeniería ambiental

2.7.1 ingeniería ambiental y geológica

- Fuentes, y tratamiento de recursos hídricos

RESUMEN

El proyecto consistió en elaborar y demostrar la eficiencia de un Biofiltro compuesto de lombrices (*Eisenia Foetida*), aserrín y grabas. Para la reducción de agentes contaminantes en el agua residual del camal municipal de Chimbote.

Se tuvo en cuenta el caso particular de las aguas residuales del camal municipal de Chimbote, que son vertidas al drenaje sin un tratamiento adecuado. Esto conlleva a que la población aledaña a dicho establecimiento sienta malestar producto de la emanación de los malos olores.

En el trabajo de investigación se buscó reducir los agentes contaminantes en la calidad de agua residual del camal municipal de Chimbote, a través de la implementación del Biofiltro de lombrices. Para resolver dicho problema de investigación, se aplicó la metodología de la experimentación. Ya que se planteó realizar un análisis del agua residual antes del tratamiento. Esto con la finalidad de determinar el nivel de contaminación en el agua residual del camal municipal, para más adelante realizar una comparación con el agua tratada a través del Biofiltro y así saber la eficiencia del Biofiltro de lombrices en la remoción de agentes contaminantes.

Se esperó obtener resultados favorables del agua residual después del tratamiento. Quiriendo alcanzar valores que sobre pasen el 50% en la disminución de agentes contaminantes. Y de tal manera los resultados permitan concluir que el Biofiltro de lombrices reduce significativamente los niveles de contaminación del agua residual.

La importancia del proyecto no solo fue tratar el agua residual del camal municipal, sino también era concientizar a la población y a las industrias a tratar sus aguas residuales antes de ser vertidas al drenaje y optar por métodos ecológicos que han demostrado ser eficiente, y de esta manera beneficiara no solo a la población presente sino a generaciones futuras.

ABSTRAC

The project consisted of elaborating and demonstrating the efficiency of a biofilter composed of earthworms (*Eisenia Foetida*), sawdust and grabs. For the reduction of polluting agents in the waste water of the Chimbote municipal pipeline.

The particular case of wastewater from the Chimbote municipal waterway was taken into account, which is discharged into the drainage without adequate treatment. This leads to the population surrounding the establishment feel discomfort due to the release of bad odors.

In the research work, it was sought to reduce the polluting agents in the quality of residual water of the Chimbote municipal channel, through the implementation of the Worm Biofilter. To solve this research problem, the methodology of experimentation was applied. And what was considered to perform a wastewater analysis before treatment. This in order to determine the level of pollution in the wastewater of the municipal canal, to later make a comparison with the water treated through the Biofiltro and thus know the efficiency of the Biofiltro de lombrices in the removal of pollutants.

It was expected to obtain favorable results of the residual water after the treatment. Wanting to reach values that exceed 50% in the decrease of pollutants. And in such a way the results allow us to conclude that the Worm Biofilter significantly reduces the levels of wastewater contamination.

The importance of the project was not only to treat wastewater from municipal water, but also to raise awareness among the population and industries to treat their wastewater before being discharged into drainage and to opt for ecological methods that have proven to be efficient, and way will benefit not only the present population but future generations.

Índice General

Título	i
Palabras Clave	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
Introducción	1
Metodología	52
Resultados	63
Análisis Y Discusión de los Resultados	81
Conclusiones	89
Recomendaciones	90
Agradecimiento	91
Referencias Bibliográficas	92
Anexos	98

Índice Figuras

Figura 1: clasificación de los sólidos totales.....	12
Figura 2. Manejo de aguas residuales (OEFA, 2015).....	18
Figura 3: cámara de rejillas.....	24
Figura 4: Desarenador.....	25
Figura 5. Lombriz roja californiana.....	28
Figura 6. Modelo del lombrifiltro en corte esquemático (Sinha et al., 2008).....	28
Figura 7. Capas del lombrifiltro (Jiménez, 2016).....	29
Figura 8. Aplicación de las tuberías para la aeración (Tapia, L., & Baraño, P: 2004, P.111).....	30
Figura 9. Eisenia Foetida empleada en el tratamiento.....	36
Figura 10. Diagrama del ciclo de vida de Eisenia Foetida (Duran & Henriquez 2009).....	38
Figura 11: clasificación taxonómica de Eisenia foetida.....	39
Figura 12: Eficiencia de remoción que ha alcanzado un Biofiltro de lombrices para cada parámetro analizado (fuente: “Eficiencia de un Biofiltro en la reducción de carga orgánica de un efluente industrial en la ciudad de Celendín”).....	46
Figura 13. Ubicación del agua residual doméstica, adaptado de Google Earth.....	56
Figura 14. Etapas del proceso de tratamiento de agua residual doméstica.....	56
Figura 15. Comparación del parámetro químico DBO5 antes y después del tratamiento mediante el Biofiltro de lombrices con la lombriz Eisenia Foetida....	70
Figura 16. Comparación del parámetro químico DQO antes y después del tratamiento mediante el Biofiltro de lombrices con la lombriz Eisenia Foetida.....	71
Figura 17. Comparación del parámetro químico Nitrógeno Total antes y después del tratamiento mediante el Biofiltro de lombrices con la lombriz Eisenia Foetida....	73
Figura 18. Comparación del parámetro Turbidez antes y después del tratamiento mediante el Biofiltro de lombrices con la lombriz Eisenia Foetida.....	75

Figura 19. Comparación del parámetro pH antes y después del tratamiento, mediante el Biofiltro de lombrices con la lombriz Eisenia Foetida.....	76
Figura 20. Comparación del parámetro Coliformes termo tolerantes antes y después del tratamiento, mediante el Biofiltro de lombrices con la lombriz Eisenia Foetida.....	77
Figura 21. Comparación del parámetro solidos suspendidos totales antes y después del tratamiento, mediante el Biofiltro de lombrices con la lombriz Eisenia Foetida.....	78
Figura 22. Comparación del parámetro Aceites y grasas antes y después del tratamiento, mediante el Biofiltro de lombrices con la lombriz Eisenia Foetida....	79

Índice de Tablas

Tabla 1: Características del agua.....	19
Tabla 2. Parámetros de agua residual para riego de vegetales restringidos y no restringidos, y bebida de animales D. S. N° 004-2017-MINAM- Físicos-Químicos.....	20
Tabla 3. Parámetros de agua residual para riego de vegetales restringidos y no restringidos, y bebida de animales D. S. N° 004-2017-MINAM- Inorgánicos.....	21
Tabla 4. Parámetros de Agua residual para riego de vegetales restringidos y no restringidos, y bebida de animales D. S. N° 004-2017-MINAM- Orgánicos.....	21
Tabla 5. Parámetros de agua residual para riego de vegetales restringidos y no restringidos, y bebida de animales D. S. N° 004-2017-MINAM- Microbiológicos y Parasitológico.....	22
Tabla 6: funciones según tipos de bacterias en el filtro percolador.....	26
Tabla 7: resultados comparativos de costos, operaciones y mantenimientos en los sistemas biológicos.....	32
Tabla 8: eficiencia del lombrifiltro.....	34
Tabla 9: Resultados comparativos de la eficiencia de los parámetros entre sistemas biológicos.....	35
Tabla 10. Eliminación de microorganismos en varios sistemas de empleo de aguas	

residuales.....	35
Tabla 11: Diferencias entre lombrices composteras y nativas.....	37
Tabla12: opinión de los participante (agricultores, viveristas, productores de humus, comerciantes y amas de casa) sobre las ventajas y desventajas de la lombricultura en el ámbito nacional peruano (%)......	44
Tabla13: seis características de la lombricultura en el ámbito nacional del Perú...	44
Tabla 14: opinión de los participantes (agricultores, viveristas, productores de humus, comerciantes y amas de casa) sobre las ventajas y desventajas de la lombricultura en el ámbito rural peruano (%)......	45
Tabla 15: opinión de los participantes (agricultores, viveristas, productores de humus, comerciantes y amas de casa) sobre las ventajas de la lombricultura en el ámbito periurbano peruano (%)......	45
Tabla 16. Comparación de resultados con los valores máximos admisibles sacados de la norma vigente.....	47
Tabla 17. Componentes del Biofiltro de lombrices.....	57
Tabla 18: composición de las capas del Biofiltro.....	62
Tabla 19. Recolección del agua residual domestica.....	63
Tabla 20: Dimensiones del Biofiltro.....	63
Tabla 21: Dimensiones de cada capa de la estructura.....	65
Tabla 22: Calculo del Caudal.....	66
Tabla 23. Cálculo del Tiempo de Retención Hidráulica con la especie Eisenia Foetida.....	67
Tabla 24. Adaptación de Eisenia Foetida.....	68
Tabla 25. Parámetros físico-químicos y microbiológicos antes del tratamiento...	69
Tabla 26. Parámetros físico-químicos y microbiológicos después del tratamiento mediante el método del Biofiltro de lombrices con la especie Eisenia Foetida.....	69
Tabla 27. Comparación de los resultados analizados con el Decretos Supremos N° 004-2017-MINAM.....	79
Tabla 28. Eficiencia del método del Biofiltro de lombrices.....	86

I. INTRODUCCIÓN

El Biofiltro es un método alternativo para el tratamiento de aguas residuales con respecto a los tratamientos convencionales. Este sistema de tratamiento aeróbico utiliza microorganismos y lombrices californianas en el proceso, por lo que precisa conservar ciertas condiciones operacionales para evitar cualquier daño en el mismo. La clave en el correcto funcionamiento de este sistema se encuentra en su correcto sistema de alimentación de agua residual.

En la investigación se presenta una alternativa ecológica y de bajo costo que ha demostrado ser eficaz y operativa en plantas de tratamiento de pequeña y mediana escala, utilizando el sistema de tratamiento denominado biofiltro de lombrices o sistema Tohá Modificado. En el pueblo joven Pensacola existe un matadero municipal que aún no implementa un sistema de tratamiento para el efluente diario, que les permita descontaminar adecuadamente para ser reutilizado, para riego o ser vertido a la red de alcantarillado con menos carga contaminante, evitando la contaminación de la misma por la alta carga orgánica que contienen dicha agua residual. En el presente trabajo se ha realizado el tratamiento del efluente del matadero municipal de Chimbote para lo cual se ha construido un Biofiltro de lombrices tipo Tohá de dimensiones a escala de laboratorio. El volumen de muestra para cada análisis ha sido de acuerdo a los correspondientes protocolos, tomadas de cada muestra de veinte litros de agua residual proveniente del matadero, de las cuales previamente se ha hecho la caracterización ,antes de ingresarlo al Biofiltro, y después de pasar por el mismo, obteniéndose una reducción en DQO del 80.82%, el cual es el parámetro principal de la investigación, pero también, se ha hecho el análisis de la DBO5 del cual se ha obtenido una reducción del 81.36%, aceites y grasas 89.59%, solidos totales suspendidos 97.77%, nitratos en un 72.47%, coliformes termotolerantes en un 97.39% y la turbidez en un 52.31%; esto nos indica las bondades del tratamiento con el Biofiltro de lombrices, para este tipo de aguas residuales de matadero, que también podría aplicarse a otro tipo de aguas residuales. Lo que nos permite recomendar este tipo de tratamiento para industria láctea o de embutidos a pequeña y mediana escala en nuestro medio.

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El Biofiltro de lombrices o Sistema Tohá, consistente en el 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 y reutilización, 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 jardines o de vegetales, disminuyendo las emisiones de material particulado.

Esta investigación permite fortalecer la cultura ambiental de las sociedades a la 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 Biofiltro de lombrices. Un atributo del empleo de este Biofiltro es que, produce un sub producto de la degradación del aserrín y el agua residual formando el humus que puede ser utilizado como abono natural.

El desarrollo del proyecto repercute positivamente, ya que si se toma en cuenta los múltiples beneficios del Biofiltro de lombrices, el cual es un método ecológico, eficiente y autosustentable que utiliza lombrices para filtrar los residuos. Teniendo en cuenta por que 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, da la posibilidad que al aplicar a las aguas residuales del camal municipal de Chimbote, se obtenga una agua apta para el regado de áreas verdes y vegetales, lo cual ayudara a mejorar el control de la contaminación de las aguas residuales y a la economía del camal municipal.

El aporte tecnológico se basa en que los lombrifiltros, son sistemas de tratamiento no convencional con muy baja contaminación: no se produce malos olores, se produce un sub-producto como que es el humus, el agua puede ser re-utilizada. El humus se puede utilizar como abono en cultivos orgánicos, que son más saludables y tienen un costo adicional, generando ingresos económicos al camal municipal de Chimbote.

En el aspecto económico permitirá a las personas naturales que mediante el uso de este preciado recurso, tendrían ingresos económicos mediante la venta del humus generado por las lombrices.

En tema social ayudará a mejorar e incrementar la calidad de vida poblacional, fomentará la formación de una cultura sostenible en la optimización del uso de estas aguas para las presentes y futuras generaciones, (Parra y Chiang 2013).

En la salud este método se presentará como una alternativa viable para la disminución de enfermedades.

De esta manera, el estudio busca incentivar a la población a tratar las aguas residuales domésticas utilizando el método del Biofiltro de lombrices.

PROBLEMA

Realidad problemática.

A nivel global, el tratamiento de un efluentes domésticos, municipales e industrial de alimentos a pequeña, mediana y gran escala es un problema que aún no tiene una solución definitiva debido a que los costos de implementación y operación de los sistemas llamados convencionales son muy elevados para justificar dicha inversión, ocasionando de éste modo que las pequeñas industrias se vean en la necesidad de evacuar su efluente directamente a los cursos de agua, ocasionando un gran impacto debido a la elevada concentración de la carga orgánica que en él se encuentra. Entonces es necesario plantear alternativas de solución a éste grave problema, alternativas como la que ofrecemos en el presente documento; el tratamiento del efluente con un sistema no convencional, utilizando recursos ya estudiados ampliamente como el Sistema Tohá o Biofiltro de lombrices roja californiana (*Eisenia foetida*) para la depuración de los contaminantes del agua.

Nivel nacional. El Perú Según el OEFA, (2014) menciona que existe un alto consumo de agua según los hábitos de cada persona y que estas por consecuencia generan aguas residuales domesticas sin mencionar las industrias y las aguas municipales.

En las últimas inspecciones la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS, 2015) mencionan que el 69.65 % de las aguas residuales no son tratadas y que solo un 30.35% son tratadas gracias al proceso de saneamiento mediante la captura en la red de alcantarillado, conduciendo el agua residual hacia las grandes plantas de tratamiento de aguas residuales, en consecuencia demostrando el limitado tratamiento y siendo este el problema central en el Perú en temas de saneamiento.

A nivel local. En la ciudad de Chimbote, el camal municipal genera 10 000 litros de aguas residual aproximadamente por día, la cual es tratada por tres pozas de sedimentación y luego es vertida al alcantarillado, pero estas pozas de sedimentación no cumplen con la correcta eficiencia en la remoción de agentes contaminantes antes de ser vertidas a la red de alcantarillado, a la vez que las pozas de sedimentación atraen moscas producto de las aguas residuales retenidas.

Conforme a lo mencionado se quiere dar a entender que el camal municipal de Chimbote está pasando por un problema grave con sus aguas residuales ya que actualmente no son tratadas con eficiencia y eso conlleva a que dichas aguas generen malos olores, atracción de moscas, enfermedades y molestias a los pobladores cercanos a dicho establecimiento.

Teniendo en cuenta lo mencionado al caso particular de las aguas residuales del camal municipal de Chimbote, que son vertidas al alcantarillado sin un tratamiento adecuado y que sus pozas de sedimentación generan moscas y malos olores, que conllevan a que la población aledaña a dicho establecimiento sienta malestar producto a la emanación de esos olores. Para ello se plantea un método ecológico que tendrá como finalidad la depuración de dichas aguas residuales. Por lo tanto se ha creído conveniente llevar a cabo el presente trabajo de investigación con el objetivo de disminuir los agentes de contaminación de las aguas residuales del camal municipal mediante la aplicación del Biofiltro de lombrices, ya que por investigaciones y pruebas que se han realizado en plantas de mediana y pequeña escala evidencian que el tratamiento con lombrices rojas californianas es muy eficiente a diferencia de otros sistemas de tratamiento convencionales.

Formulación del Problema

¿En qué medida el Biofiltro de lombrices disminuirá los agentes contaminantes, en el tratamiento de las aguas residuales del camal municipal de Chimbote, con respecto a un patrón de agua sin tratar?

MARCO TEORICO

Antecedentes

Para el soporte del presente estudio de investigación, se hizo una revisión de temas relacionados a la reducción de agentes contaminantes del agua residual mediante un filtro basado en lombrices. El interés experimental que se tiene consiste en disminuir partículas o residuos orgánicos que enturbian y contaminan el agua; y a la vez sea posible la reutilización de dicha agua en riego de sembradillos o en riego de parques y jardines, entre los que se pueden destacar:

➤ A nivel internacional

Manyuchi, Kadzungura, & Boka (2017) Vermifiltration of Sewage Wastewater using Eisenia Fetida Earthworms for Potential use in Irrigation Purposes; Nos dice: en la ciudad de Zimbabue, realizaron una investigación con lombrices de la especie Eisenia foetida, con el objetivo de tratar las aguas residuales para su posible uso en el riego de vegetales, utilizaron 500 lombrices durante un periodo de 5 días, con el apoyo de un filtro biológico para disminuir los contaminantes del agua residual. Los resultados de remoción fueron: 98% en la DBO5, 70% en la DQO, 95% sólidos disueltos totales y solubles y

turbidez en un 98%. Llegando a la conclusión que el agua tratada es adecuada para el uso en el riego según su normativa del lugar.

Jin, Li, & Li (2016, P. 154, 406–411.). Effect of Earthworm *Eisenia Foetida* in Constructed Wetland on Purification of Country Wastewater. *Procedia Engineering*, Nos dice: En el Instituto de Investigaciones Hidráulicas ubicado en la ciudad de Nanjing, China en el año 2016, ejecutaron un estudio que tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la lombriz *Eisenia foetida* en un humedal para la purificación de las aguas residuales, el trabajo consistió en la construcción del humedal con lechos filtrantes con plantaciones de caña, otro con lombriz y una muestra en blanco para la comparación de los resultados. Después del tratamiento los resultados del estudio fueron: para el nitrógeno total 73%, DQO 88% y fosforo total fue de 93%. Concluyeron que la calidad de sus aguas después del tratamiento es eficaz, encontrándose dentro de sus normas respectivas, demostrando una vez más que las lombrices cumplen una función muy importante en el tratamiento de las aguas residuales

Cardoso, L., Ramírez, E., & Garzón, M. (2013). Evaluation of a Pilot Vermifilter for the Treatment of Wastewater. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 5(2), 33–44. Señala lo siguiente: en la ciudad de Morelos, México realizaron una investigación cuyo objetivo fue, diseñar e instalar un Vermifiltro a escala piloto para el tratamiento del agua y evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes. Donde el resultado de la DQO fue de un 92%, DBO un 99%, Solidos Suspendidos Totales (SST) 97%, nitrógeno amoniacal en un 98% y finalmente Coliformes totales y fecales se encontraron por debajo de los valores exigidos por la norma vigente en México. Concluyendo que el Vermifiltro fue eficiente en la remoción de los contaminantes, evidenciando valores óptimos para el riego de vegetales.

Sudipti, A., Rajpal, A., Bhargava, R., & Kumar, T. (2013). Vermifiltration : A low-cost and sustainable alternative for wastewater treatment. *Ecological Engineering*. Nos dice: En la India, en el 2013, el Institute of Technology Roorkee realizó un estudio para el tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lombrices de tierra, con el objetivo de investigar la eficiencia de las lombrices en el tratamiento de estas aguas, para ello utilizaron material de lecho como medios de filtración y las lombrices como actores principales de la degradación de la materia orgánica del agua. Los resultados obtenidos fueron: DBO 97.6%, DQO 70.2%, Solidos Suspendidos totales (SST) 80%, Coliformes totales 97.1%, Coliformes fecales 98.1% y para los estreptococos fecales 97.4%. Concluyeron que el tratamiento mediante el filtro y la lombriz son una

tecnología económicamente viable, un proceso libre de patógenos y eficiente para el riego.

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. Dice lo siguiente: En la ciudad de Bogotá, Colombia en el año 2016 se realizó un trabajo cuyo objetivo fue evaluar el tratamiento de depuración biológica con lombrices de tierra en aguas residuales procedentes de industrias lácteas a nivel laboratorio, el estudio se fundamentó principalmente en el uso de un lombrifiltro en comparación con un geofiltro (sin lombrices), apoyado mediante lechos filtrantes. De esta manera tras el tratamiento los resultados fueron: DQO 80%, de reducción en el lombrifiltro y de 55.18% en el geofiltro, el DBO no tuvo reducción respecto a la muestra sin tratar, el pH alcanzo un valor de 4.56. Concluyendo que el sistema de lombrifiltro es eficaz para tratamiento de aguas residuales domésticas.

Ramón, J., Leon, 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 especie *Eisenia foetida*. En la ciudad de Pamplona, Colombia en el año 2015 se realizó una investigación, cuyo propósito fue diseñar y construir un sistema sobre tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Pamplona, el proyecto consistió en el uso de los lombrifiltros. Los resultados que obtuvieron: una eficiencia de todo el sistema de un 89.5%, en remoción de materia orgánica fue de 92.1 % a partir del DQO y respecto a Coliformes totales y fecales se obtuvo una eficiencia del 92%. Las conclusiones a las cuales llegaron fueron que el sistema tiene resultados favorables para el tratamiento de aguas residuales, permitiendo que se reúse el recurso natural.

Vicente, J. (2014). Propuesta de Diseño de un Sistema de Biofiltro para el Tratamiento de Aguas Residuales Producidas en la Central Termoeléctrica Sacha de la Unidad de Negocio Termopichincha. en la ciudad de Quito, Ecuador, desarrolló un estudio respecto al tratamiento de aguas residuales, cuyo propósito fue elaborar un diseño de un sistema de Biofiltro para el tratamiento de aguas residuales en la Central Termoeléctrica Sacha de la Unidad de Negocio Termopichincha - CELEC EP, el trabajo consistió en elaborar dos biofiltros uno con aserrín + lombriz y la segunda con fibra de cocos + lombriz. Los análisis de resultados arrojaron que la eficiencia en la remoción de contaminantes con viruta es del 53.53 % y está fuera de la norma, y del Biofiltro con fibra de coco es del 82.37 % y está dentro de la norma

aplicable al sector termoeléctrico del su país. Concluyeron que el sistema es eficaz para central termoeléctrica con el uso de la fibra de coco + la lombriz llegando a resultados óptimos.

Coila, K. (2013). Lombrifiltro; diseño, implementación y mantenimiento. Nos dice: en la ciudad de Chile se realizó una investigación cualitativa que tuvo como objetivo describir el diseño, ventajas y desventajas del sistema de Biofiltro mediante lombrices de la especie *Eisenia*, para la aplicación en el tratamiento de aguas residuales. Para la obtención de los datos recurrió a estudios realizados en otros países, como Japón, China y Chile. El sistema consiste en un filtro de 3 capas; la primera de piedras, la segunda de gravas y la tercera de aserrín acompañadas con lombrices. Concluye que el sistema sigue siendo aplicado en diferentes medios ya sea industriales o domiciliarios y los resultados son alentadores, además que a diferencia de una planta convencional este sistema es de bajo costo.

➤ **A nivel Nacional**

Rojas, M., Merino, M., Pacheco, Y., & Taipe, J. (2016). Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas por Lombrifiltro. nos dice lo siguiente: En la ciudad de Huancayo, en el año 2013 se realizó un estudio recopilando informaciones bibliográficas respecto a la eficiencia del Lombrifiltro, cuyo objetivo fue hallar las condiciones necesarias para operación correcta y así obtener la reducción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas, en Quilcas. Para la verificación de este estudio, se recurrió a la investigación de varios artículos. Concluyendo, que para obtener una eficiencia, óptima es necesario que el Biofiltro cuente con cuatro (04) capas incluyendo antracita y carbón activo, y que la lombriz a usar sería de la especie *Eisenia foetida*, debido a que es una especie que toleran cargas orgánicas pesadas.

Acuña, J., & Reyes, J. (2015). Uso de la Lombriz de tierra y sus efectos en las aguas residuales en la ciudad de Cota bambas-Amazonas. Menciona lo siguiente: En la provincia de Cota bambas, en el año 2015, se realizó la investigación de los efectos en las aguas residuales, mediante el uso de la lombriz de tierra, cuyo objetivo fue la remoción de los contaminantes del agua residual, con las lombrices. Se desarrolló a escala piloto un filtro biológico de tres capas. Obtuvieron como resultado la eficiencia en la temperatura un 4,99%, sulfatos 78,33%, fosforo total 51,93%, nitratos 67,52%, nitrógeno total 68,04%, aceite y grasas 29,98%, solidos suspendidos totales 31,36%, DBO5 94,51%, DQO 94,96%, Coliformes totales 90,18%, Coliformes fecales 91,36%, E. coli 98,80% y el pH 2,52%. Concluyendo que el usos de las lombrices para el tratamiento de las aguas residuales son eficientes.

➤ **A nivel Local**

OEFA. (2016). INFOR. 0459-2016-OEFA-DS-SEP MP CHACHAPOYAS. Menciona lo siguiente: Dentro de la región Amazonas, hasta el momento no se han realizado investigaciones o estudios sobre el uso de las lombrices para en el tratamiento de las aguas residuales domésticas. Existen comunidades donde se vierten aguas servidas a los cursos de agua, arroyos o quebradas, como es el caso del Distrito de Chachapoyas, donde se dispone del efluente de dichas aguas sin ningún tipo de tratamiento hacia el río Utcubamba, contaminando este ecosistema acuático.

FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA

Aguas residuales

Las aguas residuales son aquellas cuyas características naturales han sido transformadas producto de las acciones humanas, y que en consecuencia son emitidas a un cuerpo natural de agua además que por su calidad requieren de un tratamiento previo esto por la elevada carga de materia orgánica (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2014).

OEFA. (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. Lo describe como aguas cuya calidad ha sido cambiada, esto por los hábitos cotidianos de los seres humanos, que por efecto necesitan de un tratamiento previo antes de ser reutilizadas, descargarlo en el sistema de alcantarillado o ser vertidas a los cuerpos de agua.

Perez, F., & Camacho, K. (2011). *Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Servidas*. Declaran que la modificación de las características de estas aguas, resulta después de haber sido usadas en los hogares, industrias o actividades de producción, entre otras. Como resultado las aguas residuales conllevan altas cargas de materia orgánica, grasas, detergentes, residuos de la industria, además de productos agroindustriales y sustancias tóxicas.

Ocola, (2005). Como consecuencia la mayor parte de las aguas residuales son vertidas a los cuerpos receptores de agua (ríos, lagos y mares) y suelos, ocasionando efectos letales como la disminución del oxígeno, por la carga de contaminantes impidiendo la existencia de la vida en la flora y fauna existentes en dichos cuerpos.

“Así también algunos cuerpos de agua son de gran importancia económica,

llegando a un punto de no retorno” (United Nations Educational Scientific and Cultural Organization [UNESCO], 2016)

Egocheaga y Moscoso (citado en Oakley & Salguero, 2011) “De los 52.000.000 m³/día de aguas residuales que se recolectan en América Latina, se estima que solamente 3.100.000 m³/día, o 6%, reciben tratamiento adecuado antes de ser dispuestas en cuerpos de agua o campos agrícolas; encima de este serio problema, hay una tendencia de usar para riego agua residual sin tratar (uso directo) o diluida con otra fuente de agua (uso indirecto); en toda América Latina hay un mínimo de 981.445 hectáreas regadas con agua residual cruda o diluida”.

Méndez & Muñoz, (2010) Frente a ello, en el Perú en el año 2009, decidieron reutilizar sus aguas residuales para beneficio en la agricultura, emitiendo la Resolución N° 0291-2009- ANA, además de los Decretos Supremos N° 002-2008 MINAM y su modificación mediante el D.S N° 015-2015- MINAM y finalmente hubo una segunda modificación esto con el objetivo de ser más precisos y exigentes en los valores y agregando el término de agua para riego no restringido y restringido mediante D.S. N° 004-2017-MINAM brindando disposiciones para las autorizaciones de vertimientos directos y de reúsos de agua residual tratada, con la finalidad de recuperar el estado original de sus cuerpos receptores y de esta manera no eliminar la flora y fauna existente en dichos cuerpos receptores.

Clasificación de las aguas residuales

Según el OEFA, (2015) clasifica a las aguas residuales de la siguiente manera:

Aguas residuales industriales

Son aquellas que resultan de un proceso productivo industrial, que incluye a los sectores de actividad minera, energética, agrícola, pesquería, entre otras, donde todos sus procesos generan agua residual según los productos usados de cada industria (OEFA, 2015).

Aguas residuales domésticas.

Como su propio nombre lo dice son aquellas que se derivan del uso domiciliario que incluye la producción de los puestos de venta que contienen desechos humanos como los Coliformes, grasas, detergentes entre otros, provenientes de las actividades cotidianas de las personas (OEFA, 2015).

Aguas residuales municipales

Son aquellas aguas residuales que resultan de la mezcla de aguas pluviales con aguas producto de las industrias que fueron tratadas después de un proceso

de tratamiento previo, para luego ser emitidas en los sistemas de alcantarillado con los valores permitidos según normativa.

Características de las aguas residuales.

Según las características las aguas residuales domésticas se dividen en tres tipos:

Características Físicas

Con mayor predominación se encuentra a los sólidos totales cuyas características están presentes en mayor cantidad, además de emitir un olor putrefacto y color marrón oscuro.

- **Partículas Sólidas.** En un concepto general, los sólidos se definen como la materia que permanece como residuo después de someter a evaporación una muestra de agua a una temperatura entre 103 - 105 °C
- **Sólidos Totales (ST):** se definen como toda la materia que queda como residuo después de someter a evaporación una muestra de agua a temperaturas comprendidas entre 103-105 °C. No se define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor.

Los sólidos totales pueden clasificarse de acuerdo a su condición física en sólidos: Sedimentables, Suspendidos y Disueltos; y de acuerdo a sus características químicas en Fijos (inorgánicos) y Volátiles (orgánicos).

- **Sólidos Sedimentables (Ss):** corresponden a los sólidos (de tamaño aprox. mayor a 10-2 mm.) que sedimentan en el fondo de un recipiente en forma de cono, llamado Cono de Imhoff, el cual puede ser de vidrio o plástico rígido, en donde se coloca un litro de muestra fresca y se deja en reposo durante un periodo de 60 minutos.
- **Sólidos Suspendidos (SS):** por definición corresponden a la fracción de sólidos que es retenida por el filtro, y que posteriormente queda como residuo, después de someter a evaporación a temperaturas entre 103-105 °C. Estos sólidos, de tamaño mayor a 10-3mm., pueden separarse del agua servida por medios físicos o mecánicos como por ejemplo en la filtración.

Están constituidos por un 70% de sólidos orgánicos y un 30% de sólidos inorgánicos.

- **Sólidos Disueltos (SD):** por definición corresponden a la fracción de sólidos que no es retenida por el filtro y que posteriormente queda como residuo, después de someter a evaporación a temperaturas entre 103-105 °C. Determinar este parámetro nos da una estimación del contenido de sales disueltas presentes en la muestra.

Los sólidos disueltos, están constituidos de sólidos en estado coloidal y estado disuelto, la fracción coloidal está compuesta por las partículas de materia de tamaños entre 10⁻³ y 10⁻⁶mm.

Los sólidos disueltos contienen aproximadamente un 40% de materia orgánica y un 60 % de materia inorgánica.

- **Sólidos Fijos y Volátiles:** se utiliza esta clasificación para determinar el contenido orgánico e inorgánico presente en una muestra. Al incinerar una muestra de agua a temperaturas del orden de los 550 °C, las cenizas resultante corresponden a los sólidos inorgánicos (Fijos) y la fracción orgánica que se oxidará y desaparecerá en forma de gas, son los sólidos orgánicos (Volátiles) (Metcalf & Eddy, 2003) Wastewater Engineering treatment and reuse.

Los sólidos orgánicos son en general los desechos orgánicos, producto de la vida animal y vegetal en donde también se incluyen compuestos orgánicos sintéticos.

Los sólidos inorgánicos, son sustancias inertes que no están sujetas a la degradación, excepto los sulfatos los cuales bajo ciertas condiciones se descomponen en sustancias más simples por ejemplo sulfuros.

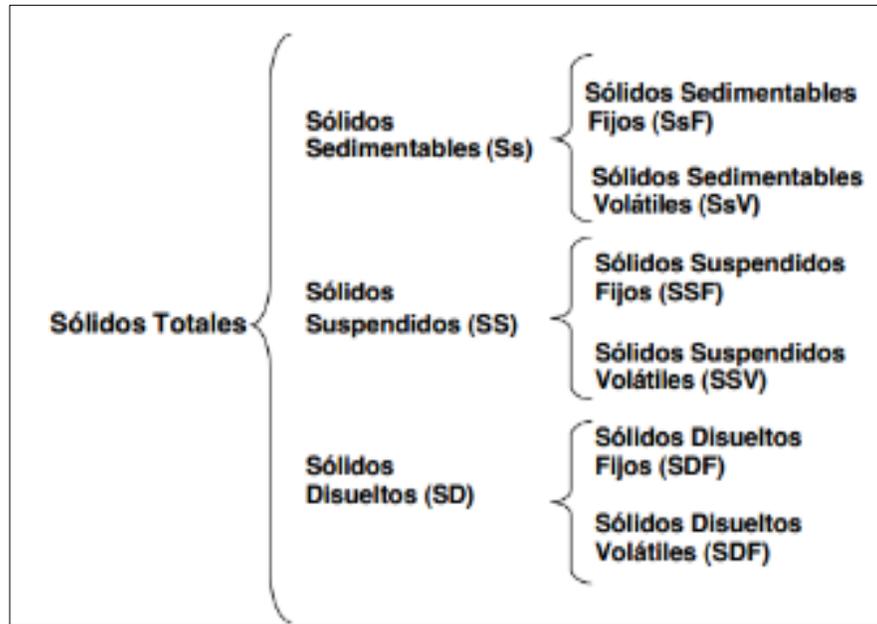


Figura 1: clasificación de los sólidos totales

➤ Temperatura.

La temperatura, tiene una gran importancia en el desarrollo de los diversos fenómenos que se llevan a cabo en el agua, por ejemplo, en la solubilidad de los gases, el efecto de la viscosidad sobre la sedimentación y en las reacciones biológicas, que tienen una temperatura óptima para poder realizarse.

La actividad biológica es mayor a temperaturas más altas, hasta los 30°C aproximadamente. A medida que aumenta la temperatura disminuye la viscosidad, obteniendo como resultado una mayor sedimentación.

➤ Olor.

La evacuación de las aguas residuales frescas, son prácticamente inodoras.

Los olores a podrido tales como: el ácido sulfúrico, mercaptanos (olor a coles podridas), amoníaco y aminas (olor a pescado).

➤ Color.

Generalmente, la coloración es indicadora de la composición y concentración de las aguas residuales, variando del gris al negro según la cantidad de materia orgánica que contenga. Las aguas residuales normales y muy frescas se caracterizan por su color gris. Ahora, si su color es negro o demasiado oscuro, podría indicar que están alteradas o son sépticas y

con mayor razón si desprenden olores sépticos.

➤ **Turbidez.**

La turbidez es debida a la existencia en el agua de materia en suspensión de pequeño tamaño: limos, arcillas, etc; y cuanto mayor es, mayor es la contaminación del agua.

Características químicas

Existen una serie de parámetros que tienen una especial importancia para describir composición de las aguas residuales: (1) la materia orgánica, (2) la materia inorgánica, y (3) los gases presentes en el agua residual. El hecho de que la medición del contenido en materia orgánica se realice por separado viene justificado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas.

1) Materia orgánica

Constituye la tercera parte de los elementos de las aguas residuales, siendo los principales compuestos que se pueden hallar:

- Proteínas (40-60 %)
- Carbohidratos (25-50 %)
- Grasas y aceites (10 %)

En las aguas residuales urbanas, la urea y el amoníaco constituyen las principales fuentes de nitrógeno, junto con las proteínas. La materia orgánica también puede aportar azufre, hierro y fósforo.

La mayoría de los aminoácidos presentes en la naturaleza pueden detectarse en las aguas residuales, como producto de la descomposición de proteínas.

Asimismo, los procesos de cloración de aguas de abastecimiento y la alteración que puede producirse de compuestos orgánicos naturales y de síntesis, hace que puedan aparecer subproductos de una descomposición parcial de las moléculas orgánicas complejas.

Hay una serie de parámetros que son de gran interés en el tratamiento de las aguas residuales, puesto que, nos permiten conocer el contenido en materia orgánica de éstas. Los más importantes son:

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** Es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en el agua. Esta prueba se realiza durante 5 ó 3 días a 20 °C por lo que se expresa como DBO ó DBO5, respectivamente.

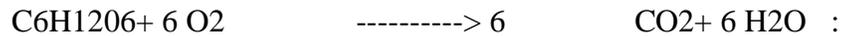
Se puede obtener mediante determinación de la concentración de oxígeno disuelto de la medida de la DBO5, es el procedimiento manométrico basado en el respirómetro de Warburg. El CO2 desprendido determinación de DBO5.

- **Demanda química de oxígeno (DQO):** mide la cantidad de materia orgánica del agua, mediante la determinación del oxígeno necesario para oxidarla, pero en este caso proporcionado por un oxidante químico como el permanganato potásico o el dicromato potásico. Este parámetro no puede ser menor que la DBO, ya que es mayor la cantidad de sustancias oxidables por vía química que por vía biológica. Habitualmente se realiza la determinación con permanganato en las aguas para consumo, denominándose oxidabilidad al permanganato, mientras que en las aguas residuales se realiza con dicromato, llamándose más propiamente DQO.

Este parámetro no puede ser menor que la DBO, ya que es mayor la cantidad de sustancias oxidables por vía química que por vía biológica. Habitualmente se realiza la determinación con permanganato en las aguas para consumo, denominándose oxidabilidad al permanganato, mientras que en las aguas residuales se realiza con dicromato, llamándose más propiamente DQO.

- **Carbono orgánico total (COT):** se mide mediante la introducción de una cantidad conocida de muestra en un horno a alta temperatura. El carbono orgánico se oxida a CO₂, en presencia de un catalizador, y se cuantifica mediante un analizador de infrarrojos. Pero como no se oxidan todos los componentes orgánicos presentes, los valores de COT dan una estimación de carbono orgánico inferior a la real.
- **Demanda total de oxígeno (DTO):** esta prueba se realiza en una cámara de combustión catalizada con platino, en la cual se produce una transformación de la materia orgánica en productos finales estables. El oxígeno residual es analizado por cromatografía gaseosa, y por diferencia obtenemos la DTO.

- **Demanda teórica de oxígeno (DTeO):** se estima mediante una reacción teórica de oxidación total. Para ello, es necesario conocer la composición de las aguas residuales en carbohidratos, proteínas y grasas. Si tomamos la glucosa como ejemplo, sería



$$DTeO = 6 \text{ moles de } O_2/\text{mol de glucosa} = 6 \times 32 = 192 \text{ gr } O_2/\text{mol}.$$

2) Materia inorgánica

Los componentes inorgánicos de mayor interés, en las aguas residuales, son:

- **pH:** la actividad biológica se desarrolla dentro de un intervalo de pH generalmente estricto. Un pH que se encuentre entre los valores de 5 a 9, no suele tener un efecto significativo sobre la mayoría de las especies, aunque algunas son muy estrictas a este respecto. Un aspecto importante del pH es la agresividad de las aguas ácidas, que da lugar a la solubilización de sustancias por ataque a los materiales.

De este modo, un efluente con pH adverso puede alterar la composición y modificar la vida biológica de las aguas naturales. También es más difícil de tratar por métodos biológicos, que sólo pueden realizarse entre valores de pH de 6,5 a 8,5. Las aguas residuales urbanas suelen tener un pH próximo al neutro.

- **Cloruros:** se consideraban como indicador indirecto de contaminación fecal, ya que el hombre elimina unos 6 gr de cloruros al día aproximadamente en las excretas. Pero los cloruros pueden tener otras procedencias, como son la infiltración de aguas marinas, en los acuíferos subterráneos próximos al mar.
- **Alcalinidad:** nos mide la cantidad de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos presentes en el agua. Estos iones se neutralizan con elementos como el calcio, magnesio, sodio, potasio, amoníaco, etc. El agua residual suele tener un cierto grado de alcalinidad, cuyo origen es el agua de suministro y el aporte por las sustancias de uso doméstico.
- **Nitrógeno:** es esencial para el crecimiento de microorganismos y plantas; la limitación de nitrógeno puede producir cambios en la composición bioquímica de los organismos, y reducir sus tasas de

crecimiento. Pero, también el nitrógeno es un contribuyente especial para el agotamiento del oxígeno y la eutrofización de las aguas receptoras, cuando se encuentra en altas concentraciones.

- **Fósforo:** es también esencial para el crecimiento de los organismos. Las formas en que se puede encontrar en las aguas residuales, son orto fosfato, poli fosfato y fosfato orgánico. El fosfato satisface los requerimientos de fósforo de todos los organismos y se necesita en niveles mucho más bajos que el nitrógeno.
- **Azufre:** es requerido para la síntesis de proteínas y se libera cuando éstas se descomponen. Prácticamente, todos los microorganismos pueden usar el sulfato como fuente de azufre, pero algunas especies requieren compuestos en forma más reducida para la biosíntesis.
- **Metales pesados:** algunos de los siguientes se pueden encontrar en las aguas residuales confiriéndoles un carácter tóxico: cobre, cromo, boro, plomo (causante de saturnismo y acumulación en moluscos), plata (puede producir argüiría), arsénico (melanodermia del pie y acumulación en mariscos), antimonio (efecto cancerígeno), bario (efectos sobre el corazón, vasos sanguíneos y nervios), flúor (fluorosis) y selenio produce cáncer y caries).

3) Gases presentes en el agua residual

Los gases que se encuentran más frecuentemente en la composición de las aguas residuales son nitrógeno, oxígeno, anhídrido carbónico, sulfhídrico, amoníaco y metano. Los tres primeros se encuentran en todas las aguas expuestas al aire, ya que son gases comunes en la atmósfera.

Dentro de estos gases, los de mayor interés son:

- **Oxígeno disuelto:** es necesario para la vida de todos los organismos aerobios. Por ello, el crecimiento incontrolado de organismos y microorganismos en el seno de las aguas, puede conducir a su agotamiento.

La cantidad de oxígeno va a depender, también, de otros factores:

- Solubilidad del gas.
- Presión parcial del gas en la atmósfera.
- Temperatura.

- Características del agua (salinidad, sólidos suspendidos, etc.).

- **Sulfuro de hidrógeno:** se forma por descomposición anaerobia de la materia orgánica azufrada, o por reducción de sulfatos y sulfitos minerales. Es un gas incoloro, inflamable, con un olor característico muy desagradable.

Si el agua residual contiene hierro, se combina con él, dando sulfuro de hierro que origina un color negro en el agua.

Características biológicas

En el agua residual existe la presencia de microorganismos que pueden causar daños a la flora y fauna y sin dejar de lado a los seres humanos, en gran cantidad encontramos a los Coliformes, conceptualizada como bacterias que se desarrollan y crecen al tracto.

- **Metano:** es el principal subproducto de la degradación anaerobia de la materia orgánica de las aguas residuales. Es un hidrocarburo incoloro, inodoro y de gran valor como combustible. Aunque no suele encontrarse en grandes niveles, debido a que cantidades muy pequeñas de oxígeno impiden su formación, es necesario tener precaución ante el gran peligro de explosión que supone su alta combustibilidad. En aquellos lugares de las conducciones y alcantarillas donde pueda producirse.

Manejo de las aguas residuales

Según Pérez & Camacho, (2011) indican que el manejo de las aguas residuales inicia con las Entidades prestadoras de servicios (EPS), de saneamiento u otras entidades similares, estas utilizan el agua de cuerpos receptores como ríos, lagos, pozos subterráneos, que seguidamente brindan un tratamiento con métodos y tecnologías con el propósito de que sean para consumo humano. Seguidamente el agua tratada es empleada para las actividades cotidianas domésticas, en comercios e industriales, y que ellas a su vez generan aguas residuales.

Espigares & Pérez, (2010) señala que después del uso del agua tratada estas pasan a la red de alcantarillado para ser derivadas a las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para su tratamiento, empleando variedades de sistemas con tecnología de excelente calidad como: filtros percoladores, lagunas aireadas, lagunas facultativas, lodos activados o reactores. A continuación, estas aguas tratadas y con los valores permitidos

según normativa son utilizadas para el riego de vegetales de tallo alto y bajo, áreas verdes, piscicultura, acuicultura.

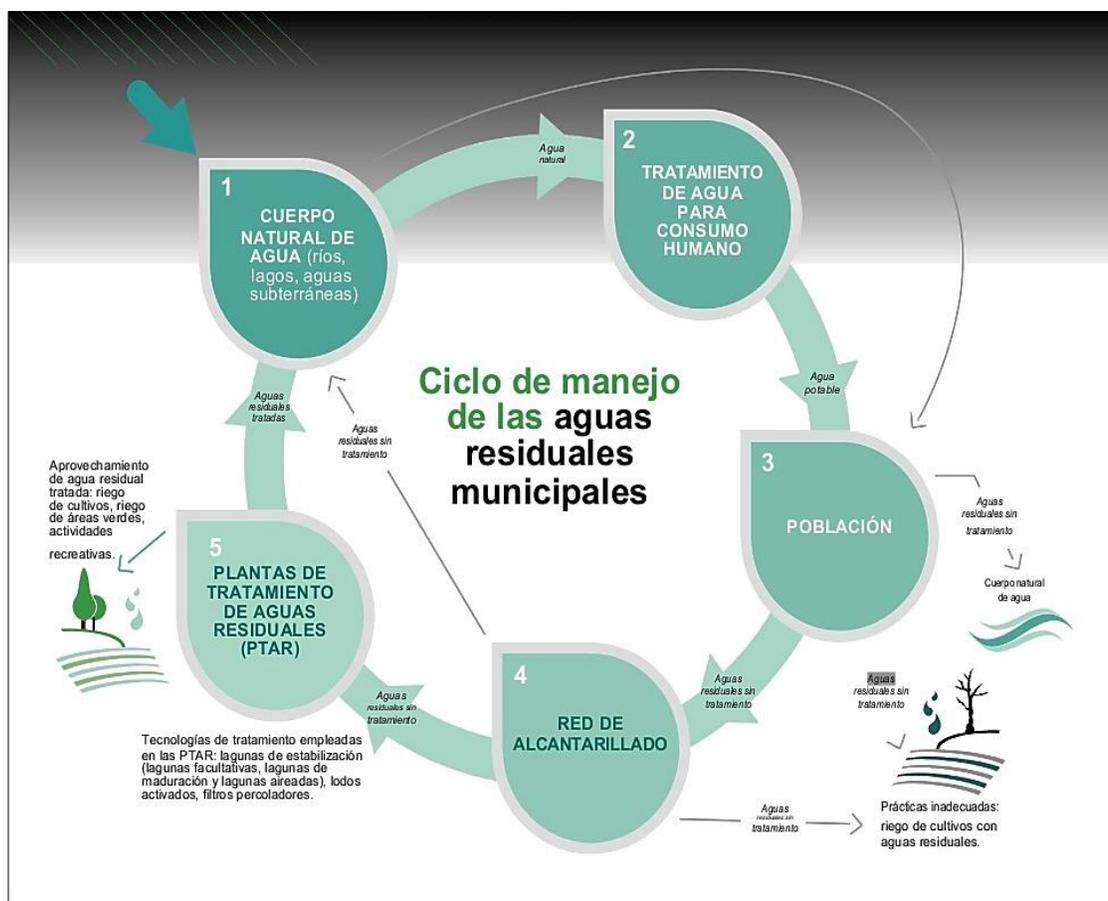


Figura 2. Manejo de aguas residuales (OEFA, 2015)

Remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas.

García (2012). El estudio en la remoción de contaminantes de las aguas residuales ha venido siendo en los últimos años un punto de suma importancia, esto debido a que mientras va en aumento la mezcla del agua residual en los cuerpos de agua (especialmente, ríos y mares).

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE-OS 090, 2006) indica que para calcular el grado de remoción de los contaminantes en el agua es necesario medir los valores de los parámetros que demuestran la contaminación del agua.

La calidad del agua se mide mediante el estudio de sus características físicas, químicas y biológicas que a mayores valores que no son aceptables por las normas vigentes indican una calidad baja. Frente a ello a continuación se describen los

parámetros medibles según sus características para la evaluación de la calidad del agua residual (ver Tabla 1).

Tabla 1: Características del agua

Características	Descripción
Físicas	Turbidez, olor, color, sabor, temperatura, sólidos, conductividad
Químicas	Dureza, PH, Acidez, alcalinidad, fosfatos, sulfatos, Fe, Mn, cloruros, oxígeno, disuelto, grasas y/o aceites, amoníaco, Hg, Ag, Pb, Zn, Cr, Cu, B, Cd, Ba, As, Nitratos, pesticidas, DBO, DQO, entre otros.
Biológicas y Microbiológicas	Algas, hongos, bacterias (patógenos), protozoarios (patógenos), helmintos (patógenos), Coliformes termo tolerantes y Coliformes totales.

Fuente: (Lecca, 2013)

Parámetros de control para la utilización del agua residual en la agricultura.

En el D.S N° 004-2017-MINAM, exponen los estándares de calidad ambiental de agua para los efluentes antes de tener un uso en la agricultura mediante el riego de vegetales, es importante mencionar que por primera vez en la modificación de la norma señala los conceptos de riego con restricción y sin restricción, que son estandarizada bajo la categoría 3; esta norma tiene por finalidad reunir y mejorar las disposiciones aprobadas anteriormente mediante el D.S N° 002-2008-MINAM, D.S N° 023-2009-MINAM y el D.S N° 015-2015-MINAM, modificando y eliminando algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y asimismo ha mantenido algunos valores que fueron mostrados o referidos en los anteriores decretos supremos ya mencionado. Por ello según la norma se tienen los siguientes parámetros (Tabla 2, 3, 4 y 5):

Tabla 2. Parámetros de agua residual para riego de vegetales restringidos y no restringidos, y bebida de animales D. S. N° 004-2017-MINAM- Físicos-Químicos

Parámetros	Unidad de Medida	D1: Riego de Vegetales		D2: Bebidas de Animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebidas de animales
Físicos-Químicos				
Aceites y Grasas	mg/L		5	10
Bicarbonatos	mg/L		518	**
Cianuro Wad	mg/L		0,1	0.1
Cloruros	mg/L		500	**
Color (b)	Color verdadero		100 (a)	100 (a)
Conductividad	(μ S/cm)		2500	5000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L		15	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L		40	40
Detergentes (SAAM)	mg/L		0,2	0,5
Fenoles	mg/L		0,002	0,01
Fluoruros	mg/L		1	**
Nitratos (NO3-N) + Nitritos (NO2-N)	mg/L		100	100
Nitritos (NO2-N)	mg/L		10	10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L		≥ 4	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH		6,5 – 8,5	6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L		1 000	1 000
Temperatura	°C		$\Delta 3$	$\Delta 3$

Fuente: (DS, 004-2017-MINAM)

Tabla 3. Parámetros de agua residual para riego de vegetales restringidos y no restringidos, y bebida de animales D. S. N° 004-2017-MINAM- Inorgánicos

Parámetros	Unidad de Medida	D1: Riego de Vegetales		D2: Bebidas de Animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebidas de animales
INORGÁNICO				
Aluminio	mg/L		5	5
Arsénico	mg/L		0,1	0,2
Bario	mg/L		0,7	**
Berilio	mg/L		0,1	0,1
Boro	mg/L		1	5
Cadmio	mg/L		0,01	0,05
Cobre	mg/L		0,2	0,5
Cobalto	mg/L		0,05	1
Cromo	mg/L			
Total	mg/L		0,1	1
Hierro	mg/L		5	**
Litio	mg/L		2,5	2,5
Magnesio	mg/L		**	250
Manganeso	mg/L		0,2	0,2
Mercurio	mg/L		0,001	0,01
Níquel	mg/L		0,2	1
Plomo	mg/L		0,05	0,05
Selenio	mg/L		0,02	0,05
Zinc	mg/L		2	24

Fuente: (DS, 004-2017-MINAM)

Tabla 4. Parámetros de Agua residual para riego de vegetales restringidos y no restringidos, y bebida de animales D. S. N° 004-2017-MINAM- Orgánicos

Parámetros	Unidad de Medida	D1: Riego de Vegetales		D2: Bebidas de Animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebidas de animales
ORGÁNICO				
Bifenilos policlorados				
Bifenilos				
Policlorados (PCB)	µg/L		0,04	0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L		35	35
Organoclorados				
Aldrin	µg/L		0.004	0.07
Clordano	µg/L		0.006	7
Dicloro Difenil				
Tricloroetano (DDT)	µg/L		0.001	30
Dieldrin	µg/L		0.5	0.5
Endosulfán	µg/L		0.01	0.01
Endrin	µg/L		0.004	0.2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L		0.01	0.03
Lindano	µg/L		4	4
Carbamato				
Aldicarb	µg/L		1	11

Fuente: (DS, 004-2017-MINAM)

Tabla 5. Parámetros de agua residual para riego de vegetales restringidos y no

restringidos, y bebida de animales D. S. N° 004-2017-MINAM- Microbiológicos y Parasitológico

Parámetros	Unidad de Medida	D1: Riego de Vegetales		D2: Bebidas de Animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebidas de animales
Microbiológicos y Parasitológico				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 m	1000	2000	1000
Escherichia coli	NMP/100 m	1000	**	**
Huevos de Helminthos	Huevo/L	1	1	**

Fuente: (DS, 004-2017-MINAM)

Según el MINAM, (2017) riego no restringido son “aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo”.

MARCO LEGAL

En el Perú, se aprobaron normas para desarrollar una cultura ambiental en beneficio y equilibrio con las actividades económicas que se desarrollan en el país. Para el desarrollo del estudio se tuvo en cuenta las siguientes normativas.

La Constitución Política Del Perú (1993)

En su Artículo 2; Inciso 22.- “Derechos Fundamentales de la persona”, menciona que “Toda persona tiene derecho a la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida”. Respecto a la relación de la persona con el medio ambiente en el capítulo II artículos 66 y 67 indican (Congreso, 1993):

a. Artículo 66.- Recursos Naturales

“Los recursos naturales, renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación. El Estado es soberano en su aprovechamiento.

Por ley orgánica se fijan las condiciones de su utilización y de su otorgamiento a particulares. La concesión otorga a su titular un derecho

real, sujeto a dicha norma legal”.

b. Artículo 67.- Política Ambiental

“El Estado determina la política nacional del ambiente. Promueve el uso sostenible de sus recursos naturales”.

Ley General Del Ambiente, Ley N° 28611

En su Título Preliminar Derechos y Principios y el artículo I declara:

a) Artículo I.- Del derecho y deber fundamental

“Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país” (MINAM, 2009) Ley General del Ambiente- Ley N° 28611.

Resolución Ministerial N° 176-2010-Vivienda

Menciona sobre los lineamientos de política para el avance en el tratamiento y para su reúso de las aguas residuales domésticas y municipales en el riego (Ministerio de Vivienda, 2010).

D.S 015-2015-MINAM: Modifican los ECA para Agua

El objetivo principal del decreto es “modificar los niveles de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y microbiológicos presentes en el agua de categoría 3, para riego de vegetales y bebida de animales” (MINAM, 2015).

Tipos de tratamientos de aguas residuales domésticas

Tratamiento preliminar

Tiene por finalidad retener los objetos de diferentes de tamaños excluyendo a los de tamaños que no se visualizan fácilmente que trae el agua consigo, y que puede obstaculizar los siguientes procesos de tratamiento, mayormente los más usados son los tamices y rejillas.

➤ Rejillas

Parte del proceso de tratamiento que tiene como objeto evitar el paso de los materiales de tamaño grande que según la naturaleza de los cuerpos del agua los arrastra, esto con la finalidad de evitar el daño de los siguientes procesos, mayormente se los fabrica con barras de metal de diferentes tamaños según sea el caudal a tratar (Figura 5).



Figura 3: cámara de rejillas

http://vulcano.lasalle.edu.co/~docencia/IngAmbiental/AR_Trat_preliminar.htm

➤ Desarenadores

Son cámaras diseñadas que mediante el proceso de la sedimentación retienen los sólidos de gran tamaño para evitar que obstaculicen el paso del agua que ingresaran seguidamente a procesos que finalizaran brindando un agua tratada (OS 090, 2006). Esto con el propósito de proteger las bombas contra desgaste, y así impedir la formación de material inservible en el interior del desarenador y evitar obstrucciones en tuberías; por tal motivo la limpieza se realiza de forma manual o mecánica, esto ayuda en el mantenimiento de la tecnología (Figura 6).



Figura 4: Desarenador

http://vulcano.lasalle.edu.co/~docencia/IngAmbiental/AR_Trat_pr_eliminar.htm

Tratamiento primario

➤ **Coagulación**

Al ser un tratamiento primario este prioriza la eliminación de sólidos que a simple vista no son visibles, esto mediante el uso de coagulantes. El proceso de este consiste en una precipitación o sedimentación química en el cual se agrega el coagulante con la finalidad de remover sólidos presentes en el agua eliminando o disminuyendo en gran cantidad la turbidez del agua.

➤ **Sedimentación**

El proceso se desarrolla en grandes tanques, donde el agua a tratar entra en un estado de reposo en quietud, haciendo que los sólidos sedimentables desciendan al fondo del tanque, que según estudios anteriores muestran resultados óptimos en la remoción de los sólidos sedimentables y sólidos suspendidos.

Tratamiento secundario

Se da para eliminar desechos y sustancias que con la sedimentación no se eliminaron y para remover las demandas biológicas de oxígeno. Con estos tratamientos secundarios se pueden Expeler las partículas coloidales y similares. Puede incluir procesos biológicos y químicos. Este proceso acelera la descomposición de los contaminantes orgánicos. El procedimiento secundario más habitual es un proceso biológico en el que se facilita que bacterias aerobias digieran la materia orgánica que llevan las aguas. Este proceso se suele hacer llevando el efluente que sale del tratamiento primario a tanques en los que se mezcla con agua cargada de lodos activos (microorganismos). Estos tanques tienen sistemas de burbujeo o agitación que garantizan condiciones aerobias para el crecimiento de los microorganismos. Posteriormente se conduce este líquido a tanques cilíndricos, con sección en forma de tronco de cono, en los que se realiza la decantación de los lodos. Separados los lodos, el agua que sale contiene muchas menos impurezas. Una parte de estos lodos son devueltos al tanque para que así haya una mayor oxidación de la materia orgánica.

Se utilizan también los bio-discos que están contruidos con un material plástico por el que se esparce una película de microorganismos que se regulan su espesor con el paso y el rozamiento del agua. Puede estar sumergido de un 40 a un 90 % y la parte que queda en la superficie es la encargada de aportar

el oxígeno a la actividad celular.

➤ Filtros percoladores

Asimismo, Pérez (2010) señala que “el producto de la aplicación de las aguas residuales al medio filtrante; los microorganismos formados como una biopelícula adherida a este medio pueden entrar en contacto con las cargas orgánicas para el inicio del proceso de purificación”. La comunidad biológica que se encuentra dentro de un filtro percolador pertenece principalmente al reino protista, donde se encuentran: bacterias aeróbicas, anaeróbicas y facultativas, hongos, algas y protozoarios. Los microorganismos que predominan son las bacterias facultativas, las cuales se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6: funciones según tipos de bacterias en el filtro percolador

Bacterias	Función
Achromobacter, Flavobacterium, Pseudomonas y Alcaligenes Nitrosomonas y Nitrobacter	Son las encargadas de degradar la materia orgánica del agua residual.
Fusarium, Mucor, Penicillium, Geotrichu y Sporaticchem	Se encargan de la nitrificación
Phormidium, Chlorella y Ulothrix	Se encargan de la estabilización de los residuos bajo condiciones bajas de pH, sin embargo su crecimiento debe ser controlado, ya que podrían obstruir el paso del agua
Vorticella, Opercularia y Epistylis	Se encuentran en la parte donde da la luz del sol directa y brindan más oxígeno al sistema durante las horas en que hay sol.
	Controlan el crecimiento bacteriano, predominando el grupo de los ciliados.

Fuente: Pérez & Camacho (2011)

➤ Lodos activados

Según Méndez, Miyashiro, Rojas, Cotrato, y Carrasco (2004) el sistema consiste en tres etapas: sedimentación primaria, tanque de aireación y sedimentación secundaria. El agua es tratada con microorganismos dentro de un tanque de aireación con el propósito de eliminar la materia orgánica presente en el agua residual. El tratamiento tiene un tiempo de retención hidráulica que varía entre 4 a 8 horas.

Tratamientos naturales o sistemas biológicos no convencionales

Salas, Pidre, & Cuenca, (2013). También llamados Sistemas Biológicos

no Convencionales, este tipo de sistema presentan una serie de singularidades que las hacen especialmente adaptables a las poblaciones medianas (mayor de 5000 hab) y pequeñas (menor a 5000 hab) presentan una gran variabilidad y adaptabilidad en el entorno natural y los costes de implementación está por debajo de los estimados en los tratamientos de las aguas residuales urbanas; además que no necesitan de mecanización.

a) Método del lombrifiltro

1) Historia del Lombrifiltro

Coila,(2013) Lombrifiltro; diseño, implementación y mantenimiento..Fue descubierto por José Tohá, investigador de la Universidad de Chile (1947). El Sistema Tohá hasta en la actualidad viene siendo estudiado ampliamente en la estación de Texas, Melipilla, donde se encuentra la primera réplica del tratamiento de aguas residuales para una población de 1.000 personas, esta fue construida y diseñada aproximadamente en el año de 1994 con el financiamiento de FONDEF. Además se sigue estudiando y mejorando el método hasta la actualidad.

2) Lombrifiltro o sistema Tohá

Rodríguez (2011) define al método del lombrifiltro como un sistema de tratamiento de aguas residuales basado en el uso de lombrices rojas californianas de nombre científico *Eisenia Foetida* (Figura 5), que por sus características físicas o estructurales brindan un alto porcentaje en la eficiencia para la remoción de materia orgánica y organismos patógenos.

Este lombrifiltro está compuesto generalmente, por 3 capas. Las capas consisten, en una base filtrante de piedras, sobre la cual se agrega una capa de ripio o grava, la parte superior se cubre con aserrín o viruta (desechos de madera), donde se mantiene un alto número de lombrices el modelo se presenta en Figura 5.



Figura 5. Lombriz roja californiana. fuente extraída <https://goo.gl/fJBQd4>

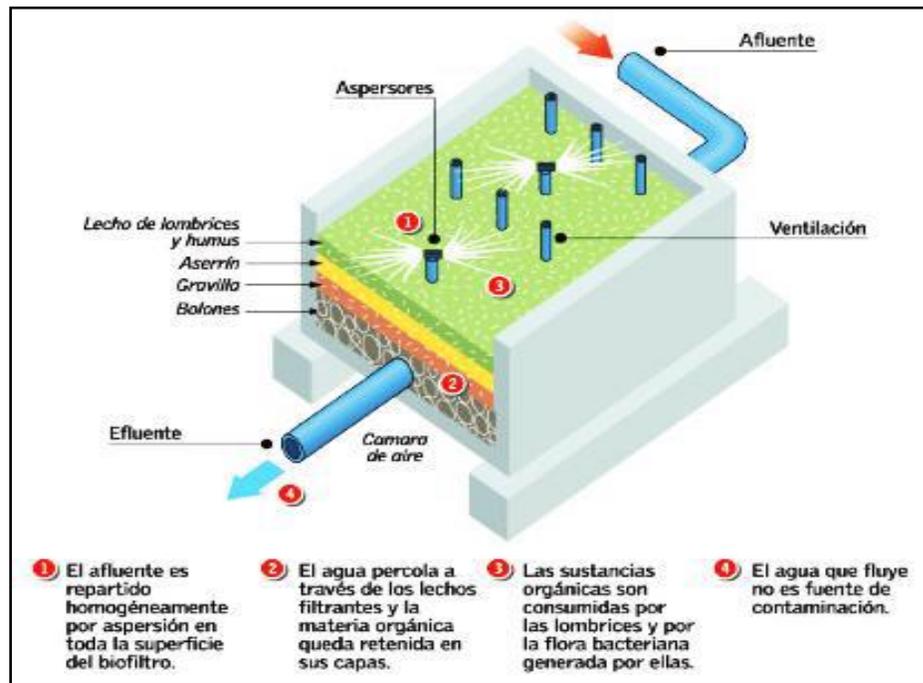


Figura 6. Modelo del lombrifiltro en corte esquemático (Sinha et al., 2008).

3) Descripción de las capas del Lombrifiltro

Jiménez, (2016) el sistema está compuesto por 3 capas (Figura 14), así mismo recomienda que para el diseño del método de Lombrifiltro se tienen que tener en cuenta los siguientes parámetros: caudal, velocidad del caudal, tiempo de retención hidráulico (TRH), profundidad, ancho, largo y altura del sistema; estos son parámetros que intervienen en el

proceso de tratamiento y así reducir el grado de contaminación de las aguas residuales urbanas o rurales.

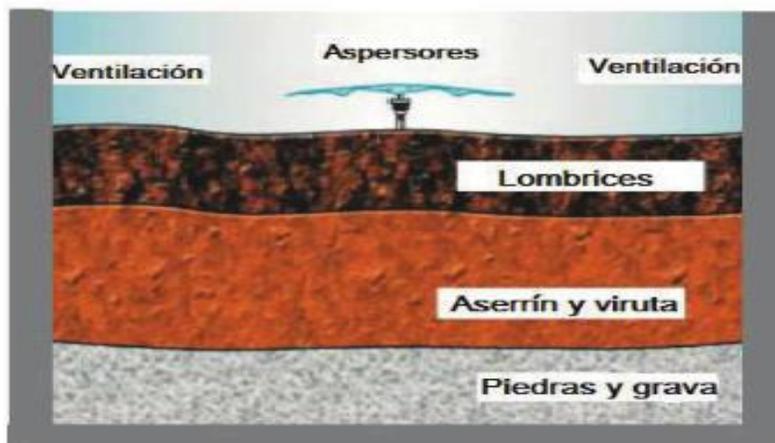


Figura 7. Capas del Lombrifiltro (Jimenez, 2016).

La primera capa está compuesta de aserrín o viruta en mezcla con las lombrices, cuyo espesor recomendable para un eficiente resultado es de 25 cm. Además, el aserrín tiene como fin primordial servir de alimento a las lombrices en el eventual caso que la carga contaminante del afluente no sea suficiente. La segunda capa está constituida por ripio o grava de distintas granulometrías, es aconsejable utilizar piedras trituradas ya que esta facilita la creación rápida de biopelícula (ecosistema microbiano, conformado por uno o varios microorganismos). Finalmente la tercera capa está formada de piedras enteras cumple la función de soporte y también de filtro, al ser de tamaño enteros es recomendable una altura de 10 centímetros como máximo, las piedras de mayor tamaño van en la parte inferior esto por el peso y las de menor en la parte superior.

En la parte inferior del sistema, mayormente consiste en una losa de concreto con cierta pendiente (aproximadamente de un 1%). En el área interna del lombrifiltro se instalan tubos de PVC, los cuales van en forma vertical, sujetadas al concreto y la parte superior sobresale (Figura 8)



Figura 8. Aplicación de las tuberías para la aeroción
(Tapia, L., & Barañao, P: 2004, P.111)

4) **Procesos de remoción física, química y biológica mediante el Lombrifiltro.**

➤ **Proceso de remoción físico mediante el método del lombrifiltro.**

Garkal et al. (2015) menciona que el proceso de degradación de la materia orgánica o de los contaminantes sólidos, inicia cuando el agua residual es impulsada y rociada en la superficie del lombrifiltro.

Fernandez & Sanchez, (2016) El lombrifiltro tiene la capacidad de proporcionar una alta eficiencia en la remoción de contaminantes asociados con material sólidos. El agua residual ingresa a través del lecho filtrante, donde los sólidos son retenidos en cada capa del método.

Parra & Chiang, (2013) Es importante mencionar que el lecho no se colmata. Esto debido a la acción de las lombrices que, mediante sus movimientos constantes, crean túneles y canales que aseguran en todo momento la alta permeabilidad del filtro.

Oliveira, Alves, Campos, Ferreira, & Soares Costa, (2013) Así también el medio filtrante cumple una labor muy importante al igual que las lombrices, desde la antracita que puede ser una opción valiosa en el tratamiento hasta las piedras grandes sirven como filtradores, estos medios por naturaleza forman una especie biopelícula adherida al medio estas entran en contacto con las cargas orgánicas para el inicio del proceso de purificación”. Los microorganismos que predominan son las bacterias facultativas que son de gran ayuda para la degradación y remoción de la turbidez al igual que las lombrices

- **Proceso de remoción químico mediante el Lombrifiltro**

Envitech, (2015). En la primera etapa, la de nitrificación, el amonio es convertido primero en nitrito y éste, a su vez, en nitrato, mediante un consorcio de bacterias nitrificadoras que utilizan carbono inorgánico como fuente de carbono y obtienen la energía necesaria para su crecimiento de las reacciones químicas de la nitrificación. La segunda etapa, la de desnitrificación, consiste en la conversión del nitrato en nitrógeno gas, el cual se libera a la atmosfera.

Wang & Luo, (2016). Asimismo uno de los factores importantes en la nitrificación es la cantidad de materia orgánica, representada por la DQO y DBO, teniendo que ser baja, en este caso las lombrices cumplen una labor significativa debido a que influencia en la desnitrificación a través de su actividad de alimentación.

Wang, Luo, Zhang, & Zhen, (2011) mencionan que la alcalinidad es un parámetro determinante para que el proceso de desnitrificación, se lleve a cabo en condiciones adecuadas. Los carbonatos representados por la alcalinidad son colaboradores para la producción de biomasa de bacterias nitrificantes para ello es muy importante que este se encuentre en valores de pH de 6.5 a 7.5.

- **Proceso de remoción biológica mediante el Lombrifiltro**

Coronel (2015). Una de las capas filtrantes está constituida por aserrín que directamente es su alimento de la lombrices sin embargo, indirectamente cumple una función en la degradación de la materia orgánica, debido a la presencia de bacterias filamentosas como *Sphaerotilus Natans* y *Beggiatoa* entre otras, que terminan siendo un soporte para las bacterias nitrificantes y desnitrificantes estos microorganismos cumplen con la función principal de ejercer un control sobre las bacterias, también existe la presencia de bacterias las cuales estabilizan el agua residual siempre y cuando el pH sea entre 6 y 7.5

Schuldt, & Gutierrez, (2005) Los microorganismos presentes en el agua residual, son degradados en dos maneras, uno es debido a sustancias que son generadas por las lombrices en relación con los microorganismos consumidores de materia

orgánica que viven junto con las lombrices ya mencionadas anteriormente.

Oliveira et al. (2013) el material filtrante, crean una biopelícula adherida al medio estas entran en contacto con las aguas residuales para dar el inicio del proceso de purificación. Los microorganismos que predominan son las bacterias facultativas que son de gran ayuda para la degradación y remoción de la turbidez.

5) Ventajas y desventajas

- **Ventajas del sistema**

Gupta, (2015) menciona que el lecho filtrante no se impermeabiliza esto debido a que la lombrices, con su movimiento, crean túneles que aseguran en todo momento la alta permeabilidad del filtro.

D. Garkal et al.,(2015)Por otro lado el sistema está ligada al tema ecológico, debido a que en el proceso no se utilizan aditivos químicos ni generan residuos altamente contaminantes (lodos).

Así mismo Pérez, (2010) muestra la ventaja sobre la operación y mantenimiento y su costo, en su investigación hizo una comparación entre los sistemas convencionales y no convencionales, dando como resultado que los sistemas no convencionales, sus operaciones y mantenimiento son más sencillos y requiere de costos mínimos (Tabla 7).

Tabla 7: resultados comparativos de costos, operaciones y mantenimientos en los sistemas biológicos

Indicador		Sistemas biológicos			
		Remoción de Nutrientes	Innovadores	Convencional	No convencional
Operación y mantenimiento	Simple				x
	Complejo	x	x	x	
Costos	Bajo costo				x
	Alto costo	x	x	x	

Fuente: Pérez (2010)

Schuldt, Christiansen, Scatturice, & Mayo, (2007). Finalmente el método de lombrifiltro produce un excelente abono agrícola que las lombrices generan, cuyo uso incluso en forma excesiva no daña ni quema las plantas como es el caso de los fertilizantes químicos

- **Desventajas del sistema**

Según Jiang et al. (2016) indica que requiere de mayor superficie, esto se debe a que la mayoría de los sistemas no convencionales necesitan de espacios y áreas manejables ya que son de procesos aerobios y las bacterias, lombrices necesitan de espacio para la degradación de la materia orgánica.

Xing, Li, & Yang, (2010) De la misma manera el lombrifiltro al igual que los otros métodos siempre son sensibles a variaciones bruscas de carga orgánica, las lombrices tienden a degradar o alimentarse en cantidad equivalente a su propio peso de materia orgánica ya cuando esto sobrepasa llega a matar a las lombrices y bacterias.

Finalmente Pérez (2010) menciona que una de las desventajas más importante es la variación del clima ya que afectan al crecimiento de las lombrices o acabar con ellas, debido a que su piel es muy sensibles a cambios bruscos.

6) Características de los parámetros aptas para el diseño del lombrifiltro.

Alvarez, Benítez, & Camargo, (2011) señalan que el pH debe mantenerse en el rango 6,5 – 7.5 ya que a menores o elevado pH suele acabar con la vida de las lombrices. Asimismo menciona que es necesario incorporar viruta de madera debido a que este es la fuente de alimentación de las lombrices.

Por otro lado Jimenez, (2016) muestra otra desventaja que afecta al método que es la Humedad mayormente este varía entre 70 – 80%, pasado este porcentaje las lombrices entra en un periodo de latencia, muerte de las misma.

Martinez, 2012). La temperatura adecuada esta entre 15°C – 24°C en tanto, son letales para las lombrices las temperaturas inferiores a 0°C y superiores a 42°C. De la misma manera la aireación no debe ser excesiva, puesto que pueden producir variaciones en la temperatura y en el contenido en humedad.

7) Operación y Mantenimiento del lombrifiltro.

Se debe realizar constante movimiento de mezcla de la viruta con el lecho filtrante, con el propósito de mejorar la permeabilidad y así evitar el emposamiento del agua.

Asimismo, (Pérez, 2010). Nos dice: El alimento debe estar en un estado de saturación, y evitar la acumulación de agua los cuales no son recomendados debido a que la lombriz no realiza un trabajo adecuado, al contrario, puede llegar a causar la muerte de estas, haciendo perder la homogeneidad del sistema.

8) Eficiencia del método del lombrifiltro

Asimismo Gupta (2015) menciona que una de las ventajas del método es su eficiencia porque alcanza un alto grado de purificación del agua residual, con una remoción de hasta 90.2% frente a los parámetros de DBO y sólidos suspendidos, nitrógeno, fosforo, Coliformes fecales y aceites y grasas (Tabla 8).

Tabla 8: eficiencia del lombrifiltro

DBO	mg/l	93%
sólidos totales	mg/l	99%
Nitrógenos	mg/l	80%
Coliformes fecales	NMP/100 ml	99%
fosforo	mg/l	80%

Fuente: Grupta (2015)

Ruiz, Díez, y Tejero, (2013) señalan la comparación de la eficiencia de los sistemas biológicos, mostrando resultados en la remoción de los parámetros en el sistema no convencional en este encontramos a los lombrifiltros obteniendo un promedio de 91.6% (Tabla 9), y es el único sistema que tiene gran ventaja respecto a la eliminación de los patógenos en su totalidad a diferencia de los demás sistemas estudiados.

Tabla 9: Resultados comparativos de la eficiencia de los parámetros entre sistemas biológicos.

Parámetros	Sistemas biológicos (%)				Promedio general de los sistemas
	Remoción de Nutrientes	Innovadores	Convencional	No convencional	
DBO	86.24	89.5	86.2	94	↓
SST	94.65	94	87.5	97	
Nitrógeno	82.16	84.5	56.2	85	
Fósforo	89.72	84	31.7	85	
Coliformes Fecales	-	97.5	95.7	99	
Aceites y Grasas	-	-	-	90	
Total	88.1	89.9	71.46	91.6	

Fuente: Resultados extraídos de estudios realizados por, Ruiz, Díez, & Tejero (2013), Pérez (2010), Cardoso, Ramírez, & Garzón (2013) y Salas et al. (2013).

9) Eficiencia en remoción de organismos patógenos por el lombrifiltro

Asimismo Gupta (2015) menciona que una de las ventajas del método es su eficiencia porque alcanza un alto grado de purificación del agua residual, con una remoción de hasta 90.2% frente a los parámetros de DBO y sólidos suspendidos, nitrógeno, fosforo, Coliformes fecales y aceites y grasas (Tabla 10).

Tabla 10. Eliminación de microorganismos en varios sistemas de empleo de aguas residuales

Proceso de Tratamiento	Eliminación (unidades logarítmicas ₁₀)			
	Bacterias	Helminetos	Virus	Quistes
Lodo activado	0-2	0-2	0-1	0-1
Lombrifiltro o Biofiltración	0-2	0-2	0-1	0-1
Laguna ventilada	1_2	1	1_2	0-1
Zanja de oxidación	1_2	0-2	1_2	0-1
Lagunas facultativas	1_6	1_3	1_4	1_4

Fuente: (Pérez, 2010)

Importancia de las Lombrices

Fragoso & Brown, (2011). De los organismos del suelo, las lombrices son los más conocidos y a menudo son considerados los más importantes por su influencia en el funcionamiento de los ecosistemas del suelo; tienen un efecto significativo en la estructura del suelo, el ciclo de nutrientes y la productividad de las cosechas. En términos de biomasa, generalmente, dominan la cadena alimentaria del suelo. Entre otros beneficios, aumentan la porosidad del suelo, estimulan la actividad microbiana, aceleran la descomposición de la hojarasca y la liberación de nutrientes en el suelo.

A. Moreno & Borges, (2004). Las lombrices pueden ser clasificadas funcionalmente como especies endógeas (especies comedoras de suelo), anécicas (especies comedoras de suelo y hojarasca), o epígeas (especies comedoras solamente de hojarasca), pueden alterar las características físicas del suelo y los procesos biogeoquímicos según su funcionalidad.

Montserrat, (2004) menciona que las lombrices aportan gran beneficio al suelo facilitando el flujo de agua a través del perfil del suelo incrementando así el transporte de nutrientes y componentes químicos para así llegar a la parte más profunda del mismo haciéndolo más apto para la siembra.

Descripción de la Lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)

Solano & Guzman, (2014) señalan que la lombriz roja californiana de nombre científico *Eisenia foetida* (Figura 21) ha sido utilizada para la actividad de mejora de suelo. Se le llama californiana porque fue en California donde se inició el estudio a gran profundidad sobre su efecto beneficioso sobre el mantillo orgánico y estiércol a nivel comercial.



Figura 9. Eisenia Foetida empleada en el tratamiento

Pero sin embargo en su estudio el Doc. José Tohá y su grupo de investigación descubrieron una nueva aplicación de las lombrices como beneficio para tratar las aguas residuales, las características que muestran estas lombrices son:

- ✓ Su característica principal es su color, la diferencia por ser rojo intenso (de ahí su nombre, lombriz roja californiana). Su tamaño varía entre 6 a 8 cm de largo, y en algunos casos ha llegado a medir hasta 10 cm y de 3 a 5 mm de diámetro.
- ✓ La forma de su cuerpo es cilíndrica, que contiene numerosos segmentos, anillos o somitos (en su mayoría llegan a una cantidad de 250). Cada somito está compuesto de quetas o cerdas, que sirven principalmente para transportarse dentro del suelo.
- ✓ Cuando llegan a hacer adultos tienden a pesar entre 1 g y 1,4 g, comen diariamente casi lo mismo que su peso y excreta un 60% de lo que come en forma de abono.
- ✓ secretan calcio haciéndoles que su uso en suelos agrícolas sea importante debido a que mantienen un pH adecuado.
- ✓ Su tasa de vida varía aproximadamente entre 1 y 4 años cuando están en cautiverio. El hábitat ideal para su crecimiento debe estar a una temperatura de 25 °C, un pH entre 6,8 y 7,2 y una humedad de 70 a 80%.

Martínez, (2012) (Tabla 11) A comparación con otros tipos de lombrices la *Eisenia Foetida* tiene ventaja en el consumo de alimento, beneficiando así el tratamiento tanto suelo como agua.

Tabla 11: Diferencias entre lombrices composteras y nativas.

Características	<i>Eisenia foetida</i>	<i>Eisenia andrei</i>	<i>Lumbricus terrestris</i>
Color	Rojo pardo	Rojo fresa	Café obscuro
Tamaño (cm)	8-10	7- 9	30-35
peso adulta (g)	1.5-2.3	1.5-2.7	4-4.5
Reproducción	Alta	Alta	baja
Cápsulas o capullos	1 cada 7 días	1cada 5 días	Hasta 12 por año
Ciclo de vida	De 90 a 100 días	De 80 a 90 días	180 días
Adaptabilidad	De 0 a 3000 msnm	De 0 a 3000 msnm	Zonas tropicales
Voracidad	Alta	Alta	baja

Fuente: Martínez (2012)

a) Ciclo de vida de la lombriz *Eisenia Foetida*

Díaz, (2002). Las lombrices son hermafroditas, es decir, están dotadas de órganos sexuales masculinos y femeninos, pero son incapaces de auto fecundarse, y se reproducen recíprocamente por fecundación cruzada. El ciclo de vida de esta es muy característico como se puede apreciar en la Figura 10.

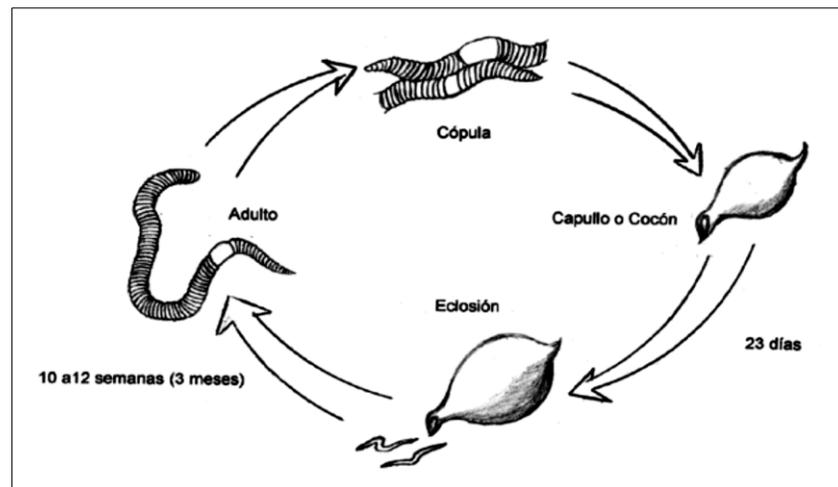


Figura 10. Diagrama del ciclo de vida de *Eisenia Foetida* (Duran & Henriquez 2009)

Según Duran & Henriquez, (2009) mencionan que la lombriz roja californiana para su reproducción sexual inicia en la décima y doceava semana (3 meses) que alcanza su madurez. Su reproducción se da una vez por semana mediante fecundación cruzada. De la fecundación resultan 2 cápsulas llamadas cocones o capullos, ellas se forman en el Clitelo.

Fuentes, (2010).nos dice lo siguiente: Los capullos o cocones tienen forma de pera, como se observa en la figura 22. y que al esparcirse son abandonado por sus progenitores, después del apareamiento. Las lombrices permanecen en el capullo durante un tiempo variable, este dependerá de la temperatura adecuada que oscila entre los 20 y 25°C. Según estudio estos eclosionan al cabo de 23 días, después de haber sido liberados. Cada uno de los capullos contiene de 2 a 4 lombrices, las cuales se desarrollan directamente.

Martínez, (2012) las describe que cuando nacen su color se asemejan a un palo rosa transparente, en época de juveniles también suelen ser de tonalidades más claras que en la etapa de adulto, pasado los 50-65 días ya miden de 2 a 3 cm, y a los 120 días (4 meses) ya tienen la apariencia de adultos, siendo de color rojizo y estando en condiciones de aparearse. Podrían producir entre 1.300 y 1.500 lombrices al año brindando una capacidad reproductiva elevada.

b) Taxonomía de la lombriz roja californiana

Es la siguiente:

Tipo:	Anélido
Clase:	Oligoqueto
Orden:	Opisthoro
Familia:	Lombricidae
Género:	<i>Eisenia</i>
Especie:	<i>foetida</i>
Nombre común:	Lombriz roja californiana, lombriz de tierra roja californiana

Figura 11: clasificación taxonómica de Eisenia foetida

c) Características externas de la Lombriz Roja Californiana

- **Simetría:** Bilateral.
- **Forma:** El cuerpo de las lombrices tiene una forma cilíndrica, pero también pueden existir secciones cuadrangulares.
- **Color:** Eisenia foetida tiene un color rojizo intenso, razón por la cual se le conoce con el nombre de Roja Californiana.

- **Segmentos:** son los anillos que conforman el cuerpo de la lombriz, con un total de 95.
- **Boca:** En el anillo 1, sin dientes ni mandíbulas (succiona), lóbulo carnoso o prostomio (espolón)
- **Cutícula:** Pared exterior que recubre la epidermis posee glándulas en todos los anillos que secretan mucus, lo que permite su humedad y flexibilidad.
- **Surcos intersegmentarios:** Son surcos con forma de anillos y se pueden reconocer en la pared del cuerpo de la lombriz
- **Quetas o cerdas:** Son estructuras primordialmente locomotoras. Están presentes dos ventrales y dos laterales entre los anillos 2 y 94.
- **Nefridioporo:** Abertura excretora con ubicación latero ventral.
- **Poros dorsal:** Ubicado entre los anillos 8 – 9 y 95, comunica la cavidad del cuerpo y el exterior del surco de cada anillo.
- **Receptáculos seminales:** Ubicados en la parte lateral de los surcos entre anillos 9 –10 y 10 –11.
- **Conductos espermáticos pares:** Son los conductos que transportan el semen, ubicados ventralmente en el anillo 15.
- **Poros de células sensitivas:** Ubicadas en todos los anillos.
- **Clitelo:** Órgano que cumple funciones reproductivas, ubicado entre los anillos 32 y 37. Es un espesamiento glandular. Se encarga de secretar la sustancia que forma los capullos, donde se alojan los huevos.
- **Ano:** Abertura oval y vertical ubicada en el anillo 95.

d) Propiedades que proporcionan las lombrices californianas (humus)

➤ **Propiedades químicas.**

- ✓ Por sus características intrínsecas incrementa la disponibilidad de Nitrógeno, fósforo y Azufre, fundamentalmente actúa favorablemente respecto al Nitrógeno.
- ✓ Incrementa la eficiencia de fertilización, particularmente con el Nitrógeno
- ✓ Estabiliza la reacción del suelo, debido a su alto poder

buffer(Tampón químico), facilitando la absorción de nutrientes

- ✓ Inactiva los residuos de plaguicidas debido a su capacidad de absorción.

➤ **Propiedades físicas**

- ✓ Mejora la estructura, dando menor densidad aparente a los suelos pesados y compactos y aumentando la unión de las partículas en suelos arenosos, por la acción de enzimas y bacterias.
- ✓ Mejora la permeabilidad y aireación, por la acción bacteriana.
- ✓ Reduce la erosión del suelo, al dificultar el lavado de nutrientes por la acción del agua de lluvia.
- ✓ Incrementa la capacidad de retención de humedad.
- ✓ Confiere un color oscuro en el suelo ayudando a la retención de energía calorífica.

➤ **Propiedades biológicas**

- ✓ El humus de lombriz es fuente de energía, la cual incentiva la actividad microbiana.
- ✓ Al existir condiciones óptimas de aireación, permeabilidad, pH y otros se incrementa y diversifica la. Flora microbiana.

e) Reproducción de las lombrices

Las lombrices son hermafroditas, es decir, están dotadas de órganos sexuales masculinos y femeninos, pero son incapaces de auto fecundarse y se reproducen recíprocamente por fecundación cruzada.

Luego de producirse la fecundación, depositan en el lugar donde se alimentan 3 cápsulas de paredes resistentes (llamadas cocones) conteniendo cada una de 3 a 10 lombrices pequeñas. Estas lombrices, que son igual a las adultas pero de color blanco y más pequeñas, están sometidas a peligros que pueden ser mortales para su delicada contextura como: falta de comida, presencia de algún producto tóxico, enemigos naturales, etc. haciendo que disminuya apreciablemente el número inicial, llegando aproximadamente un 50% al estado adulto.

La máxima actividad sexual se logra cuando la temperatura oscila alrededor de los 22°C. Cada lombriz puede producir al año, en

condiciones favorables, alrededor de unas 1.500 lombricitas. El promedio de vida de la lombriz es de 16 años

f) Condiciones ideales y desfavorables de su hábitat

Salazar, (2005). El hábitat adecuado para la lombriz debe tener una temperatura que oscile entre los 15° y 24° C, siendo óptima la temperatura de su propio cuerpo (aproximadamente 20° C), un pH neutro con un rango de entre 6.5 y 7.5, con oxigenación, una alimentación constante como materia orgánica, luminosidad baja ya que teme a la luz (pues el rayo ultravioleta las mata) y humedad disponible entre el 70% - 80%. Esta última es un factor de mucha importancia que influye en la reproducción, una humedad superior al 85% hace que las lombrices mueran fácilmente.

Salazar, (2005) Para medir el porcentaje correcto de la humedad en el sustrato se puede usar el método más fácil que es la prueba de puño, que consiste en tomar una cantidad de suelo con el puño de una mano, posteriormente aplicar la fuerza, lo normal de un brazo, y si salen de 8 a 10 gotas es que la humedad está en un 80% aproximadamente.

Salazar, (2005). En este sentido debe indicarse que la especie *Eisenia Foetida* son débiles a los cambios bruscos del clima ante un frío excesivo (0°C) como al calor elevado (más de 42° C), hace que disminuya su actividad sexual y producción de humus.

Salazar, (2005). La lombriz acepta sustratos con pH mínimo de 4.5 a 8.5 fuera de este rango, la lombriz muere.

El Polvo de aserrín como sustrato para lombrices

Vicente, (2016) Es un conjunto de partículas que se desprenden de la madera al serrarla. Su composición es la celulosa que conforma alrededor de la mitad del material, la lignina polímero que proporciona dureza, y hemicelulosa cuya función es actuar como unión de fibras.

Vásquez, (2013) Nos dice; posee muchas cualidades por lo que la lombriz *Eisenia Foetida* tiene preferencia, en todos los tamaños de partícula esto debido a su fácil descomposición en mezcla con otros materiales. Su fácil accesibilidad y bajo costo la hacen un recurso beneficioso con ciertas excepciones ya que el aserrín que posee una coloración rojiza no suele ser utilizado ya que a mayor color intenso, suelen acabar con la vida de estas.

Padilla & Jimenez, (2012). Además el uso de aserrín, brinda la ventaja en la creación del humus, al tener esta mezcla, se obtendría un producto como los abonos para la mejora del suelo.

Producción de lombrices

a) A nivel internacional

Los principales países productores de América Latina son Chile, Brasil, Colombia, Argentina y Ecuador. Estos países cuentan con grandes explotaciones industriales de lombriz roja californiana.

Filipinas es uno de los mayores productores de harina de lombriz para consumo humano, ya que la ausencia de olor y sabor la hace competitiva con la harina de pescado, tanto en calidad como en precio.

b) A nivel nacional

La lombricultura es un tópico que se relaciona con la agricultura sostenible (Hobbelink, 1987; Sinha et al., 2009; Manikandan et al., 2013; Thiripurasundari y Dvya 2014). El Artículo 4° de la Ley de Promoción de la Producción Orgánica (Ley N° 29196, 2008) del Perú, menciona que la “actividad orgánica es todo lo que se sustenta en sistemas naturales, que busca mantener y recuperar la fertilidad de los suelos, excluyendo el uso de agroquímicos sintéticos, cuyos efectos tóxicos afecten la salud humana y causen deterioro del ambiente, y descarta el uso de organismos transgénicos. La actividad orgánica es conocida también como agricultura ecológica o biológica; en tal sentido, la lombricultura se constituye en una actividad orgánica” (Jack y Thies, 2006; Sinha et al., 2009).

Rodríguez (2008) menciona que la lombricultura a base de la especie *Eisenia foetida* es una técnica agroecológica de producción diversificada que puede generar ingresos económicos (Kamineni y Sidagam, 2014). Gomero y Velásquez (1999) mencionan que se denomina humus de lombriz a los excrementos de las lombrices. Estos seres vivos especializados en transformar residuos orgánicos, producen uno de los abonos orgánicos de mejor calidad, debido a que el humus de lombriz tiene su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y favorece el desarrollo de las plantas (Hussaini, 2013).

La lombricultura permite el reaprovechamiento de los residuos sólidos domiciliarios. De acuerdo con la Ley N° 27314 (2000) del Perú, el reaprovechamiento de los residuos sólidos se refiere a volver a obtener un beneficio del bien, artículo, elemento o parte del mismo que constituye residuo sólido; se reconoce como técnica de reaprovechamiento al reciclaje, recuperación o reutilización. Una de las tecnologías de mayor facilidad para

los agricultores de los ámbitos rural, urbano y periurbano, es la producción de humus de lombriz mediante la crianza de lombrices para incrementar los niveles de materia orgánica en los suelos agrícolas (Velázquez et al., 1986).

Se ha estimado una población de 274,011 personas involucradas en la agricultura sostenible en el Perú.

Los resultados obtenidos con la aplicación de las encuestas en el componente sobre características de la lombricultura para el ámbito nacional se resumen en la Tabla 12,

Tabla12: opinión de los participante (agricultores, viveristas, productores de humus, comerciantes y amas de casa) sobre las ventajas y desventajas de la lombricultura en el ámbito nacional peruano (%)

ventajas y desventajas de la lombricultura	agricultores	viveristas	productores de humus	comerciantes	amas de casas
De fácil producción	23		85		
Mejor fertilizante orgánico	69	25		53	27
Mejora producción de hortalizas	64		39		22
Mejora desarrollo de plantones		65		85	
Da buen resultado en flores	14				83
Incrementa la producción	44				6
Mejora calidad del producto	27				6
Mejora el suelo		38			
Retiene humedad		48			
No contamina la chacra			49		
Tiene buena demanda			80	75	
Costo alto	74				
Falta difusión para su uso			50	80	

Tabla13: Seis características de la lombricultura en el ámbito nacional del Perú

ventajas y desventajas de la lombricultura	agricultores	viveristas	productores de humus	comerciantes	amas de casas
Área de los predios (ha)	414,90				414,90
Área de lombricultura (ha)	138,30				138,30

cantidad de humus usado (kg.mes-1)	143,645	43,675		225,72
producción de humus (tn)			244,90	244,90
Demanda de humus (tn)			214,80	214,80
Cantidad de humus comercializado (tn)			108,40	108,41

Tabla 14: Opinión de los participantes (agricultores, viveristas, productores de humus, comerciantes y amas de casa) sobre las ventajas y desventajas de la lombricultura en el ámbito rural peruano (%)

ventajas y desventajas de la lombricultura	agricultores	viveristas	productores de humus	comerciantes	amas de casas
De fácil producción	24		75		
Mejor fertilizante orgánico	69	21			30
Mejora producción de hortalizas	63		25		40
Mejora desarrollo de plántones		54			
Da buen resultado en flores	11				50
Incrementa la producción	43				30
Mejora calidad del producto	25				30
Mejora el suelo		33			
Retiene humedad		42			
No contamina la chacra			25		
Tiene buena demanda			50		
Costo alto	75				
Falta difusión para su uso			50		

Tabla 15: opinión de los participantes (agricultores, viveristas, productores de humus, comerciantes y amas de casa) sobre las ventajas de la lombricultura en el ámbito periurbano peruano (%)

ventajas y desventajas de la lombricultura	agricultores	viveristas	productores de humus	comerciantes	amas de casas
De fácil producción	22		85		
Mejor fertilizante orgánico	67	30		38	29

Mejora producción de hortalizas	78	27	86
Mejora desarrollo de plántones		80	50
Da buen resultado en flores	44		64
Incrementa la producción	56		29
Mejora calidad del producto	33		29
Mejora el suelo		40	
Retiene humedad		50	
No contamina la chacra		49	
Tiene buena demanda		78	63
Costo alto	56		
Falta difusión para su uso		39	50

Corroboración de la eficiencia, en la remoción de carga orgánica de un efluente industrial con un Biofiltro de lombrices.

Para sustentar la buena eficiencia del biofiltro de lombrices, se menciona los resultados obtenidos en una planta de lácteos en Cajamarca y comparando con los límites máximos permisibles establecidos por la norma nacional DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM, afirma la eficiencia de remoción de carga orgánica del Biofiltro de lombrices o sistema Tohá. Es superior al 50% dando como credibilidad la buena eficiencia de este tipo de sistemas no convencionales. Fuente (julio Cesar Chávez, 2017)

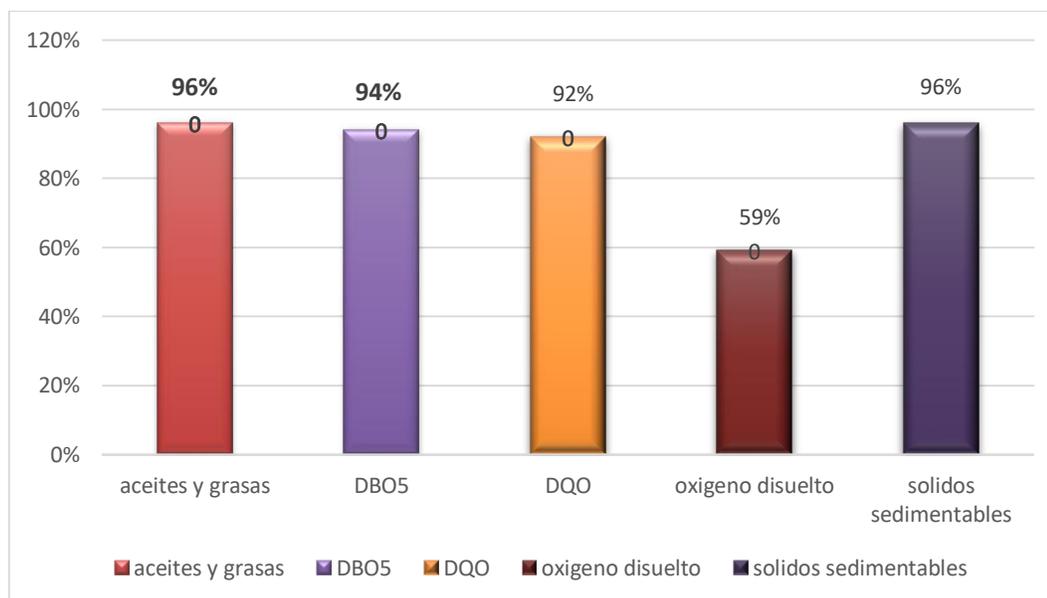


Figura 12: Eficiencia de un Biofiltro en la reducción de carga orgánica de un efluente industrial en la ciudad de Celendín (fuente: julio cesar Chávez)

Análisis de parámetros físico – químicos que debe de cumplir el agua residual antes de ser vertidos, Según norma vigente

Los análisis asociadas al agua residual tratada se verán reflejada en la siguiente tabla donde muestra los valores máximos permisibles para la descarga de aguas residuales NO domésticas en la red de alcantarillado. En la presente norma nos menciona cuales deben ser los parámetros y la reducción de sus contenidos que se deben cumplir antes de ser vertidos a la red de alcantarillado dado por el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento en el 2009 (MVCS - N° 021-2009-Vivienda), y modificado en algunos artículos en el 2015 (MVCS - N° 001-2015-VIVIENDA) lo que nos muestra cuales son los parámetros medidos y límites máximos admisibles según esta norma vigente en la actualidad:

Tabla 16. Comparación de resultados con los valores máximos admisibles sacados de la norma vigente.

PARAMETRO	UNIDAD	EXPRESION	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
demanda química de oxígeno	mg/L	DQO	1000
demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	DBO	500
oxígeno disuelto	mg/L	OD	NO INDICA
solidos sedimentales	mg/L	SS	8.5
aceites y grasas	mg/L	A Y G	100

Fuente: (MVCS 2015)

BIOFILTRACIÓN

Proceso biológico utilizado para el control o tratamiento de compuestos volátiles orgánicos e inorgánicos presentes en la fase gaseosa. En la biofiltración, los microorganismos son los responsables de la degradación biológica de los contaminantes volátiles contenidos en corrientes de aire residual.

Durante el proceso de biofiltración, el aire contaminado pasa a través de los macro poros del material filtrante. La degradación de los contaminantes ocurre previa transferencia del aire a un medio líquido en donde es utilizado como fuente de carbono y energía (compuestos orgánicos) o como fuente de energía (compuestos inorgánicos). La utilización implica producción de biomasa y la oxidación parcial o total del contaminante. A su vez, la biomasa, bajo ciertas condiciones sufre una oxidación por respiración endógena. De esta manera, los

procesos de biofiltración dan lugar a una descomposición completa de los contaminantes, creando productos no peligrosos.

CONCEPTUACIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

VARIABLE INDEPENDIENTE

La lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), para el método de Biofiltro de lombrices

- DEFINICIÓN CONCEPTUAL

Las lombrices rojas "californianas" fueron criadas intensivamente a partir de los años 50 en California (EEUU). Esta lombriz originaria de Eurasia es *Eisenia foetida*. Al presente es la especie más cultivada en el mundo entero, dada su rusticidad, tolerancia a los factores ambientales (pH, temperatura, humedad), potencial reproductor y capacidad de apiñamiento.

Generador de aportes económicos tanto en su producción como arina de lombrices, la producción de humus (abono natural) y en investigaciones de tratamientos de aguas industriales.

Fuente:(<https://sites.google.com/site/lalombrizrojacaliforniana/marco-conceptual>)

- DEFINICIÓN OPERACIONAL

Degradada la materia orgánica convirtiéndolo en humus (abono natural).

Acondiciona el suelo de cultivo aireándolo a través de túneles generados por la lombriz.

Utilizadas en plantas de tratamiento ecológico de agua residual por su alta voracidad de los agentes orgánicos y por su neutralidad en generar enfermedades.

Fuente: <https://sites.google.com/site/lalombrizrojacaliforniana/marco-conceptual>

- DIMENSION

- Degradador de materia orgánica

- **INDICADORES**
 - Consumidor de materia orgánica
 - Productor de humus consecuencia de la degradación de la materia orgánica.
 - Reproducción de inversamente proporcional a fuente de alimentación.
 - No genera enfermedades.
 - Fácil adaptación y fácil mantenimiento.

VARIABLES DEPENDIENTES

Calidad del agua residual

- **DEFINICIÓN CONCEPTUAL**

Agua alterada en su calidad físico químico. Por el uso que se haya hecho de ella.
- **DEFINICIÓN OPERACIONAL**

Cantidad de agua disponible para su posible reutilización. Con disminución en los parámetros físico – químicos. Por medio de métodos convencionales y no convencionales de tratamiento de agua. Salazar, D. (2003).

Fuente adicional: http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/uso_reuso.pdf

- **DIMENSION**
 - Parámetros físico – químico
 - Efluente.
- **INDICADORES**
 - Demanda bioquímica del oxígeno (DBO).
 - Demanda química de oxígeno (DQO)
 - Sólidos Suspendidos totales.
 - Efluente doméstico y municipal

HIPÓTESIS

La implementación del Biofiltro de lombrices, sería eficiente para el tratamiento del agua residual doméstica del camal municipal de Chimbote.

Fundamentación de la hipótesis

La siguiente hipótesis de la investigación:

“La implementación del Biofiltro de lombrices, sería eficiente para el tratamiento del agua residual doméstica del camal municipal de Chimbote.”

Se basa en:

La investigación y realización del proyecto realizado por el investigador chileno, el Dr. José Tohá Castellá, quien recoge experiencias realizadas en la planta de Lufkin, Texas (1981) sobre el tratamiento de aguas residuales mediante lombricultura y comienza a experimentar con este sistema a partir del año 1986, naciendo de esta manera el Sistema Tohá. Así mismo en 1994, gracias al apoyo de FONDEF se construyó una planta experimental de tratamiento de aguas residuales en CEXAS Melinilla (perteneciente a EMOS), utilizando este tipo de tecnología desarrollada en la Facultad de Ciencias Física y Matemáticas de la Universidad de Chile, para una población de 1000 personas dándole como resultado una descontaminación entre 80% hasta 90 % de los parámetros físico – químicos del agua residual (A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003)

“EFICIENCIA DE Lumbricus Terrestris Y Eisenia Foetida EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE BAGUA-AMAZONAS, 2015”

En la presente investigación se determinó la eficiencia de la lombriz de tierra (Lumbricus Terrestris) y la lombriz roja californiana (Eisenia Foetida) en el tratamiento de las aguas residuales a condiciones ambientales de la ciudad de Bagua. Se aplicó la adaptación de las dos especies durante un periodo de siete días, luego se inocularon al sistema de Biofiltro conformado por dos estanques con capas inertes (bolones, grava, aserrín, tierra y compost) y organismos vivos (lombriz de tierra, roja californiana y microorganismos presentes en el sustrato) y un tanque de almacenamiento (aguas residuales), flujo continuo.

Obteniendo como resultados que la especie Eisenia Foetida es más eficiente en el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Bagua, con un porcentaje promedio de remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del 73% mientras que Lumbricus Terrestris obtuvo un promedio de remoción del 63%.

En conclusión se puede sustentar a base de investigaciones ya realizadas que el Biofiltro de lombrices es un método no convencional que aporta mayores beneficios en la reducción de agentes contaminantes en la calidad de agua residual doméstica, industrial o municipal hasta en un porcentaje mayores de 50 % siendo un porcentaje adecuado, en consecuencia la hipótesis planteada tiene sustento y se espera obtener los mismos resultados.

OBJETIVOS

Objetivo General:

Tratar el agua residual del camal municipal de Chimbote mediante el uso del Biofiltro de lombrices.

Objetivo Específicos:

- Determinar los parámetros de diseño para la construcción del Biofiltro de lombrices.
- Diagnosticar la adaptación de las lombrices según la especie en estudio.
- Mostrar los Resultados de los parámetros analizados después del tratamiento
- Comparar los parámetros del agua residual tratada por el método del lombrifiltro ante los parámetro de agua sin tratar
- Comparar los parámetros analizados con la normativa vigente
- Determinar las ventajas y desventajas del Biofiltro de lombrices aplicado en el camal municipal de Chimbote.

II. MÉTODOLÓGIA

TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

- **Tipo de Investigación:** **APLICADA**

Investigación Aplicada porque soluciona problemas prácticos (Hernández Fernández y baptista (2003))

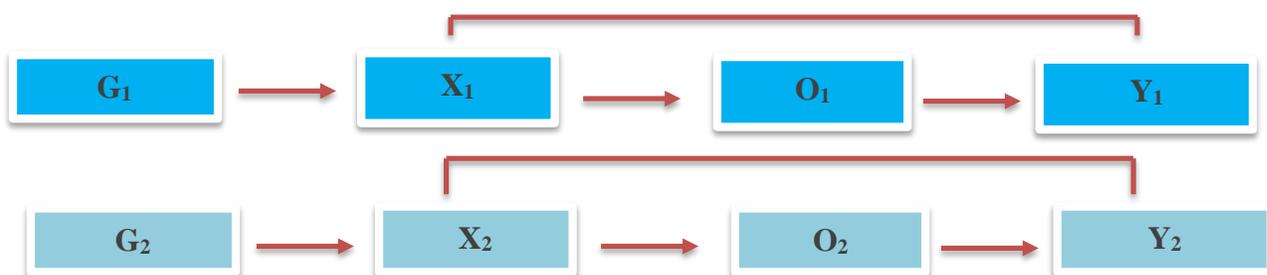
Es investigación aplicada debido a que el proyecto busca reducir los niveles de contaminación físico – químicos, que generan los efluentes del camal municipal de Chimbote, mediante la implementación de un Biofiltro de lombrices y a la vez volver a reutilizar dicha agua en actividades de riego para parques y jardines.

- **Nivel de Investigación:** **EXPERIMENTAL**

Porque tenemos dos grupos de estudios ya establecidos: Grupo Control y Grupo Experimental, ya que buscamos proponer un Biofiltro compuesto de lombrices para el sistema de agua residual, las cuales serán métodos experimentales.

- **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:**

DISEÑO EXPERIMENTAL



G₁, G₂: Grupos que se empleará para la investigación

- G₁: Sistema de agua convencional.
- G₂: Sistema de agua mediante un Biofiltro de lombrices.

X₁, X₂: variables independientes

- X₁: Posa de sedimentación.
- X₂: lombriz Eisenia Foetida.

O₁, O₂: Posibles Resultados

- O₁: Resultados obtenidos de la calidad del agua de una muestra sin tratar.
- O₂: Resultados obtenidos de la calidad del agua de una muestra tratada.

Y₁, Y₂: Variables dependientes

- Y₁: Verificación de la calidad de agua residual
- Y₂: Verificación de la calidad de agua residual con el Biofiltro.

POBLACIÓN Y MUESTRA:

POBLACION

▪ Población.-

La población está constituida por la totalidad de las aguas residuales producidas por el camal municipal, que viene hacer una cantidad de 10 000 litros diarios (10 m³). Y también por la calidad de agua tratada por el Biofiltro de lombrices.

▪ La ubicación del agua.-

Es del Volumen y calidad de agua que fluye por el efluente de las canaletas dentro de la sala del matadero y la sala de lavado de viseras. Ubicado en el camal municipal de Chimbote, Para así poder realizar el ensayo correspondiente.

MUESTRA.

▪ Muestra:

La muestra será representada por 40 lt (0.04m³) de agua residual. Este será la representación de todas las aguas residuales domésticas del camal municipal de Chimbote, que será procesada en el Biofiltro de lombrices.

Se está determinando la cantidad de 40 litros de agua del camal para el pre-dimensionamiento del Biofiltro a escala de laboratorio.

Se basa esta cantidad de agua según estudios realizados por plantas de tratamiento en Chile que nos dice que por 1 m² de Biofiltro trata 1 m³ de agua residual. Fuente [A.V.F. Ingeniería Ambiental. (2003)]

- Volumen de agua a extraer:
 - Según el Reglamento de la calidad del agua, no es posible fijar de una manera general el volumen de agua a extraer para el análisis químico – bacteriológico, ya que varía según las determinaciones a efectuar entre 1 a 5 litros.
 - El tipo de muestra de este trabajo de investigación es: Muestreo no Probabilístico por Conveniencia, ya que como investigadores tenemos un presupuesto, tiempo y mano de obra limitada, también porque nuestro objetivo es generar resultados que se utilizaran para el beneficio de una población.

TÉCNICA E INSTRUMENTO

a) Técnica:

La observación se aplicó para:

- ✓ evidenciar el comportamiento de la eficiencia en la remoción de contaminantes.
- ✓ monitorear y registrar información a través del cuaderno de campo, memorias de máquinas, fotográficas y otros.
- ✓ así mismo se utiliza para realizar comparaciones entre los grupos experimentales antes y después de aplicar el Biofiltro de lombrices.

La encuesta se aplicó para:

- ✓ obtener datos de varias personas cuyas opiniones impersonales son de interés en el desarrollo de la investigación.

b) Instrumento:

La observación: tiene como instrumento la guía de observación servirá para tomar los datos recolectados en el laboratorio.

La guía será tomada con respecto a los siguientes análisis:

- Análisis de parámetros físico químico como DBO, DQO, sólidos totales

La encuesta: tendrá como instrumento la entrevista porque se va a realizar con el fin de obtener información de parte de personas entendida en la materia de investigación o con conocimiento de la misma.

RECOLECCIÓN, PROCESO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS

Lugar de investigación

La construcción del Biofiltro de lombrices se realizó en el AA.HH. santa cruz Mz: C Lt: 25 pasaje pañamarca, se encuentra ubicado en el departamento de Áncash, provincia de santa y distrito de Chimbote. Asimismo, el agua residual doméstica recolectada, se situó en el camal municipal de Chimbote, en el pueblo joven Pensacola, donde se realiza el sacrificio de animales domésticos para el consumo (Figura 13).

Los análisis de los parámetros (DBO5, DQO, nitratos, solidos totales disueltos, Coliformes termo tolerantes, pH, aceites y grasas y Turbidez) fueron realizados por el laboratorio COLECBI SAC.

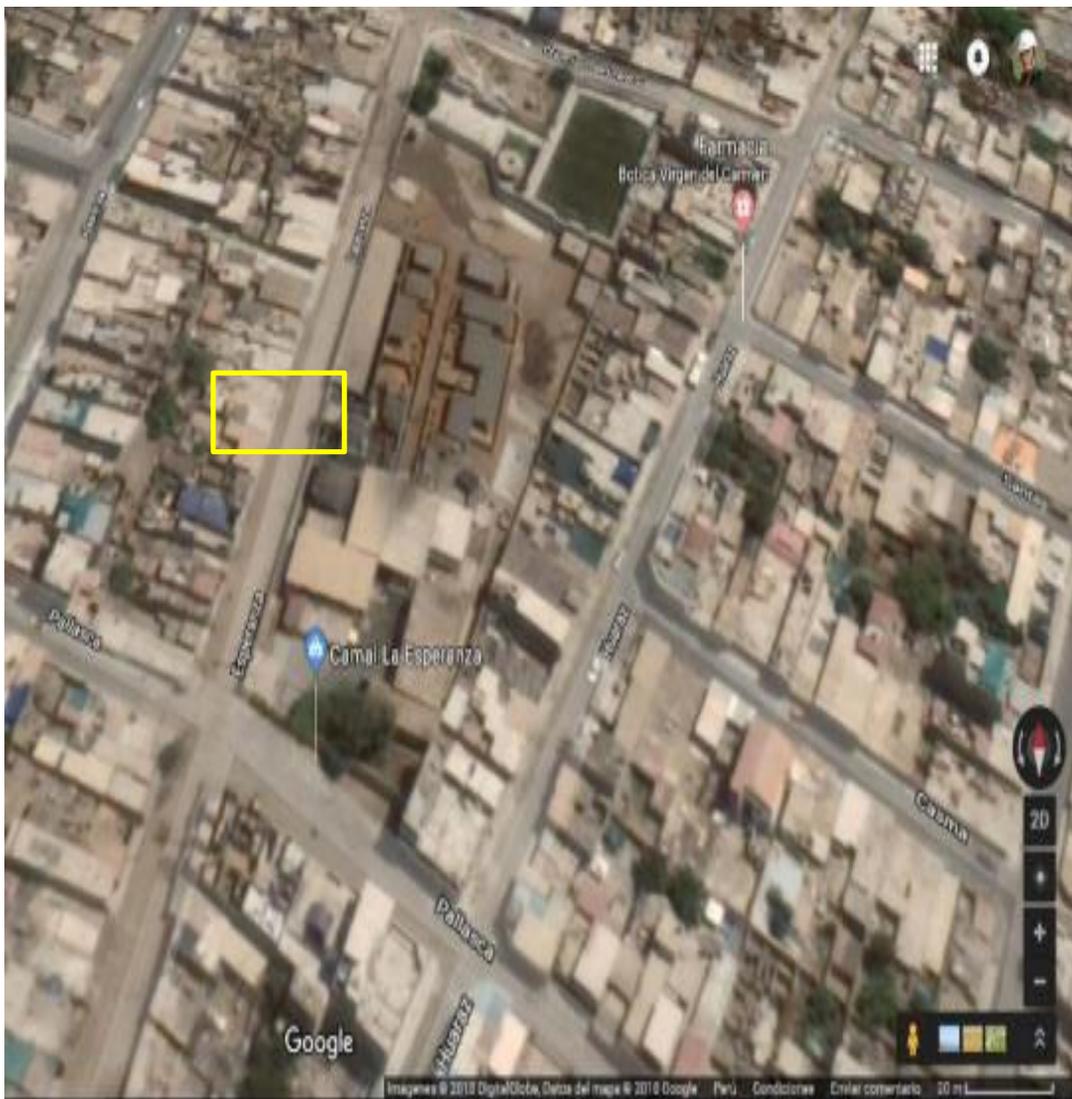




Figura 13. Ubicación del agua residual doméstica, adaptado de Google Earth.

Mediante el siguiente diagrama (Figura 14), se presenta a continuación, correspondiente al proceso de tratamiento de agua residual doméstica y las actividades previas en la investigación:

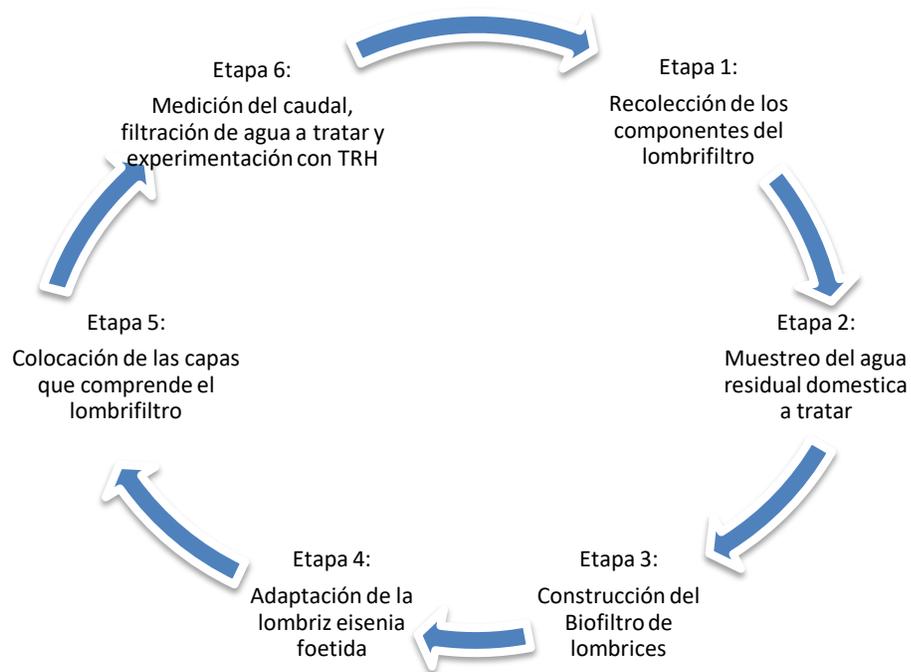


Figura 14. Etapas del proceso de tratamiento de agua residual doméstica.

MATERIALES Y METODOS

Recolección de los componentes del Biofiltro de lombrices (Etapa 1)

Materiales

- Rastrillo de jardinería
- Balde
- Bolsa siplot
- Bolsas comunes (negra)
- Guantes

Tabla 17. Componentes del Biofiltro de lombrices.

Especie	Cantidad
Eisenia Foetida	1 kilo
Aserrín	2 kilos
Grava pequeña	3 kilos
Gravas medianas	3 kilos
Piedra de rio enteras	3 kilos

Método

Los componentes que se utilizaron, para el Biofiltro de lombrices se tomaron de los siguientes lugares según se describe a continuación:

- Se tomó 1 Kg de Eisenia Foetida (Lombriz roja californiana) para el proceso de biofiltración, este se recogió de las camas de compost que se produce en casa de una agricultora y compostera ubicado en Quillo.
- Para la recolección de la lombriz especies Eisenia Foetida se realizó una excavación de aproximadamente 30 cm de profundidad, en una superficie de 1 m², donde se empieza a recolectar a los organismos mediante una lampa y luego a separarlas de la tierra que se encuentra impregnada en los organismos
- Para la obtención del aserrín, se apersonó a una carpintería, además se calculó un aproximado de 2 kilos de aserrín de madera blanca.
- Posteriormente, se pasó a recolectar las piedras de tres distintas granulometrías (1 cm, 3 cm y piedras enteras) con un peso de 3 kilos cada una, excepto la de piedra de rio que se recolecto un total de 3 kilos.

Muestreo del Agua residual a tratar (Etapa 2)

Materiales

- Botella
- Guantes
- Mascarilla
- Balde
- Cooler
- 2 frascos de vidrio claro de 1 lt
- 2 frascos de vidrio ámbar de 200 ml
- Rotulador o marcador

Metodología

Según Garcia, (2012) recomienda tomar las muestras en las horas donde hay mayor actividad y movimiento, para que la concentración de la materia orgánica del agua residual sea la adecuada para el tratamiento.

Para esta investigación, se recolectó el agua residual doméstica, del camal municipal de Chimbote, seguidamente se determinó el horario de muestreo, se tomaron muestras en las siguientes horas: 9:00, 11:30 am y 15:00 horas; según (Madueño & Sandoval, 2009), se debe elegir la hora donde existe un mayor valor de DQO, en este caso se evaluó solo forma visual con el color del agua y carga orgánica que se podía ver en el momento y se eligió el horario de 15:00, esto debido a que es la hora en que hay más sacrificios de animales domésticos.

El efluente se fue cambiando diariamente durante 6 días, tomando un total de muestra de agua residual de 3 L por día; se fue realizando el muestreo cada día que se alimentó con agua residual observando mediante el color (una muestra del efluente de cada estrato), luego se tomaron muestras diferentes para cada tratamiento hasta obtener el adecuado.

a) Muestreo del Agua Residual domestica para el análisis de los parámetros

De los 30 L que se recolectaron 18 L fueron utilizados para el tratamiento, 5 L para los análisis respectivos y 7 L para el proceso de adaptación del material biológico (*Eisenia foetida*).

Para calcular el valor de los parámetros del agua residual doméstica en el afluente y efluente, se realizó la desinfección de los recipientes a usar, y su correspondiente homogenización y preservación, para luego ser destinados al Laboratorio certificado Colecbi SAC, para la evaluación de los parámetros de pH, Coliformes termo tolerantes, DBO5, DQO, turbidez solidos totales en suspensión y Nitratos.

- En el caso de la DBO5 y DQO, se usó una botella de vidrio claro de 300 mL y se llenó de agua residual para luego agregarle el preservante (H₂SO₄), y posteriormente fue guardado en el Cooler para enviarlo al laboratorio NKAP.
- Para los parámetros microbiológicos (Coliformes termo tolerantes) la muestra fue tomada en una botella de vidrio claro de 300 mL, dejando un espacio de ¼, no se llenó por completo la botella, esto para dar oxigenación a la muestra y pueda haber una mezcla correcta, evitando así la muerte de los microorganismos hasta su análisis.
- Para el muestreo del nitrógeno se utilizaron frascos de vidrio ámbar de 200 mL, se añadió el preservante ácido sulfúrico (H₂SO₄) para la conservación de la muestra.
- Por último, para los análisis físicos (turbidez, pH) se utilizó un frasco de vidrio ámbar de 200 mL.

Construcción de la estructura del Biofiltro de lombrices (Etapa 3)

Materiales

- balde de 20 L de capacidad
- Estructura de madera como base
- Tuberías ½ pulgada
- 3 Llaves de control de pvc
- Codos de PVC de 1/2
- 02 recipientes de plásticos
- Silicona y pegamento para tuberías
- Uniones de pvc

Metodología

Por la facilidad para su construcción, manipuleo y acceso a los materiales en la zona se elaboró de la siguiente manera:

- Tanque de almacenamiento: Se compró y adaptó un balde de plástico de 20 L, para almacenar el agua residual doméstica del camal municipal de Chimbote.
- Fuente de ingreso: Se construyó con tubo PVC de ½”, una llave de ingreso y 2 llaves de control de ½” para los dos sistemas, según medida de la estructura de madera.
- Construcción de las estructuras de madera: Se construyeron 2 estructuras de madera que servía como base del tanque de agua residual y también de los dos Biofiltro de lombrices.
- para el tratamiento de las aguas residuales, cada uno conteniendo un recipiente de plástico (balde) de dimensiones **0.30 m de diámetro x 0.40 m de profundidad**. para la primera capa, la profundidad del recipiente fue de 0.10 m; de las cuales se encuentra el materiales biológicos la especie Eisenia Foetida con aserrín de madera blanca, en la segunda capa se encuentra gravas menudas, en la tercera capa grava chancadas, en la cuarta capa bolones de piedra de río, estas piedras fueron previamente lavadas y en la última capa se encuentra el recipiente de almacenamiento donde se recoge el agua ya tratada para su posterior control final.

Adaptación de las lombrices: Eisenia Foetida (Etapa 4)

Antes del tratamiento, se realizó el proceso de adaptación, de las lombrices, de esta manera para que el tratamiento del agua residual resulte efectivo. Las razones por las que se hizo la adaptación fue porque estas especies suelen ser bastante sensibles en su piel, y sobre todo porque el agua tiene contaminantes y las lombrices van estar expuestas a estos.

Materiales

- Guantes
- Malla tipo raschell
- Regadera
- Balanza

- 2 cajas de madera

Metodología

La adaptación de la lombriz *Eisenia Foetida*, se llevó a cabo en un ensayo etiquetado como T1.

En cada caja respectivamente se realizaron agujeros y se colocó una malla tipo Raschell en el fondo. Luego se preparó el sustrato, para ello se aspergeó 1000 ml de agua residual diarias, además se realizó la prueba de puño para verificar el porcentaje de humedad que es uno de los parámetros importantes para la supervivencia de las lombrices; y se dio la inoculación de las lombrices en cada recipiente; este proceso de adaptación duró 7 días.

Colocación de las capas del Biofiltro de lombrices (Etapa 5)

Materiales

- *Eisenia Foetida*
- Aserrín
- Gravas menudas
- Gravas chancadas
- Piedras enteras de río

Metodología

La instalación del medio filtrante se realizó de forma manual para los dos Biofiltro. Primero se realizaron agujeros de tamaño de radio entre 0.5 cm en cada uno de los recipientes y se colocó una malla plástica para evitar que las lombrices que inician su nacimiento se escapen a las otras capas. Cada capa contiene lo siguiente (Tabla 18):

Tabla 18: composición de las capas del Biofiltro

capas del Biofiltro de lombrices	
Capas	especie de lombriz
capa 1	<i>Eisenia Foetida</i> + aserrín
filtro biológico	
capa 2	Grava de 1 cm de grosor o menuda
capa 3	Grava de 3 cm de grosor o chancada
capa 4	Piedras enteras de río

Medición del caudal y TRH (Etapa 6)

Materiales

- Cronometro
- Recipiente de 1 L

Metodología

Para la medición del caudal se abrió la llave de control del tanque alimentador en tres distintas aberturas y se colocó un recipiente de un (01) litro debajo de las tuberías que asperjan el agua, se recolectó el agua residual durante 1 minuto y se retiró el recipiente con el agua recolectada. Posteriormente se midió la cantidad de agua residual recolectada, esta acción se repitió tres veces para obtener resultados más acertados. De la misma manera el tiempo de retención hidráulica (TRH), se midió según caudal, se estimó el tiempo en que tarda el agua en llegar hasta la última capa del tratamiento.

III. RESULTADOS

Muestreo del agua residual a tratar

Este proceso se realizó en un tiempo de 6 días, tomando 3 L diarios, recolectando una muestra total de 18 L tal como se muestra en la Tabla 19:

Tabla 19: Recolección del agua residual domestica

N° Muestras diarias	Volumen recolectado (litros)	N° de días de muestreo	Volumen total recolectado (litros)
1	3	6	18

Determinación de los parámetros para la construcción del Biofiltro de lombrices

Dimensiones de la estructura y las capas

El Biofiltro de lombrices consta de dos estructuras la primera estructura es el tanque contenedor de agua residual y la segunda estructura son los Biofiltro que son dos baldes plásticos cada uno tiene las mismas dimensiones (Tabla 20):

Tabla 20: Dimensiones del Biofiltro

Descripción	Símbolo	Valor (m)
Altura	h	0.25
Ancho	a	0.30
Largo	l	0.30

Capas del Biofiltro

Cada estrato o capa filtrante tiene diferentes dimensiones, las mismas que se propusieron tomando como referencia el estudio de Salazar, 2005 “**Sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales**”, donde sugiere que la parte biológica debe contener entre un 60 %, por lo tanto se dispuso que entre la primera y segunda capa que

constituyen el material biológico más elevado sería un 60% *Eisenia Foetida* y Aserrín, las gravas finas o menudas respectivamente, en la tercera capa un 20% de grava chancada y en la cuarta capa un 20% de piedras enteras de río (Tabla 21). A continuación se presenta el cálculo para la estructura que contiene la lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*).

- **Cálculo de la capa 1 (*Eisenia Foetida* + aserrín)**

$$capa\ 1 = \frac{\% \text{ total del estrato } Eisenia\ foetida + \text{Aserrín} * \text{altura útil del biofiltro}}{100}$$

$$capa\ 1 = \frac{40\% * 20\ \text{cm}}{100\%}$$

$$capa\ 1 = \frac{80\ \text{cm}}{10}$$

$$\mathbf{Capa\ 1 = 8\ \text{cm}}$$

Entre la segunda capa hasta la última, ambas estructuras tendrán el mismo cálculo

- **Cálculo de la capa 2 (grava fina)**

$$capa\ 2 = \frac{\% \text{ total del estrato grava fina} * \text{altura útil del biofiltro}}{100}$$

$$capa\ 2 = \frac{20\% * 20\ \text{cm}}{100\%}$$

$$capa\ 2 = \frac{40\ \text{cm}}{10}$$

$$\mathbf{Capa\ 2 = 4\ \text{cm}}$$

- **Cálculo de la capa 3 (grava chancada)**

$$capa\ 3 = \frac{\% \text{ total del estrato chancada} * \text{altura útil del biofiltro}}{100}$$

$$capa\ 2 = \frac{20\% * 20\ \text{cm}}{100\%}$$

$$capa\ 2 = \frac{40\text{ cm}}{10}$$

$$\mathbf{Capa\ 2 = 4\text{ cm}}$$

- **Cálculo de la capa 4 (piedra de rio)**

$$capa\ 4 = \frac{\% \text{ total del estrato piedra de rio} * \text{altitud útil del biofiltro}}{100}$$

$$capa\ 2 = \frac{20\% * 20\text{ cm}}{100\%}$$

$$capa\ 2 = \frac{40\text{ cm}}{10}$$

$$\mathbf{Capa\ 2 = 4\text{ cm}}$$

- Cálculo de la altura total de las capas

$$HT = Cap1 + Cap\ 2 + Cap\ 3 + Cap\ 4$$

$$HT = 0.08 + 0.04 + 0.04 + 0.04$$

$$\mathbf{HT = 0.20\text{ m}}$$

Tabla 21: Dimensiones de cada capa de la estructura

Descripción	Altura (cm)	Altura (m)
Eisenia foetida + aserrín	1 + 8	0.09
Grava fina	4	0.04
Grava chancada	4	0.04
Piedras de rio	4	0.04

Determinación del caudal

Para la medición de caudal, se realizó 3 repeticiones con tres distintos tipos de abertura de la llave de control, para luego llenar en un recipiente de 1 litro en un tiempo de un minuto (Tabla 22)

Se utilizó el método volumétrico para hallar el caudal, fijándolo a un minuto y el volumen de agua que se dieron en las distintas aberturas de la llave de control.

$$Q = V \cdot T$$

Tabla 22: Calculo del Caudal

Caudal (Q)	Mediciones (ml/min) Repeticiones	Promedio del caudal (ml/min)
Q1	64	63.3
	62	
	64	
Q2	148	148.3
	150	
	147	
	371	
Q3	375	372.6
	372	

Tiempo de retención hidráulica

El cálculo se realizó aplicando los tres diferentes caudales ya mencionados anteriormente en el punto 3.2.2, de esta manera obtenemos los siguientes resultados para el Biofiltro con especie usada en la investigación la lombriz roja californiana (Tabla 23):

Se va utilizar la formula

$$TRH = \frac{Vol}{Q}$$

Donde:

$Q = \text{caudal}$

$Vol = \text{volumen del material}$

Tabla 23. Cálculo del Tiempo de Retención Hidráulica con la especie Eisenia Foetida

Capas	Tiempo de Retención Hidráulica		
	TRH 1	TRH 2	TRH 3
CAPA 1 (Eisenia Foetida + Aserrín)	2h 13min	1h 31 min	0h 36min
CAPA 2 Grava fina	1h 35min	40min	16 min
CAPA 3 Grava chancada	1h 15min	30min	15 min
CAPA 4 Piedras de río	1h 40min	24min	17 min
Total	6h 43 min	3h 5 min	1h 24min

Según los caudales aplicados y realizando las observaciones respectivas, se obtuvo que en el primer caudal aplicado de 63.3 ml/min tardó mucho en filtrarse y en cambio el tercer caudal de 372.6 ml/min en momentos provocó acumulación de agua en la primera capa, lo que no es favorable para el tratamiento, ya que las lombrices necesitan un 70 a 80% de humedad. Por tanto, el caudal ideal es de 148.3 ml/min, debido a que el agua se distribuyó homogéneamente por el filtro sin producir inundaciones y en un tiempo prudente.

Adaptación de la Lombriz roja californiana (Eisenia Foetida)

Para el proceso de adaptación de las lombrices en estudio, fue necesario un recipiente (caja de madera), con perforaciones en su fondo y una malla colocada con el fin de que las lombrices no estén directamente en contacto con el suelo. Se colocó 100g de sustrato (Aserrín y estiércol vacuno) al 80% de humedad la misma que se midió con la prueba del puño.

Tabla 24: Adaptación de la lombriz Eisenia Foetida

# De Días	Fecha	Hora	Temperatura °C	Humedad %	Peso
1	1/12/2018	9:00:00 a. m. - 18:00 pm	19.8 - 12.2	80	500
2	2/12/2018	9:00:00 a. m. - 18:00 pm	19.8 - 10.4	80	511
3	3/12/2018	9:00:00 a. m. - 18:00 pm	17.9 - 9.9	80 - 75	523
4	4/12/2018	9:00:00 a. m. - 18:00 pm	18.0 - 10	80	528
5	5/12/2018	9:00:00 a. m. - 18:00 pm	20.0 - 9.8	80	545
6	6/12/2018	9:00:00 a. m. - 18:00 pm	20.4 - 10.6	80 - 75	559
7	7/12/2018	9:00:00 a. m. - 18:00 pm	18.8 - 10.8	80	594

- **Diagnostico de la adaptación de las lombrices según especie en estudio**

Se inocularon ½ medio kilo de lombrices (adultas, juveniles y concones) en el recipiente, luego al día 2 se pesaron las lombrices dando como resultado un peso de 511 g. a una temperatura de su ambiente de 19.8°C. Al séptimo día se obtuvo un total de 594 g a una temperatura de 18.8°C.

Dando como resultado una buena adaptación de las lombrices, también saber que esta especie de lombriz se adaptan con rapidez al entorno donde se encuentra.

Resultados de los parámetros físico – químicos, analizados antes y después del tratamiento

Los análisis físico-químicos y microbiológicos (pH, turbidez, aceite y grasas, DBO5, DQO, nitrógeno total, solidos suspendidos totales y Coliformes termo tolerantes), antes y después del tratamiento mediante el método del Biofiltro de lombrices, fueron realizados por el Laboratorio de ensayo COLECBI SAC, Nuevo Chimbote (ver Tabla 25 y 26).

Tabla 25: Parámetros físico-químicos y microbiológicos antes del tratamiento.

Resultados del Agua Residual (Afluente-Pre-Análisis)								
Parámetros	Parámetros Físico-químicos							Parámetro Microbiológico
	pH	Turbidez	DBO5	DQO	S.S.T.	Aceites y grasas	Nitratos	Coliformes term.
Resultados	6.9 8	650 NTU	27306 mg/L	42133 mg/L	3817 mg/L	1585 mg/L	17.8 mg/L	920000 NMP/100mL

Tabla 26: Parámetros físico-químicos y microbiológicos después del tratamiento mediante el método del Biofiltro de lombrices con la especie Eisenia Foetida

Resultados Final del Efluente con la Especie Eisenia Foetida								
Parámetros	Parámetros Físico-químicos							Parámetro Microbiológico
	pH	Turbidez	DBO5	DQO	Aceites y grasas.	S.S.T.	Nitratos	Coliformes termo.
Resultados	8.05	310 NTU	5090 mg/L	8080 mg/L	165 mg/L	85 mg/L	4.9 mg/L	240000 NMP/100ml

Comparación de parámetros antes y después del tratamiento.

- **Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5)**

En la Figura 15 se muestra la diferencia de demanda biológica de oxígeno (DBO5) con el agua residual doméstica que ingresó al Biofiltro de lombrices, siendo este valor 27306 mg/L; y en el efluente (salida) del método de tratamiento con la especie Eisenia Foetida la DBO5 obtuvo un resultado de 5090 mg/L con una eficiencia de remoción de este parámetro de 81.36%, se puede apreciar que se redujo notablemente. La eficacia se determinó después de 6 días del inicio del tratamiento, en el primer día se observó el agua aun con cierta turbidez elevada por tal razón, se evaluó por día vía visual, obteniendo un resultado óptimo en el sexto día. Esta reducción se debe a la actividad simbiótica de las lombrices y microorganismos aerobios que aceleran y mejoran la descomposición de la materia orgánica. Esto debido a que las lombrices trabajan como catalizadores biológicos resultantes de las reacciones bioquímicas.

sin embargo, es necesario recalcar que la especie Eisenia Foetida al ser de tipo epigea, estas pueden consumir la materia orgánica en gran cantidad y a una velocidad, igual o más que a su peso corporal, además que la reproducción es más elevada a diferencia de otras especie de lombrices.

Asimismo, el filtro biológico (capas de gravas y piedras), por naturaleza forma una especie de bio-película adherida al medio, estas entran en contacto con las cargas orgánicas para el inicio del proceso de purificación. La comunidad biológica que se encuentra dentro del filtro, son las bacterias facultativas que son de gran ayuda para la degradación y remoción del DBO al igual que las lombrices.

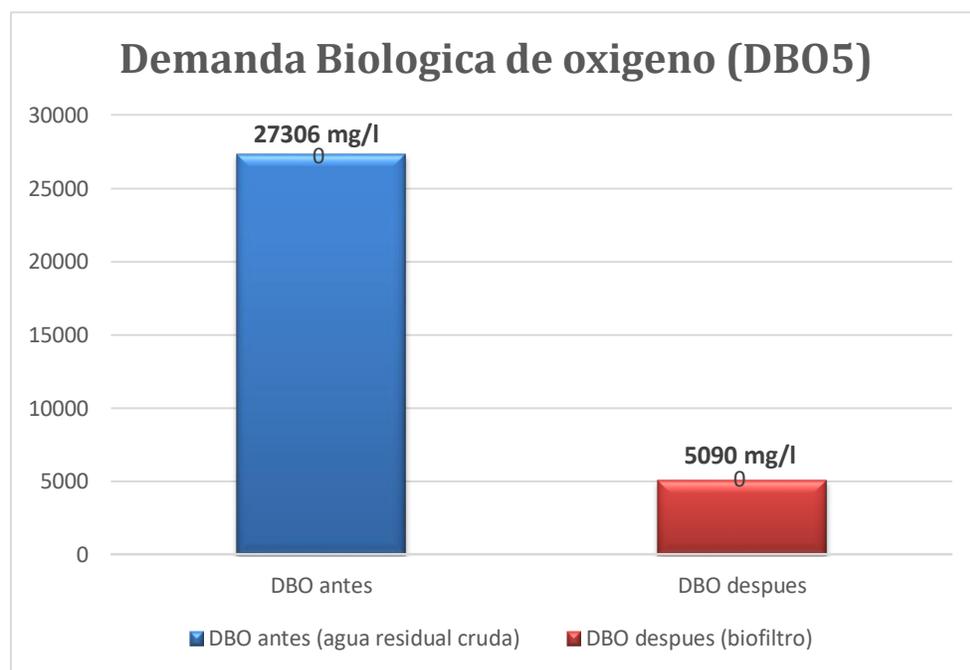


Figura 15. Comparación del parámetro químico DBO5 antes y después del tratamiento mediante el Biofiltro de lombrices con la lombriz Eisenia Foetida.

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

En la Figura 16. Se muestra la diferencia de demanda química de oxígeno (DQO) con el agua residual doméstica que ingresó al Biofiltro de lombrices, siendo este valor 42133 mg/L; y en el efluente (salida) del método de tratamiento con la especie Eisenia Foetida obtuvo un resultado de 8080 mg/L con una eficiencia de remoción de este parámetro de 80.82%, para este casos se aprecia una reducción favorable. Esta reducción se puede atribuir a las enzimas en el intestino de las lombrices que contribuyen a la

degradación de varios producto químicos, asimismo las lombrices en sus tracto intestinal albergan millones de microbios descomponedores de la materia orgánica e inorgánica, cabe señalar que se observó mayor eliminación en la DBO que en la DQO, esto debido a que las lombrices son principalmente responsables de la biodegradación de los residuos orgánicos en comparación de los residuos inorgánicos (Garkal et al., 2015).

Por otro lado la reducción de la DQO también se debe a la actividad biológica donde ocurren procesos químicos como la oxidación por parte de los microorganismos desnitrificadores en condiciones aeróbicas, los cuales descomponen todos los compuestos orgánicos reduciendo el oxígeno, convirtiéndolo dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O), se pierde en la atmosfera y la otra parte es absorbida por los microorganismos y pasan además a formar parte de cuerpo de las lombrices que finalmente los convierte en humos tras un procesos digestivo (Arenas & Nuncira, 2010).

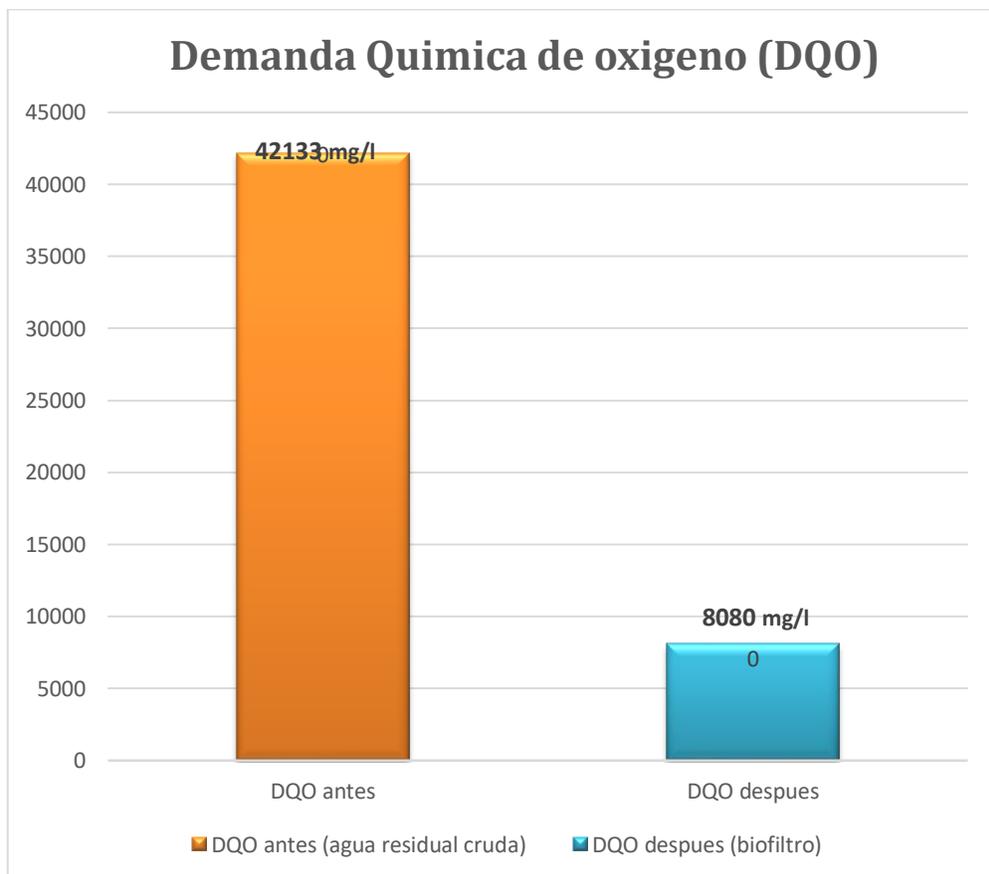


Figura 16. Comparación del parámetro químico DQO antes y después del tratamiento mediante el Biofiltro de lombrices con la lombriz Eisenia Foetida.

- **Nitratos**

El ingreso del agua residual doméstica con nitrógeno total al Biofiltro de lombrices fue de 17.8 mg/l, luego se realizó el análisis respectivo y se obtuvo como resultado con la especie *Eisenia Foetida* un total de 4.9 mg/L con una eficiencia de 72.47%; (Figura 17), notándose una reducción considerable. Esto se atribuye a la mineralización de nitrógeno amoniacal en forma de nitrato debido al impacto directo de las lombrices en las comunidades bacterianas, estas son esencialmente las aeróbicas heterotróficas que son los principales responsables de la mineralización del nitrógeno, asimismo las lombrices secretan polisacáridos, proteínas y otros compuestos nitrogenados, que ayudan en la reducción del nitrógeno en las aguas residuales para que estén en la cantidad disponible para las plantas como nutrientes (Wang et al., 2011).

Asimismo, la remoción también se debe a que el nitrógeno total fue sintetizado por las bacterias nitrificadoras presentes en el filtro biológico convirtiéndolo en nitrito (NO_2^-) el cual es volátil y se pierde por vaporización en la atmósfera. El material filtrante de las capas del Biofiltro de lombrices juega un papel muy importante en el proceso de la nitrificación este proceso, normalmente, se llevan a cabo en un ambiente aerobio mediado por dos grupos de bacterias autótrofas quimiosintetizadoras. Las bacterias oxidantes del nitrógeno incluyen géneros como *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosolobus* y *Nitrosovibrio*. Aquellas oxidantes de nitritos comprenden géneros como *Nitrobacter*, *Nitrococcus* y *Nitrospina*. Estos organismos se fijan a medios filtrantes formando una biopelícula encargadas de la remoción del nitrógeno en el agua residual (Iván & Daury, 2017).

la especie *Eisenia Foetida* produce más flora microbiana en sus intestinos a diferencia de otras lombrices, esto se debe a que la lombriz roja californiana o *Eisenia Foetida* suele consumir en cantidad más alimento el mismo o más que su tamaño corporal, además su alimentación se basa en los restos orgánicos (hojas muertas, vegetales en descomposición, heces y animales muertos, etc.) en pocas palabras son de consumir todo tipo de materia orgánica, no obstante la lombriz de tierra común a pesar de tener un tamaño superior a la de la *Eisenia Foetida* solo son de consumir un solo tipo de alimento que consideren propicio para estos.

Por otro lado, el aserrín añadido a la primera capa ha demostrado que actúa como un buen adsorbente biológico para varios tipos de contaminantes inorgánico de las aguas residuales que a través de la formación de complejos iones de amonio lo hacen beneficioso para disminuir el nitrógeno, también

actúa como alimento para las lombrices y comunidades microbianas Wahab (citado en Wang et al., 2013).

También, influyó el clima debido a que los procesos de nitrificación y desnitrificación se desarrollan mejor en climas cálidos, y la ciudad de Chimbote es favorable porque su clima es templado, es por ello la gran eficiencia de este parámetro en su remoción. Si se hubiera realizado en climas fríos, posiblemente podría haber causado eutrofización, eliminando la actividad microbiana, debido a las bajas temperaturas que existirían en el Biofiltro de lombrices, es muy importante la mención de la temperatura porque a temperaturas; muy altas, provoca la desecación del medio y por lo tanto la muerte de las lombrices ya que el medio filtrante es su alimentación del diario, así mismo estas no soportan el contacto directo de la luz, a diferencias de otros invertebrados estas no tienen capa gruesas que la protejan de temperaturas extremas, de igual manera el frío extremo las inactiva, bajando considerablemente la reproducción entre ellos (Tomar & Suthar 2011).

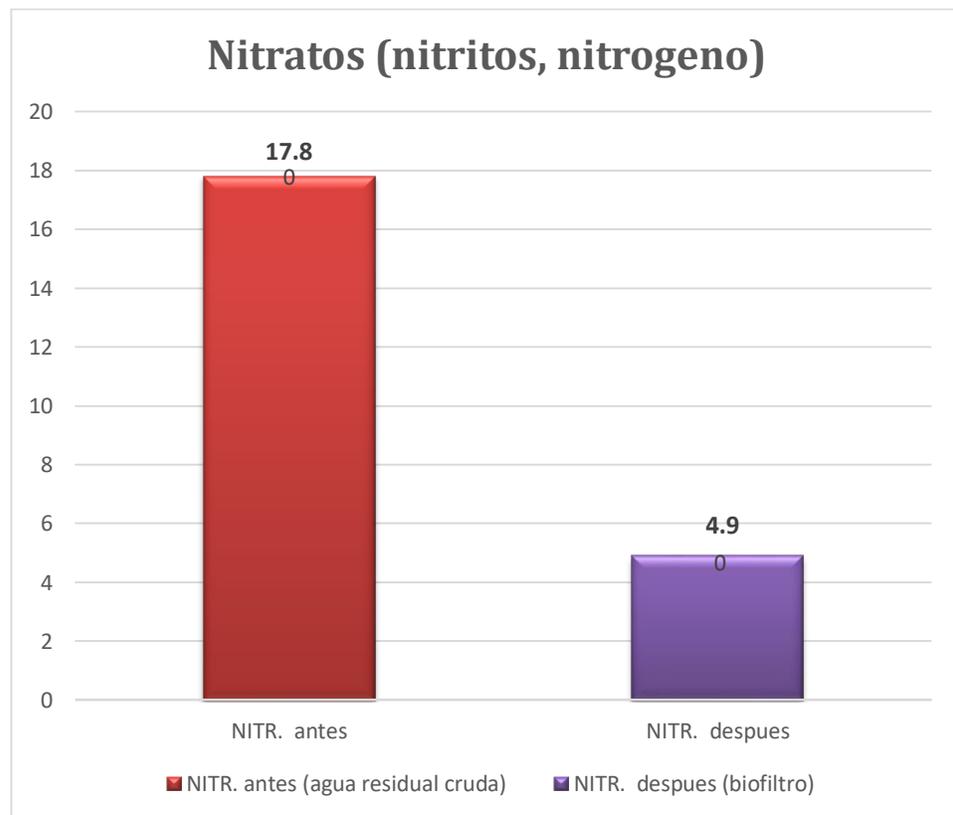


Figura 17. Comparación del parámetro químico Nitrógeno Total antes y después del tratamiento mediante el Biofiltro de lombrices con la lombriz Eisenia Foetida.

- **Turbidez**

El agua residual doméstica ingresó al Biofiltro de lombrices con una turbidez de 650 unidades nefelométricas de turbidez (UNT), y a la salida del lombrifiltro se obtuvo un total con la especie *Eisenia Foetida* de 310 UNT con una eficiencia de 52.31%; (Figura 18); indicando que el agua residual se encuentra en buen estado, notándose claramente por la transparencia del afluente en comparación con el efluente pasado los 6 días del tratamiento, esto se dio principalmente por las propiedades de las lombrices al convertir los sólidos en su alimento principal y por el medio poroso del filtro.

En la presente investigación se determinó que alrededor de 7-10 días el Biofiltro de lombrices seguía mostrando mejoría respecto al color del agua, indicando una buena turbidez, sin embargo, ya pasado los 10 días el agua se tornó a cambiar, esto debido a que las lombrices aumentaban en cantidad y frente a ello excretaban más y esto hacía que el color del agua se tornara más oscura, razones por la cual era necesario su mantenimiento y limpieza.

Es importante recalcar, que la lombriz *Eisenia Foetida* muestra resultados aceptables y óptimos en la remoción de la turbidez del agua residual. Esta diferencia mayormente está ligada a la temperatura ambiente, como se mencionó anteriormente.

Así también Xing et al., (2010) mencionan que la temperatura “influye en la remoción de la turbidez, ya que afecta directamente en la reproducción y fecundidad de las lombrices, indican que entre 18 a 25 grados centígrados es considerada óptima, estas temperaturas conlleva al máximo rendimiento de las lombrices para la remoción de los contaminantes. Cuando la temperatura desciende por debajo de 15° C las lombrices entran en un período de latencia, disminuyendo su actividad van dejando de reproducirse, crecer; los cocones (huevos) no eclosionan y pasan más tiempo encerrados los embriones, hasta que se presentan condiciones favorables”.

Además Wang et al., (2013) afirman que la temperatura siempre influencia en cualquier tratamiento de agua residual, cuando la temperatura aumenta, disminuye la concentración de oxígeno disuelto y si las aguas son deficientes en oxígeno, esto puede ocasionar la muerte de especies que se encargan de degradar la materia orgánica del agua entre ellas los microorganismos y bacterias propias del agua, mostrando como consecuencia el aumento hasta de la turbidez.

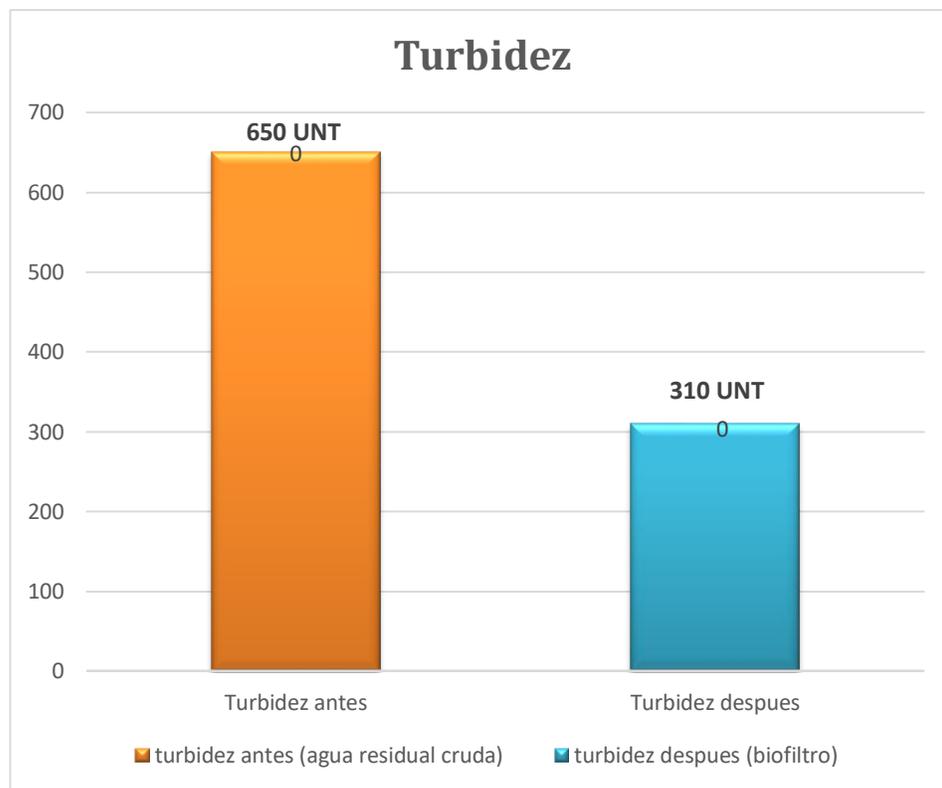


Figura 18. Comparación del parámetro Turbidez antes y después del tratamiento mediante el Biofiltro de lombrices con la lombriz *Eisenia Foetida*.

- **Potencial de Hidrógeno (pH)**

El agua residual se encontraba en un inicio con un pH ácido de 6.98, pero después del tratamiento mediante el Biofiltro de lombrices, el resultado cambio a un pH estable de 8.05 con la especie *Eisenia Foetida* (Figura 19), el cual es óptimo para el crecimiento de bacterias nitrificantes ya que estas crecen en ambientes con pH entre 6.5 a 8.6, y este reporte acredita y concuerda con el resultado de la remoción del nitrógeno de un 72.47 % en eficiencia, presentada anteriormente en la presente investigación.

Asimismo, se pudo observar que el pH iba en aumento; esto se debía a que las lombrices tienen la capacidad de estabilizar la acidez del agua gracias a sus glándulas calcíferas que se encuentran en el esófago de esta. Pero ¿cómo es el proceso? cuando el material orgánico llega al estómago, unas glándulas especiales se encargan de segregar carbonato cálcico, cuya finalidad es neutralizar los ácidos presentes en la comida ingerida, la que después de atravesar todo el aparato digestivo es expulsado (defecando), que se encuentra en la parte terminal, de esta manera va añadiendo poco a poco

calcio, haciendo indirectamente que el agua residual se equilibre en el pH (Chavez & Fuentes, 2013).

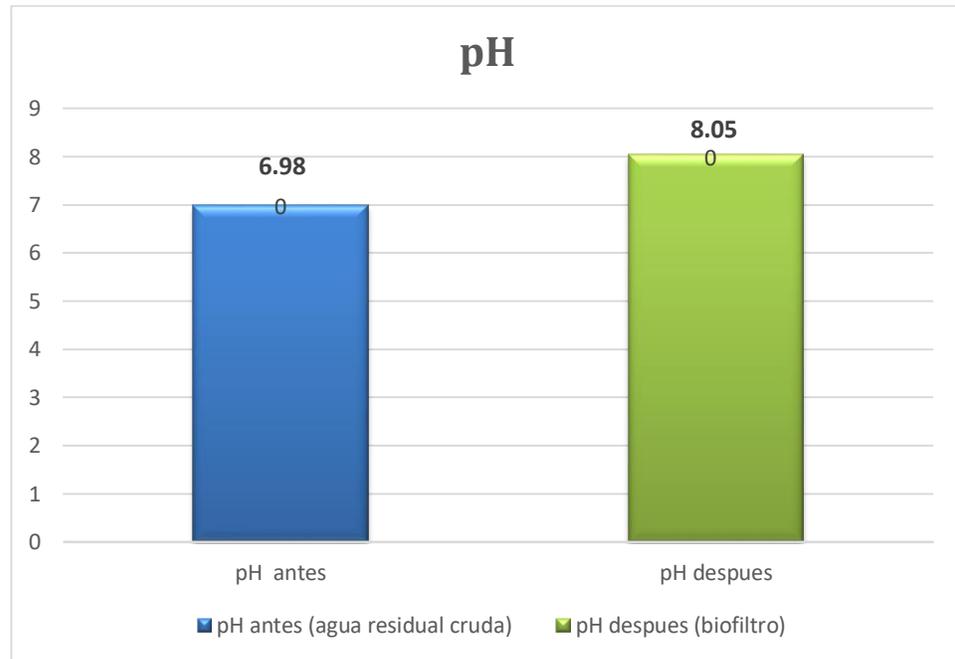


Figura 19. Comparación del parámetro pH antes y después del tratamiento, mediante el Biofiltro de lombrices con la lombriz *Eisenia Foetida*.

- **Coliformes Termo tolerantes**

La cantidad de Coliformes termo tolerantes antes del ingreso al tratamiento mediante el Biofiltro de lombrices fue 92×10^5 NMP/100 ml, después de pasar por el sistema de depuración se obtuvo un valor de 28×10^4 NMP/100 ml con la especie *Eisenia foetida* mostrando una eficiencia de 96.96%, (Figura 20). La notable y óptima remoción se puede atribuirse a las diversas acciones y sustancias generadas por las lombrices y microorganismos consumidores de materia orgánica, que viven junto con las lombrices, tales como la acción enzimática intestinal, secreción de los celomas estos son fluidos que tienen propiedades antibacterianas, y el pastoreo selectivo que estos realizan (Monte, Ruiz, Saavedra, & Suarez, 2014).

Los patógenos que han pasado al Biofiltro de lombrices están siendo retenidos mediante procesos físicos como la filtración y la adsorción que lo realiza las capas de piedras (Struck, Selvakumar, & Borst, 2000).

La favorable remoción de Coliformes termo tolerante se atribuye al hecho de que la lombriz roja californiana tiene una mayor cantidad de flora microbiana en su intestino a diferencia de otras lombrices.

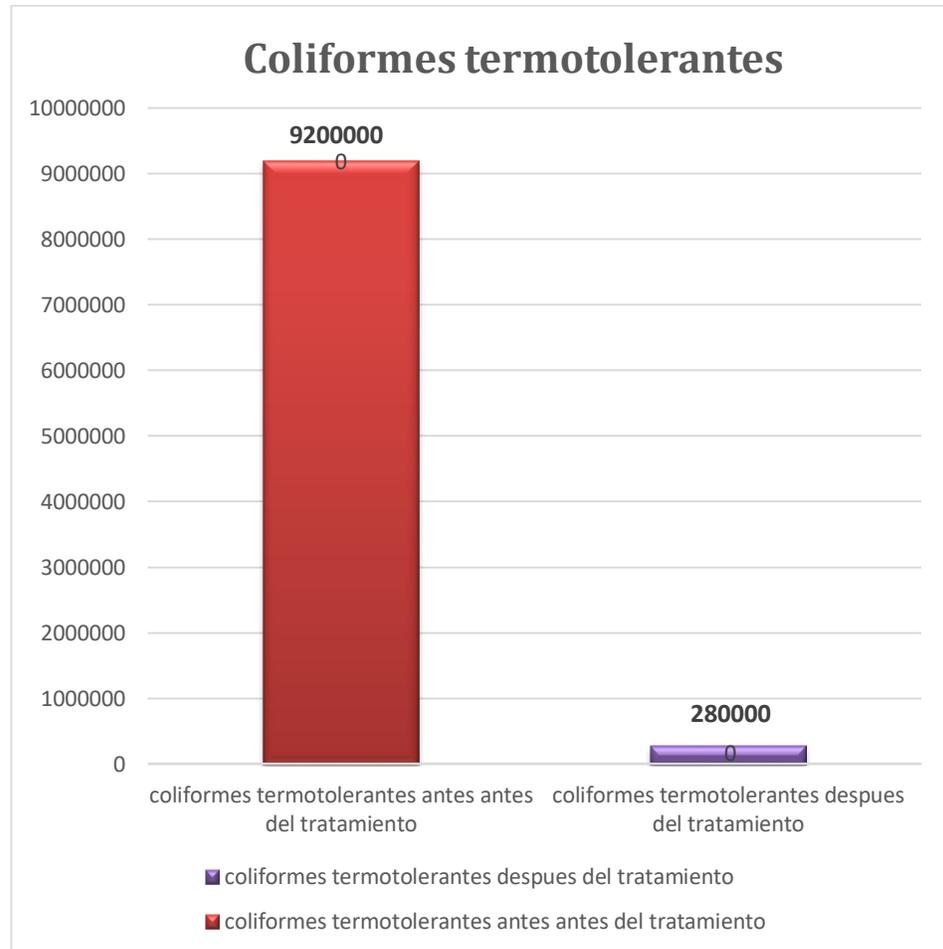


Figura 20. Comparación del parámetro Coliformes termo tolerantes antes y después del tratamiento, mediante el Biofiltro de lombrices con la lombriz Eisenia Foetida.

- **Sólidos suspendidos totales**

La cantidad de sólidos totales suspendidos antes del ingreso al tratamiento mediante el biofiltro de lombrices fue 3817 mg/l, después de pasar por el sistema de depuración Biofiltro se obtuvo un valor de 85 mg/l con la lombriz Eisenia Foetida mostrando una eficiencia de 97.77%, (Figura 21). La notable y óptima remoción se puede atribuirse a las diversas acciones generadas por las lombrices y microorganismos consumidores de materia orgánica, que viven junto con las lombrices.

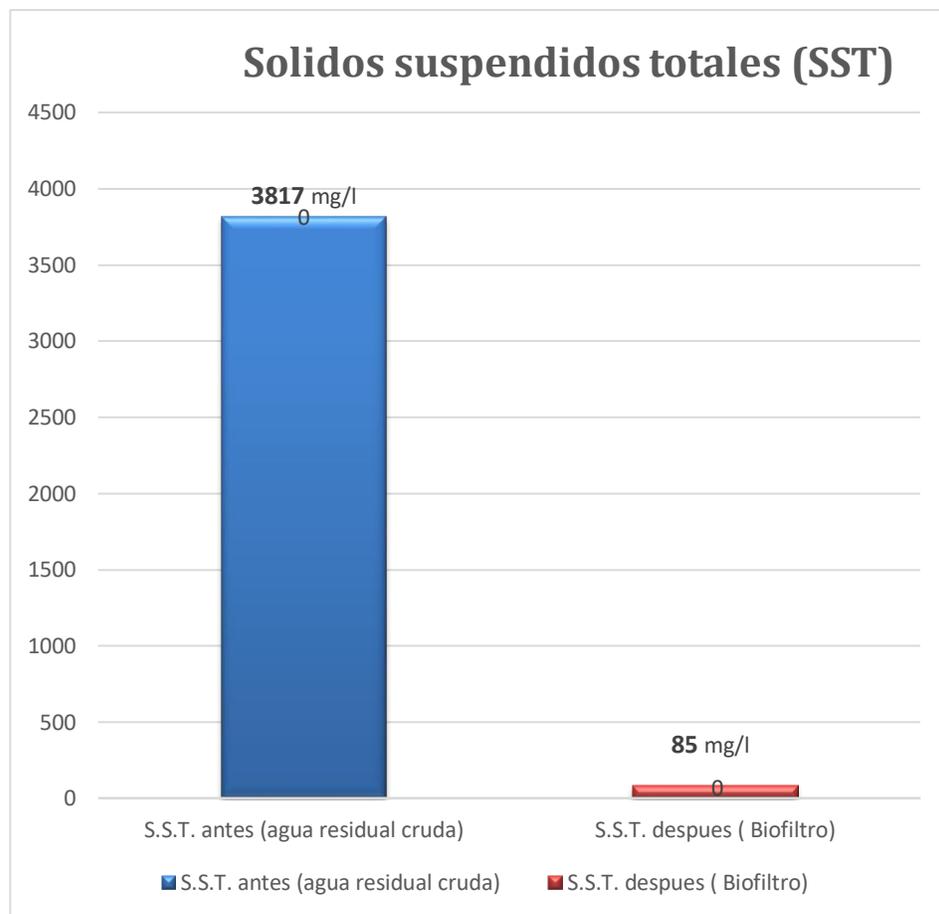


Figura 21. Comparación del parámetro solidos suspendidos totales antes y después del tratamiento, mediante el Biofiltro de lombrices con la lombriz Eisenia Foetida.

- **Aceites y grasas**

La cantidad de aceites y grasas antes del ingreso al tratamiento mediante el Biofiltro de lombrices fue 1585 mg/l, después de pasar por el sistema de depuración Biofiltro se obtuvo un valor de 165 mg/l con la lombriz Eisenia Foetida mostrando una eficiencia de 8959%, (Figura 22).

La notable y óptima remoción en lo que es aceites y grasas se puede atribuir a las diversas acciones como la absorción por el lecho filtrante del Biofiltro como el aserrín y al rápido consumo que realizan las lombrices como también los microorganismos consumidores de materia orgánica que están en convivencia con las lombrices en el medio filtrante, haciendo que formen un proceso de depuración óptima.

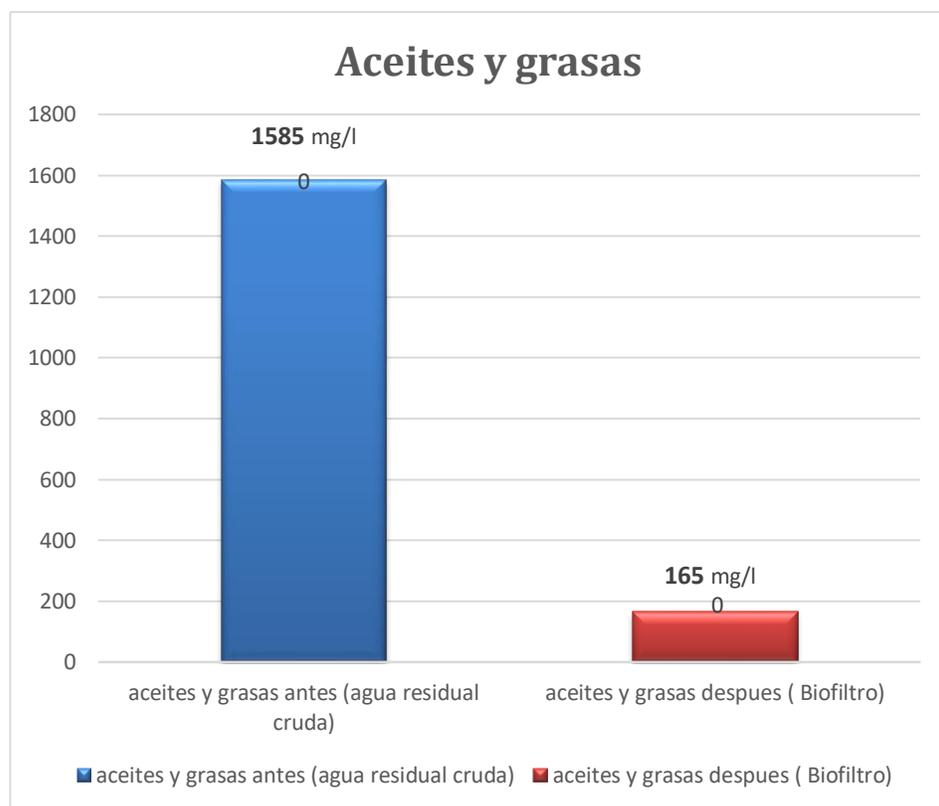


Figura 22. Comparación del parámetro Aceites y grasas antes y después del tratamiento, mediante el Biofiltro de lombrices con la lombriz Eisenia Foetida.

Tabla 27. Comparación de los resultados analizados con el Decretos Supremos N° 004-2017-MINAM

Parámetro	Especie de lombriz	Resultados de Laboratorio de agua sin tratar	Resultados de Laboratorio de agua de Biofiltro de lombrices	004-2017-MINAM			
				LMP de efluentes para vertidos en cuerpos de agua	LMP de efluentes para ser vertidos al alcantarillado	Agua para riego restringido	Bebidas de animales
DBO5	EF	27306 mg/l	5090 mg/l	100 mg/l	100 mg/l	15 mg/l	15 mg/l
DQO	EF	42133 mg/l	8080 mg/l	200 mg/l	200 mg/l	40 mg/l	40 mg/l
Nitratos	EF	17.8 mg/l	4.9 mg/l	50 mg/l	100 mg/l	100 mg/l	100 mg/l
S.S.T.	EF	3817 mg/l	85 mg/l	300 mg/l	300 mg/l	-	-
Turbidez	EF	650 UNT	310 UNT	-	-	20 UNT	20 UNT
aceite y grasas	EF	1585 mg/l	165 mg/l	20 mg/l	20 mg/l	5 mg/l	10 mg/l
pH	EF	6.98	8.05	6,0 – 8.7	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4
Coliformes termo tolerantes	EF	9200000 NMP/100 ml	280000 NMP/100 ml	10000 NMP/100 ml	10000 NMP/100 ml	2000 NMP/100 ml	1000 NMP/100 ml

VENTAJAS Y DESVENTAJAS QUE PRESENTA EL BIOFILTRO DE LONBRICES

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • No genera lodos ya que degrada los sólidos orgánicos del afluente • que el lecho filtrante no se impermeabiliza esto debido a que la lombrices, con su movimiento, crean túneles que aseguran en todo momento la alta permeabilidad del filtro • el sistema está ligada al tema ecológico, debido a que en el proceso no se utilizan aditivos químicos ni generan residuos altamente contaminantes (lodos) • produce abono natural como un subproducto, la materia orgánica del afluente pasa ser parte de la masa corporal de lombrices y en humus de lombriz • no es muy costoso y es fácil de operar y no necesita de mano de obra bien calificado 	<ul style="list-style-type: none"> • requiere de mayor superficie, esto se debe a que la mayoría de los sistemas no convencionales necesitan de espacios y áreas manejables ya que son de procesos aerobios y las bacterias, lombrices necesitan de espacio para la degradación de la materia orgánica • De la misma manera el lombrifiltro al igual que los otros métodos siempre son sensibles a variaciones bruscas de carga orgánica, las lombrices tienden a degradar o alimentarse en cantidad equivalente a su propio peso de materia orgánica • una de las desventajas más importante es la variación del clima ya que afectan al crecimiento de las lombrices

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El propósito fundamental de esta investigación es presentar una propuesta ecológica de tratamiento no convencional de agua residual como lo es el Biofiltro de lombrices con la utilización de la lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*), para la reducción de agentes contaminantes en el agua residual generada por el camal municipal de Chimbote. Para dar respuesta a este objetivo se tuvo que realizar un análisis de la calidad de agua, del camal municipal de Chimbote antes y después de haber sido tratada por el Biofiltro. Comprobándose una notoria reducción de agentes contaminantes en el agua.

Determinación de la eficiencia del Biofiltro de lombrices

Para evaluar el funcionamiento del prototipo biológico compuesto por la lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*) se determinó el porcentaje de eficiencia de los parámetros analizados (tabla 32).

a) Eficiencia en la DBO5

- **Cálculo del porcentaje de eficiencia en remoción de la DBO5 con la lombriz *Eisenia Foetida***

$$\% \text{Eficiencia} = \frac{\% (\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final})}{(\text{Concentración inicial})} * 100$$

$$\% \text{Eficiencia} = \frac{(27306 \text{ mg/l} - 5090 \text{ mg/l})}{(27306 \text{ mg/l})} * 100$$

$$\% \text{Eficiencia} = 81.36 \%$$

En cuanto a la DBO5 se ha determinado una eficiencia del 81.36% con la especie *Eisenia Foetida*; conociendo que el DBO es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aerobias o anaerobias facultativas: *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Aerobacter*, *Bacillus*), hongos y plancton, consumen

durante la degradación de las sustancias orgánicas, por tanto, es un parámetro que nos indica la calidad de agua.

Este parámetro ha sido disminuido en un porcentaje alto, esto nos dice que el presente tratamiento utilizado es eficiente. Los resultados obtenidos en este estudio se corroboran con el estudio realizado por Astrid, (Pérez, 2010) que obtuvo un 95 % de eficiencia en disminución de DBO y el estudio de Jacipt Ramón (Ramón et al., 2015) quien obtuvo una eficiencia del 90%.

b) Eficiencia en la DQO

- Cálculo del porcentaje de eficiencia en remoción de la DQO

$$\% \text{Eficiencia} = \frac{\% (\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final})}{(\text{Concentración inicial})} * 100$$

$$\% \text{Eficiencia} = \frac{(42133 \text{ mg/l} - 8080 \text{ mg/l})}{(42133 \text{ mg/l})} * 100$$

$$\% \text{Eficiencia} = \mathbf{80.82 \%}$$

La eficiencia obtenida en de la remoción de DQO que es la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en el agua residual, es alta específicamente el 80.82% con la lombriz Eisenia Foetida, por ende, el tratamiento utilizado en el presente trabajo de investigación es muy eficiente en la remoción de DQO. Lo que corrobora con otras investigaciones realizadas como por ejemplo en el tratamiento de aguas en una productora de cárnicos, donde se obtuvo una eficiencia muy alta de 95% en la remoción de DQO (Jiménez, 2016); así como también con la investigación realizada en Chile por el doctor José Tohá precursor de la utilización de lombriz californiana para el tratamiento de aguas residuales.

c) **Eficiencia en Nitratos**

- Cálculo del porcentaje de eficiencia en remoción del Nitratos

$$\% \text{Eficiencia} = \frac{\% (\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final})}{(\text{Concentración inicial})} * 100$$

$$\% \text{Eficiencia} = \frac{(17.8 \text{ mg/l} - 4.9 \text{ mg/l})}{(17.8 \text{ mg/l})} * 100$$

$$\% \text{Eficiencia} = 72.47 \%$$

Mediante el parámetro de Nitratos, en el tratamiento se obtuvo una eficiencia relativamente alta de 72.47% con la lombriz *Eisenia Foetida*, por ende el tratamiento utilizado en el presente trabajo de investigación es muy eficiente en la remoción de nitratos, siendo apto para cualquier fin en riego y bebida de animales; confirmando lo mencionado por (Wang et al., 2011), indicando la relevancia que tienen el uso de las lombrices par la reducción del nitrógeno en el tratamiento de aguas residuales.

d) **Eficiencia de solidos suspendidos totales**

- Cálculo del porcentaje de eficiencia en remoción de la turbidez.

$$\% \text{Eficiencia} = \frac{\% (\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final})}{(\text{Concentración inicial})} * 100$$

$$\% \text{Eficiencia} = \frac{(3817 \text{ mg/l} - 85 \text{ mg/l})}{(3817 \text{ mg/l})} * 100$$

$$\% \text{Eficiencia} = 97.77 \%$$

La eficiencia en el parámetro de solidos suspendidos totales, en el tratamiento de aguas residuales mediante el método de Biofiltro de lombrices, con la lombriz *Eisenia Foetida* fue de 97.77%, indicando un alto porcentaje de eficiencia en la reducción de solidos suspendidos totales, considerándose una agua apta para su reúso.

e) **Eficiencia de la Turbidez**

- **Cálculo del porcentaje de eficiencia en remoción de la turbidez.**

$$\% \text{Eficiencia} = \frac{\% (\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final})}{(\text{Concentración inicial})} * 100$$

$$\% \text{Eficiencia} = \frac{(650 \text{ NTU} - 310 \text{ NTU})}{(650 \text{ NTU})} * 100$$

$$\% \text{Eficiencia} = 52.31 \%$$

La eficiencia en la turbidez, en el tratamiento de aguas residuales mediante el método del Biofiltro de lombrices, con la lombriz *Eisenia Foetida* fue de 52.31%, indicando un alto porcentaje de eficiencia en la reducción de la turbidez, considerándose que un agua apta para su reúso.

f) **Eficiencia en el pH**

- **Cálculo del porcentaje de eficiencia en remoción del pH.**

$$\% \text{Eficiencia} = \frac{(\text{pH de entrada})}{(\text{pH salida})} * 100$$

$$\% \text{Eficiencia} = \frac{(6.98)}{(8.05)} * 100$$

$$\% \text{Eficiencia} = 86.70 \%$$

Con respecto al pH, se obtuvo una eficiencia de 86.70%, siendo aceptable en el tratamiento, ya que es uno de los parámetros óptimo para que las lombrices realicen su labor de degradación de la materia orgánica del agua residual doméstica.

g) Eficiencia en aceites y grasas

- **Cálculo del porcentaje de eficiencia en remoción de aceites y grasas con la lombriz roja californiana.**

$$\% \text{Eficiencia} = \frac{\% (\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final})}{(\text{Concentración inicial})} * 100$$

$$\% \text{Eficiencia} = \frac{(1585 \text{ mg/l} - 165 \text{ mg/l})}{(1585 \text{ mg/l})} * 100$$

$$\% \text{Eficiencia} = 89.59 \%$$

Con respecto al parámetro de aceites y grasas, se obtuvo una eficiencia de 89.59%, indicando un buen porcentaje de eficiencia en la reducción de aceites y grasas del agua residual del camal municipal.

h) Eficiencia en Coliformes termo tolerantes

- **Cálculo del porcentaje de eficiencia en remoción de Coliformes termo tolerantes con la lombriz roja californiana.**

$$\% \text{Eficiencia} = \frac{\% (\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final})}{(\text{Concentración inicial})} * 100$$

$$\% \text{Eficiencia} = \frac{(9200000 \frac{\text{NMP}}{100\text{ml}} - 280000 \frac{\text{NMP}}{100\text{ml}})}{(9200000 \frac{\text{NMP}}{100\text{ml}})} * 100$$

$$\% \text{Eficiencia} = 96.96 \%$$

Los resultados obtenidos en el tratamiento de aguas residuales del camal municipal en la remoción de Coliformes fecales nos da una eficiencia del 97.39%, porcentaje que nos indica que el tratamiento utilizado en este estudio, utilizando la lombriz Eisenia Foetida es un proceso muy eficiente y por ende satisface las necesidades en el tratamiento del agua.

Estos datos o resultados se corroboran con otros estudios como es el realizado por Mendieta en el tratamiento de aguas de una empacadora de camarón en Guayaquil obteniendo resultados favorables y con eficiencias altas en el tratamiento de aguas; así como también se contrasta con el estudio de Salazar Patricia (Salazar, 2005) quien obtuvo una eficacia de 96% en el tratamiento.

Tabla 28. Eficiencia del método del Biofiltro de lombrices

Parámetros	Eficiencia-Eisenia Foetida (%)
DBO5	81.36
DQO	80.82
Nitrógeno	72.47
S.S.T.	97.77
turbidez	52.31
pH	86.70
aceites y grasas	89.59
Coliformes termo tolerantes	96.96
Promedio total de eficiencia	82.25 %

RESULTADOS DE LA EFICIDNCIA DEL BIOFILTRO DE LOMBRICES FRENTE A LA CALIDAD DE AGUA GENERADA POR EL CAMAL MUNICIPAL

- La buena actividad funcional del Biofiltro proviene de la correcta formación de las capas y de la adecuada cantidad de agua residual que entrada al Biofiltro.
- La eficiencia del Biofiltro ante la reducción de las cargas contaminantes del agua residual, es debido a la lombriz roja californiana que son las que se encargan de consumir todos los residuos orgánicos atrapados en la primera capa
- En la tabla 33, se observa que:
 - El parámetro Coliformes Termo-Tolerantes de 9200000 NMP/100ML se redujo en 240000 NMP/100ML, logrando una eficiencia de 96.96%,
 - D.B.O.5 de 27306 mg/l se redujo en 5090 mg/l, obteniendo una eficiencia de 81.36%,
 - D.Q.O. de 42133 mg/l se redujo en 8080 mg/l, obteniendo una eficiencia de 80.82%.

- Sólidos suspendidos totales de 3817 mg/l se redujo en 85 mg/l, obteniendo una eficiencia de 97.77%.
 - Nitratos 17.8 mg/l se redujo en 4.9 mg/l, obteniendo una eficiencia de 72.47%
 - Turbidez 650 NTU se redujo en 310 NTU, obteniendo una eficiencia de 53.31%
 - PH de 6.98 aumento en 8.05, obteniendo una eficiencia de 86.70%
 - Aceites y grasas de 1585 mg/l se redujo en 165 mg/l, obteniendo una eficiencia de 89.59%
- Estos resultados son debido a que el Biofiltro obtuvo una eficiencia de 86.70% en lo que es el PH, siendo aceptable y beneficioso en el tratamiento, ya que es uno de los parámetros óptimo para que las lombrices realicen su labor de degradación de la materia orgánica. También al aumentar el PH tiende a eliminar algunas bacterias del agua residual.

DISCUSIONES

Los resultados de las evaluaciones, físico - químicas de las aguas residuales del camal municipal de Chimbote, muestran altos niveles de contaminación por encima de los parámetros permitidos. El Biofiltro de lombrices o sistema Tohá reduce el nivel de contaminantes en la medida que la efectividad del tratamiento sea riguroso; en el presente caso del proyecto se observó que los parámetros resultantes no llegan a los valores permitidos por la ley; pero esto guarda relación directa en el que si implementamos al Biofiltro otros dispositivos más sofisticados (ejemplo con luz ultravioleta), la remoción de contaminantes será mayor que en este caso que sólo hemos usado la lombriz de tierra (*Eisenia foetida*).

En el marco de la sustentabilidad del proyecto, el Biofiltro de lombrices o Sistema Tohá, se diferencia de los sistemas tradicionales de tratamiento de aguas residuales, principalmente por sus características de ser un sistema ecológico, ya que no utiliza químicos durante el tratamiento de las aguas y sus productos secundarios son vapor de agua, CO₂ y humus, por lo que no contamina el ambiente. Este sistema es una alternativa a los sistemas convencionales de lodos activados.

Beneficios sociales:

La calidad de agua, producto de las descargas de aguas residuales en los cuerpos receptores, puede ser medida a través de indicadores físico - químicos y biológicos. El deterioro de su calidad puede afectar el uso de estos cuerpos de agua. La utilización del Biofiltro de lombrices como alternativa para el tratamiento de aguas residuales, trae beneficios sociales en el mejoramiento de la calidad de las aguas, que son utilizadas para diferentes usos, entre los que podemos mencionar el agua extraída para uso industrial, riego, o el uso de los cursos de agua para la producción pesquera y recreación.

Se definen beneficios ambientales en la disminución de los impactos en la calidad del agua, como son: la disminución de la carga orgánica a los cuerpos receptores, la mitigación de los ruidos y olores posibles producidos por las operaciones de plantas de tratamiento convencionales. El Biofiltro de lombrices cumple con estas características por lo que todo esto se traduce para las comunidades donde se pueda encontrar instalado, en beneficios de los demás temas de salud con la disminución de enfermedades gastrointestinales; la disminución en la proliferación de vectores; el mejoramiento de la calidad de las aguas para diferentes usos como la recreación, pesca, riego de cultivos agrícolas; etc.

Beneficios económicos:

Los beneficios económicos de la utilización del Biofiltro de lombrices para el tratamiento de aguas servidas, se pueden medir a través de los beneficios asociados al mejoramiento de la calidad del agua. La estimación de los beneficios de la calidad del agua, se realiza determinando el valor monetario que le da la gente a los impactos del mejoramiento en la calidad de las aguas para recreación, incremento en la producción pesquera y la disponibilidad de ciertos tipos de peces.

Algunos beneficios económicos que se pueden derivar de la utilización del Biofiltro de lombrices para el tratamiento de aguas servidas son: la disminución de los costos del tratamiento de aguas servidas, el aumento de la producción agrícola que utiliza agua tratada en el riego; y la introducción de la reutilización de los recursos hídricos para su mejor aprovechamiento de manera sustentable en el tiempo.

V. CONCLUSIONES

- ✓ Se muestra que la eficiencia de remoción del Biofiltro es superior al 50% de la carga orgánica inicial del efluente domestico analizado.
- ✓ Con base a los resultados y pruebas realizadas en el proyecto- nos confirman la buena eficiencia del Biofiltro como un sistema no convencional en el tratamiento de aguas residuales del camal municipal.
- ✓ Teniendo en cuenta los valores máximos permisibles para la descarga de aguas residuales NO domésticas en la red de alcantarillado dado por Decreto Supremo N° 004 – 2017 MINAM, se puede apreciar que no todos los parámetros analizados cumplieron con la normativa legal para ser evacuado a la red de alcantarillado de la ciudad de Chimbote pero a su vez se pudo apreciar notoria reducción de agentes contaminantes.
- ✓ El Biofiltro de lombrices demostró una efectiva remoción en todos los parámetros analizados, alcanzando porcentajes que pasan el 50% de efectividad con la utilización de la lombriz Eisenia Foetida (lombriz roja californiana), respecto a la demanda biológica de oxígeno (DBO5) fue de 81.36% EF, la demanda química de oxígeno (DQO) fue de 80.82%; solidos totales en suspensión (S.S.T) fue de 97.77%; en nitratos fue de 72.47%; en la turbidez; 52.31%; en Coliformes Termo tolerantes 97.39%; en aceites y grasas fue de 89.59%; asimismo, se obtuvo un pH neutro de 8.05.
- ✓ El diseño del método de tratamiento se realizó con los datos que influyen directamente en el resultado como; el caudal que fue 148.3 mL/min un caudal que permitió la alimentación exacta para lombrices; asimismo el parámetro DBO5 inicial (27306 mg/L) escogido dentro de tres horarios diferentes, además de las dimensiones que fueron de un largo de 0.45 m un ancho de 0.25 m y una altura de 0.30 m.
- ✓ El actor principal en la degradación de la materia orgánica fue la especie Eisenia Foetida la elección de esta especie fue debido a su alta eficiencia en la remoción de los contaminantes sobre todo en la materia orgánica, se adapta rápidamente en el entorno o medio y pueden cohabitar aglomeradas entre sí.

VI. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda para un mejor tratamiento de agua residual utilizar dos filtros en simultáneo para reducir con más efectividad los agentes contaminantes y poder alcanzar los requerimientos de la normativa vigente para riego restringido y descarga a la red de alcantarillado.
- ✓ También es recomendable para una mayor eficiencia del filtro el uso de otro tipo de alimentación externa para las lombrices como aserrín de pino, y emplear una capa de arena para poder remover de forma más adecuada los aceites y grasas.
- ✓ Se recomienda tener en consideración una temperatura ambiente de entre 20 y 25°C”, para que no altere la remoción de contaminantes del agua residual.
- ✓ Así mismo se sugiere efectuar lavados periódicos al lecho filtrante del Biofiltro para evitar la colmatación, y la aportación de sales a los procesos.

VII. AGRADECIMIENTOS

A Dios por iluminar mi vida, a mis padres y familiares por el apoyo en el largo camino de mi vida académica.

Al Dr. Cesar Julián Benítez, quien desde el principio me brindó su apoyo en la tesis para el grado de bachiller de manera incondicional, académicamente y moralmente, para la orientación, realización y culminación de esta investigación.

A mi asesor el Ing. Miguel Solar Jara, por la orientación y el apoyo que me brindó en los momentos que fui hacerle consultas en la orientación de la tesis.

Al Ing. Dante Salazar, por la orientación y recomendación que me brindo, dándose un espacio en su agenda laboral de la universidad orientándome de manera adecuada para la estructuración de la tesis y añadidura de aspectos faltantes que necesitaba el proyecto.

A los docentes de la escuela de Ingeniería Civil, por sus enseñanzas y valioso aporte en mi formación académica, en toda mi etapa universitaria de la cual hasta la actualidad agradezco sus enseñanzas y consejos que me dieron en algunos momentos de la cual me sirven en mi vida laboral.

A mis amigos por su amistad y apoyo durante mi estudio universitario, gracias por los momentos gratos compartidos.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, J., & Reyes, J. (2015). *Uso de la Lombriz de tierra y sus efectos en las aguas residuales de la ciudad de Cotabambas - Amazonas*, 2015.
- Álvarez Mancilla, A., Benítez Jiménez, J., & Camargo Caicedo, Y. (2011). Biofiltración para la remoción de Sulfuro de Hidrógeno en la Estación de Bombeo Norte de Aguas Residuales. *Biofiltration for the removal of hydrogen sulfide*. Dial net, 7(1), 113–126.
- ANA. (2014). *Tratamiento sanitario de aguas residuales*. Retrieved from <http://tratamientosanitarioideaguasresiduales.com>
- A.V.F. Ingeniería Ambiental. (2003). *Ventaja de los Sistemas Biofiltro en relación a los sistemas convencionales*. (En línea). Chile. Consultado. 20 abril.2016. Disponible en <http://biofiltro.awardspace.com/biofiltro.html>.
- Cardoso, L., Ramírez, E., & Garzón, M. (2013). Evaluation of a Pilot Vermifilter for the Treatment of Wastewater. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 5(2), 33–44. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2013.10.003>
- Coila, K. (2013). Lombrifiltro; diseño, implementación y mantenimiento.
- Congreso. (1993). Constitución Política del Perú. Lima.
- Coronel, N. (2015). “*Diseño e Implementación a Escala de un Biofiltro Tohá en la Epoch para la Depuración de Aguas Residuales Domésticas Procedentes de la Comunidad Langos la Nube.*” Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM. Afirmación en la eficiencia de remoción de carga orgánica con Biofiltros.
- Díaz, E. (2002). Guía de lombricultura.
- Duran, L., & Henríquez, C. (2009). Crecimiento y Reproducción de la Lombriz Roja (*Eisenia foetida*) En Cinco Sustratos Orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 33(2), 275–281.
- Envitech, C. (2015). Eliminación autotrófica de nitrógeno en las aguas residuales.
- Espigares, M., & Pérez, J. a. (2010). *Aguas Residuales: Composición*. Aguas Residuales. Composición, 22.

- Espigares & Pérez, A. (2010). “*Selección de sistema de tratamiento de aguas residuales para localidad de Santa Barbara usando metodología de decisión multicriterio AHP.*” Universidad De Chile.
- Fernandez, E., & Sanchez, K. (2016). *Evaluación de un Lecho Filtrante, Utilizando Mesocarpo de Coco (Cocos Nucifera), Para el Tratamiento de Aguas Residuales de la Empacadora de Banano Algarrobo.* Universidad Señor de Sipan.
- Fragoso, C., & Brown, G. (2011). *Ecología y taxonomía de las lombrices de tierra en Latinoamérica.*
- Fuentes, J. (2010). La crianza de la lombriz roja.
- García, Z. (2012). *Comparación Y Evaluación De Tres Plantas Acuáticas Para Determinar La Eficiencia De Remoción De Nutrientes En El Tratamiento De Aguas Residuales Domésticas.* Universidad Nacional de Ingeniería. Retrieved from http://www.lima-water.de/documents/zgarcia_tesis.pdf
- Garkal, D., Mapara, J., & Prabhune, M. (2015). Domestic Waste Water Treatment By Bio-Filtration: A Case Study. *Journal of Geography and Geology*, 4(1), 799–811. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001244>
- Garkal, D. J., Mapara, J. V., & Prabhune, M. (2015). *Domestic Waste Water Treatment By Bio-Filtration: a*, 4(1), 140–145.
- Gomero, O. L. & Velásquez, A.H. (1999). Manejo Ecológico de Suelos - Conceptos, Experiencias y Técnicas. *Red de Acción en Alternativas al uso de Agroquímicos (RAAA)*. Lima.
- Gupta, H. (2015). A Review on Effectiveness of Earthworms for Treatment of Wastewater. *International Journal of Engineering Development*, 3(3), 1–4.
- Guzmán, M. (2004). *Estudio de factibilidad de la aplicación del sistema Tohá en la planta de tratamiento de aguas servidas de Valdivia.* Universidad Austral de Chile.
- Hernández Fernández y Baptista (2003). Metodología de la investigación.
- Hobbelink, H. (1987). Más allá de la Revolución Verde. *Las nuevas tecnologías genéticas para la agricultura, ¿Desafío o desastre?*, Lerna / ICDA. Barcelona: colección Paz y conflictos.

- Hussaini, A. (2013). Vermiculture bio-technology: An effective tool for economic and environmental sustainability. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 7(1), 56-60.
- Jack, A.L.H. & Thies, J.E. (2006). Compost and Vermicompost as Amendments promoting soil health. *An Open Access Journal published by ICRISAT*, 2(1), 453-466.
- Jiang, L., Liu, Y., Hu, X., Zeng, G., Wang, H., & Zhou, L. (2016). The use of microbial-earthworm ecofilters for wastewater treatment with special attention to influencing factors in performance: A review. *Bioresource Technology*, 200, 999–1007. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.11.011>
- Jiménez, A. (2016). *Estudio de un sistema de un tratamiento de agua residuales proveniente de una fábrica de embutidos*. Escuela politécnica nacional.
- Jin, Q., Li, W., & Li, X. N. (2016). Effect of Earthworm *Eisenia Foetida* in Constructed Wetland on Purification of Country Wastewater. *Procedia Engineering*, 154, 406–411. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.505>
- Kamineni, V.K. & Sidagam, P. (2014). A study on recycling organic wastes through vermicomposting. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*, 5(1), 85-92.
- LEY N° 27314. Ley General de Residuos Sólidos. *Diario El Peruano*, Lima, 20 de julio de 2000.
- LEY N° 29196. Ley de Promoción de la Producción Orgánica ó Ecológica. *Diario El Peruano*, Lima, 4 de enero 2008.
- Manikandan, I.S.G; Sundhar, V.R.S.R. & Vijayakumar, N.S. (2013). Organic farming a way to sustainable agriculture. *International Journal of Agriculture and Food Science Technology*, 4(1), 933-940.
- 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*. Fundación Universidad De América.
- Manyuchi, M., Kadzungura, L., & Boka, S. (2017). *Vermifiltration of Sewage Wastewater using Eisenia Fetida Earthworms for Potential use in Irrigation Purposes*, (June 2013).
- Martínez, C. (2012). *Lombricultura*. Mexico.

- Méndez, F., & Muñoz, F. (2010). “*Propuesta De Un Modelo Socio Económico De Decisión De Uso De Aguas Residuales Tratadas En Sustitución De Agua Limpia Para Areas Verdes.*” Universidad Nacional De Ingeniería.
- Méndez, L., Miyashiro, V., Rojas, R., Cotrato, M., & Carrasco, N. (2004). *Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio*. Rev. Inst. Investig. Fac. ..., 21–28. Retrieved from http://revistas.concytec.gob.pe/scielo.php?pid=S1561-08882004000200010&script=sci_arttext
- Metcalf, & Eddy, I. (2003). *Wastewater Engineering treatment and reuse*. <https://doi.org/10.1613/jair.301>
- MINAM. (2009). Ley General del Ambiente- Ley N° 28611.
- MINAM. (2015). Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. Lima.
- MINAM. (2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias-DS 004-2017-MINAM. Lima.
- MINAM (Ministerio del Ambiente, Pe). (2009). Aprueban el Reglamento de la Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental Decreto Supremo N° 019-2009 - MINAM. *El Peruano*.26 (10742):403208-403208.
- Ministerio de V. (2010). RM-2010-176.pdf.
- Montserrat, P. (2004). La lombriz, la cuidadora de los pastos.
- Moreno, A., & Borges, S. (2004). Avance en taxonomía de las lombrices de tierra.
- MVCS (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, Pe). (2009). Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. Decreto Supremo N° 021-2009-Vivienda. *El Peruano*.26 (10800):406305-406307.
- MVCS (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, Pe). (2015). Se modifican diversos artículos del Decreto Supremo N° 021-2009 que aprobó Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario así como de su Reglamento, aprobado mediante Decreto Supremo N° 003-2011Vivienda y modificado por el Decreto Supremo N° 010-2012-Vivienda.
- Ocola, J. J. (2005). *Protección del agua - vigilancia y control de vertimientos -PAVER*.

- OEFA. (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. Retrieved from http://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- OEFA. (2015). *OEFA prioriza fiscalización ambiental del manejo de aguas residuales*. Lima. Retrieved from https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- OEFA. (2016). *Infor. 0459-2016-OEFA-DS-SEP MP Chachapoyas*.pdf. Chachapoyas.
- Okley, S., & Salguero, L. (2011). *Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Centroamérica*, 1.
- Oliveira, R., Alves, A., Campos, S., Ferreira, M., & Soares Costa, M. (2013). *Application rates and filtering materials for biofilters in house sewage*. *Idesia*, 31(1), 5–13. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84876825453&partnerID=40&md5=76097c241a28a12e44304a18e4cbcb23>
- OS 090, R. Reglamento nacional de edificaciones (2006). Lima.
- Padilla, G., & Jimenez, M. (2012). *Evaluación del Potencial de Adsorción del Aserrín Para Remover Aceites Pesados en Cuerpos de Agua a Escala Laboratorio*. Universidad de Cartagena.
- Parra, I., & Chiang, G. (2013). Modelo integrado de un sistema de biodepuración en origen de aguas residuales domiciliarias. *Una propuesta para comunidades periurbanas del centro sur de Chile*. *Gestión y Ambiente*, 16, 39–51.
- Pérez, A. (2010). “*Selección de sistema de tratamiento de aguas residuales para localidad de Santa Barbara usando metodología de decisión multicriterio AHP.*” Universidad De Chile.
- Pérez, F., & Camacho, K. (2011). *Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Servidas*. Retrieved from <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/29490/1/PerezAlarconyCamachoAlcala.pdf>
- Ramón, J., Leon, 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 especie Eisenia foetida*. *Mutis*, 5(1), 46–54.
- Resoluciones: Consejo Directivo SUNASS, 2015
- Rodríguez Albornoz, P. (2011). *Análisis de la situación de las aguas servidas en zonas rurales de la IV, VI y RM de Chile y proposición de un sistema sustentable para su tratamiento*.

- Rodríguez, J. (2008). *Uso Sostenible de la Lombricultura Integrada a Sistemas Productivos Diversificados*. (Tesis de Maestría. Universidad Rómulo Gallegos República Bolivariana de Venezuela, Venezuela).
- Rojas, M., Merino, M., Pacheco, Y., & Taipe, J. (2016). *Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas por Lombrifiltro*. Huancayo.
- Ruiz, R., Díez, R., & Tejero, I. (2013). Eliminación de nutrientes mediante procesos combinados en un reactor anóxico - anaerobio seguido de un reactor biopelícula y un decantador lamelar. *Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente*, 24.
- Salas, J., Pidre, J., & Cuenca, I. (2013). Manual de Tecnologías No Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales. *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Salazar, D. (2003). *Guía para el Manejo de Excretas y Aguas Residuales* http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/uso_reuso.pdf : reuso de agua residual
- Salazar, P. (2005). *Sistema Tohá: una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales*.
- Schuldt, M., Christiansen, R., Scatturice, L. A., & Mayo, J. P. (2007). *Lombricultura. Desarrollo y adaptación a diferentes condiciones de temperie* (Vermiculture. Development and adaptation to diverse climatic conditions). Volumen VIII Número, 8(8), 1695–7504. Retrieved from <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n080807/080720.pdf> <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/>
- Sinha, R., Bharambe, G., & Chaudhari, U. (2008). Sewage treatment by vermifiltration with synchronous treatment of sludge by earthworms: A low-cost sustainable technology over conventional systems with potential for decentralization. *Environmentalist*, 28(4), 409–420. <https://doi.org/10.1007/s10669-008-9162-8>
- Sinha, R.K.; Herat, S.; Valani, D. & Chauhan, K. (2009). Vermiculture & Sustainable agriculture. *American-Eurasian Journal of Agriculture & Environmental Science*, 5(1), 1-55.
- Solano, G., & Guzman, G. (2014). *Producción de abono orgánico en pequeña escala con lombriz californiana (Eisenia foetida)*.

- Sudipti, A., Rajpal, A., Bhargava, R., & Kumar, T. (2013). Vermifiltration: A low-cost and sustainable alternative for wastewater treatment. *Ecological Engineering*, (June 2013), 5.
- Tapia, L., & Baraño, P. (2004). Tratamiento de las Aguas Servidas: Situación en Chile. *Ciencia & Trabajo*, 13(3), 111–117.
- Thiripurasundari, K. & Divya, S.V. (2014). An overview of vermin compost production in India. *The International Journal of Business & Management*, 2(1), 214-219.
- UNESCO. (2016). Agua y Empleo.
- Vásquez, M. (2013). Crean filtro con aserrín para tratar aguas contaminadas.
- Velásquez, L.C.; Ibáñez, I. & Ramírez, E. (1986). Harina de lombriz: Obtención, composición química, valor nutricional y calidad bacteriológica. *Alimentos*, 2(1), 10-21.
- Vicente, J. (2014). *Propuesta de Diseño de un Sistema de Biofiltro para el Tratamiento de Aguas Residuales Producidas en la Central Termoeléctrica Sacha de la Unidad de Negocio Termopichincha – CELEC EP*. Universidad Tecnológica Equinoccial.
- 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 (Determination of the efficiency of sawdust and coco fiber used as Biofilter fo. *Enfoque Ute*, 7(1390-6542), 41–56.
- Wang, L., Luo, X., Zhang, J., & Zhen, Z. (2011). Performance and mechanisms of a microbial-earthworm ecofilter for removing organic matter and nitrogen from synthetic domestic wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 195(June 2016), 245–253. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.08.035>
- Wang, L., & Luo, X. (2016). *Effects of earthworms and substrate on diversity and abundance of denitrifying genes (nirS and nirK) and denitrifying rate during*. *Bioresource*
- Xing, M., Li, X., & Yang, J. (2010). Treatment performance of small-scale vermifilter for domestic wastewater and its relationship to earthworm growth, reproduction and enzymatic activity. *African Journal of Biotechnology*, 9(44), 7513–7520. <https://doi.org/10.5897/AJB10.811>

ANEXOS

ANEXO – 1: PANEL FOTOGRÁFICO



Preparacion del alimento provisional (estiércol vacuno), para el proceso de adaptacion de las lombrices antes de entrar al biofiltro.



Preparacion del estiércol vacuno como alimento provisional de las lombrices., humedeciendolo con agua para bajar la temperatura



Medicion de temperatura del estiércol vacuno, para ser utilizado como alimento provisional de las lombrices

INFRAESTRUCTURA



Infraestructura, camal municipal de chimbote



Personal de faenado y limpieza del camal municipal de chimbote



Preparacion de ganado vacunos para su aseo



Zona de faenado

RECONOCIMIENTO DE LOS PUNTOS CRÍTICOS A EVALUAR



*Posas de sedimentacion con las que cuenta
actualmente el camal municipal de chimbote*



Tercera posa de sedimentacion

MUESTREO SIMPLE DEL AGUA RESIDUAL



Canaleta interna en la zona de faenado



Recoleccion de muestra en frasco esterilizado, en la zona faenado.

CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOFILTRO DE LOMBRICES



Preparacion del contenedor de agua residual



Perforacion de tuberias para el sistema de alimentacion al biofiltro de lombrices



Separacion de los residuos solidos del agua a tratar



contenedor con agua residual del camal municipal



recipientes que serán utilizados como biofiltro de lombrices



Lavado del aserrín, para evitar partículas extrañas



Vista de los materiales que van a conformar las capas del biofiltro



Control de la poblacion inicial de las lombrices por medio del peso. Siendo 500g para cada biofiltro



Medida de las capas del biofiltro



Vista de la alimentacion con agua residual a los dos biofiltros de lombrices



Vista frontal de los biosfiltros de lombrices, notadonse las capas y proceso del tratamiento



Vista en planta de los biofiltros; notandose los tuyos de ventilacion a los extremos pegados en las paredes, siendo un biofiltro dinamico aeróbico



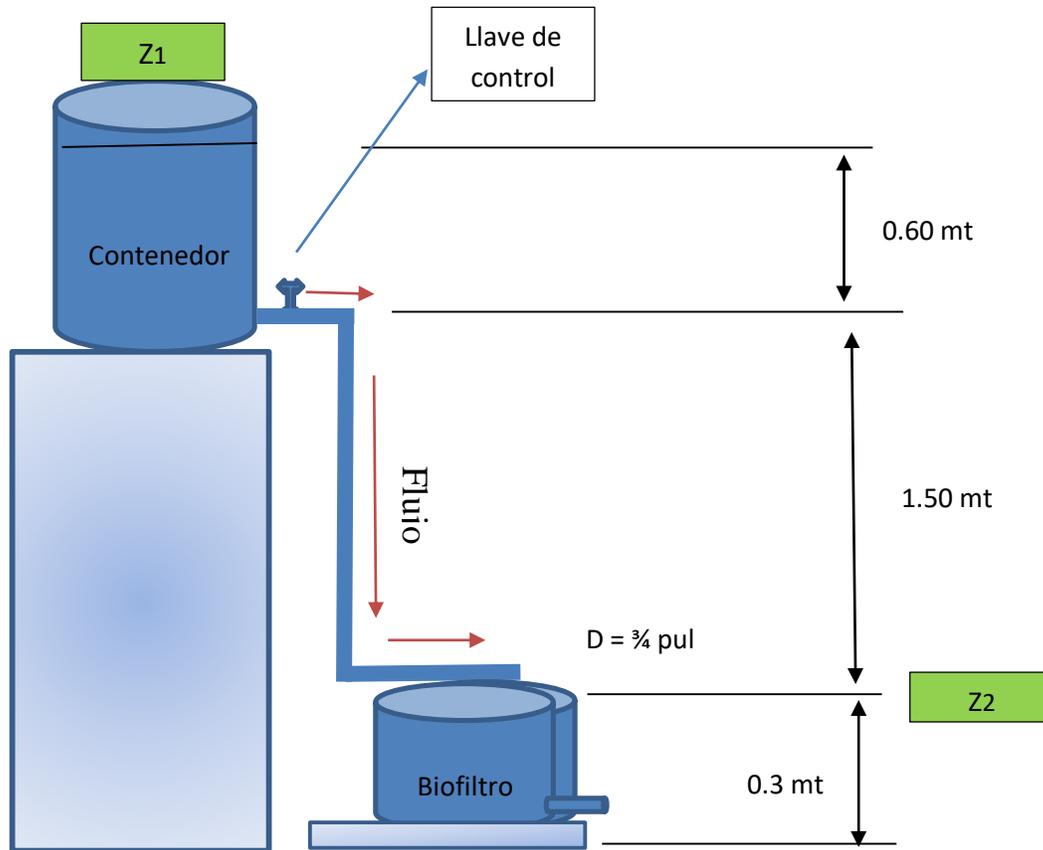
Recoleccion del agua tratada con el biofiltro de lombrices, notandose a simple vista un aceptable color y cambio.



Vista de los frascos con el agua residual antes y después de ser tratada para su posterior análisis físico – químico y microbiológico

ANEXO – 2: CALCULO HIDRAULICO DEL BIOFILTRO A ESCALA Y DISEÑO PROPUESTO

CALCULO HIDRAULICO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL



Datos obtenidos en análisis anteriores:

$$Q = 148.3 \frac{l}{min} \Rightarrow 0.0001483 \frac{m^3}{min}$$

$$D = \frac{3}{4} \text{ pulg} \Rightarrow 0.0191 \text{ m}$$

$$Z1 = 2.4 \text{ m}$$

$$Z2 = 0.3 \text{ m}$$

Calculo de perdida de energía por accesorios

Ecuación general de energía

$$\frac{P1}{\gamma} + Z1 + \frac{V1^2}{2g} + H_A - H_R - H_L = \frac{P2}{\gamma} + Z2 + \frac{V2^2}{2g}$$

$P1 = 0$ Superficie del depósito expuesta a la atmosfera.

$P2 = 0$ Corriente libre de fluido expuesta a la atmósfera.

$V1 = 0$ (Aproximadamente el area superficial del deposito es grande)

$H_R - H_L = 0$ En el sistema no hay dispositivos mecanicos.

Remplazando en la ecuación de energía

$$\frac{0}{\gamma} + Z1 + \frac{0^2}{2g} + H_A - H_R - H_L = \frac{0}{\gamma} + Z2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$Z1 - H_L = Z2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$H_L = (Z1 - Z2) + \frac{V_2^2}{2g} \dots \dots \dots (1)$$

Calculo de la velocidad

$$Q = V \times A_2$$

$$V_2 = \frac{Q}{A_2} \Rightarrow \frac{Q}{\pi x \frac{D_2^2}{4}}$$

$$V_2 = \frac{0.0001483 \frac{m^3}{min}}{\pi x \frac{0.0191^2 \cdot m^2}{4}}$$

$$V_2 = \frac{1.483 \times 10^{-4} \frac{m}{min}}{2.87 \times 10^{-4}}$$

$$V_2 = 0.52 \frac{m}{min}$$

$$V_2 = 0.0087 \frac{m}{s}$$

Remplazando en la ecuación (1)

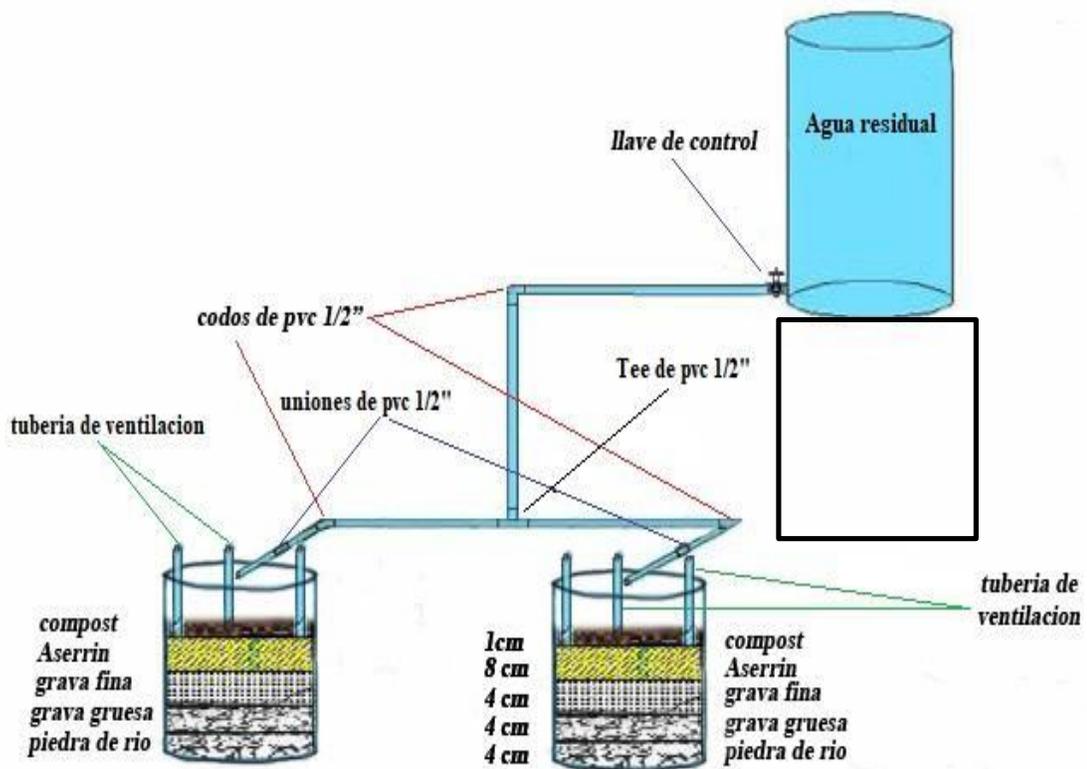
$$H_L = (Z_1 - Z_2) - \frac{V^2}{2g} \dots \dots \dots (1)$$

$$H_L = (2.4 - 0.3)m - \frac{(0.0087)^2 \frac{m^2}{seg^2}}{2 \times 9.81 \frac{m}{seg^2}}$$

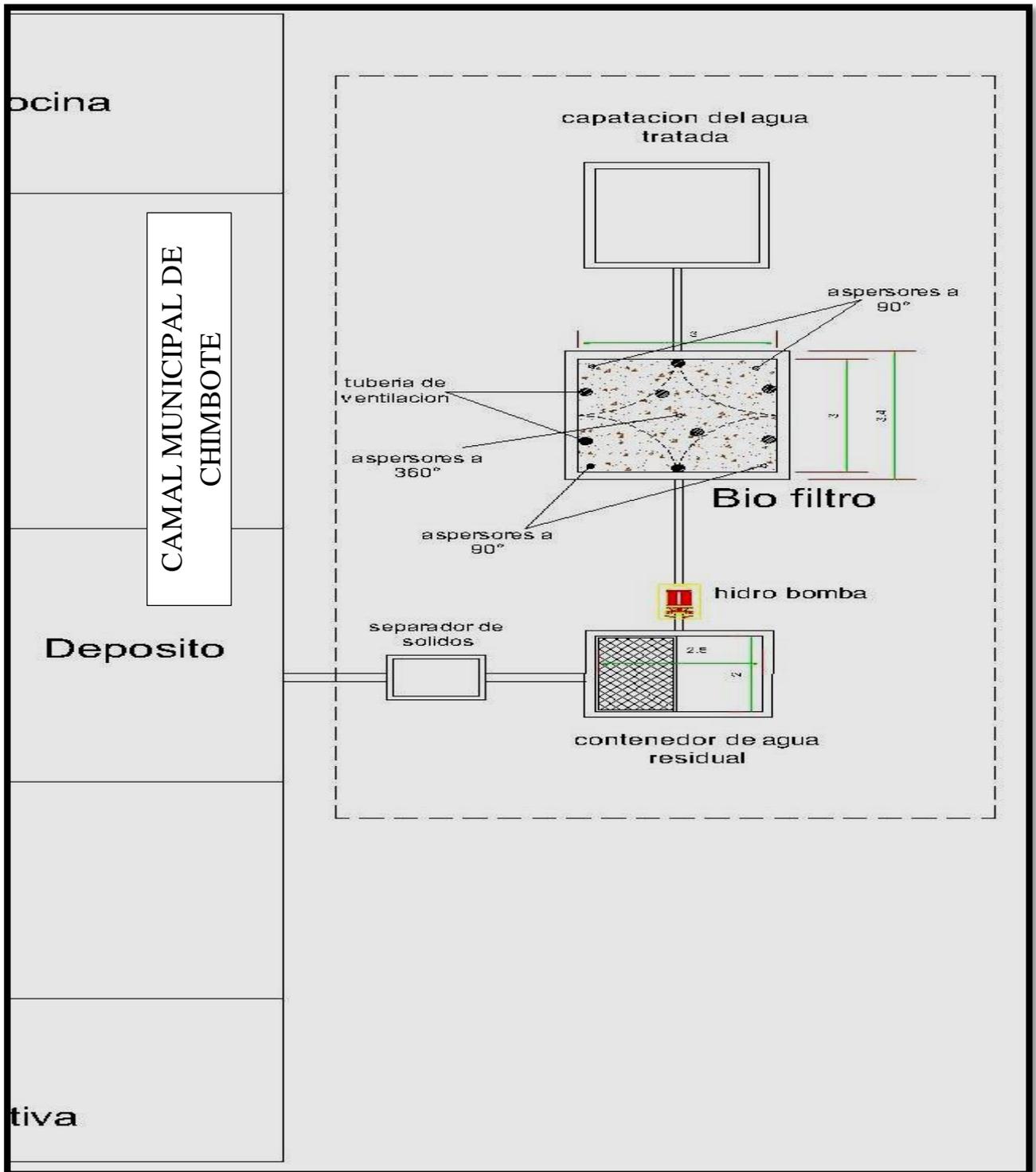
$$H_L = 2.1 m - 3.858 \times 10^{-6} m$$

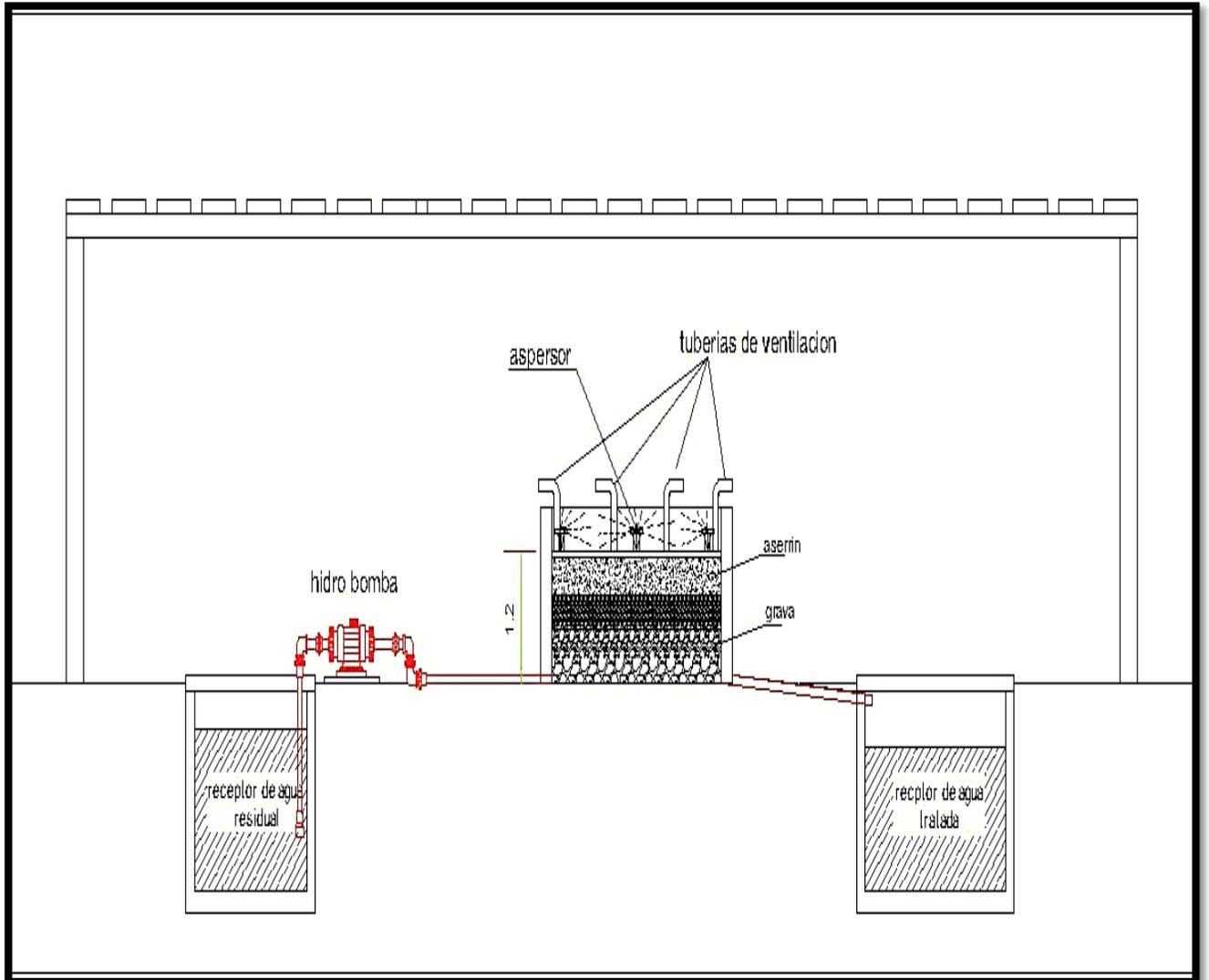
$$H_L = 2.099 m$$

Vista del sistema de tratamiento de agua residual a nivel escala de laboratorio



SISTEMA DE BIOFILTRACIÓN PROPUESTO





Nota: La velocidad de circulación mínima en las conexiones de los aspersores para evitar sedimentos es de 0.5 m/s (valor mínimo) y como valores máximos entre 2.0 y 2.5 m/s (Tello, 2016).

**ANEXO – 3: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS
FÍSICO QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL
AGUA RESIDUAL DEL CAMAL MUNICIPAL DE
CHIMBOTE**



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 046**



CORPORACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYOS CLÍNICOS, BIOLÓGICOS E INDUSTRIALES S.A.C.

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL N° 20181228-006

Pág. 1 de 2

SOLICITADO POR : GUILLERMO BERMUDEZ TIMÓTEO
 DIRECCIÓN : AA. H.H. Santa Cruz Mz C Lt 25 Pasaje Pañamarca
 PRODUCTO DECLARADO : AGUA RESIDUAL
 CANTIDAD DE MUESTRA : 05 muestras
 PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA : En frasco de vidrio estéril transparente con tapa, frascos de plástico con tapa
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2018-12-28
 FECHA DE INICIO DEL ENSAYO : 2018-12-28
 FECHA DE TÉRMINO DEL ENSAYO : 2019-01-02
 CONDICIÓN DE LA MUESTRA : En buen estado. Refrigerada.
 ENSAYOS REALIZADOS EN : Laboratorio de Microbiología, Física Químico.
 CÓDIGO COLECBI : 65 131228-4

RESULTADOS

ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS

ENSAYOS	MUESTRA
	Agua de Canal Municipal
Coliformas Termotolerantes (NMP/100mL)	02x10 ²

ENSAYOS FÍSICO QUÍMICOS

ENSAYOS	MUESTRA
	Agua de Canal Municipal
D.B.O ₅ (mg/L)	27.306
D.Q.O. (mg/L)	42.133
S.S.T. (mg/L)	3.817
(*) Nitritos (mg/L)	17.8

(*) El método aún no ha sido acreditado por INACAL

METODOLOGÍA EMPLEADA

Coliformas Termotolerantes: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221-E, 23rd Ed. 2017. Pág. 9-74 a 9-75. 9221-C 22nd Ed. 2012 Pág. 9-69 a 9-73.

D.B.O₅: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test

D.Q.O.: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. 2017. (Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Titrimetric Method. Sólidos Totales en Suspensión: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Ed. 2017. Solids Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C.

Nitritos: SMLWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NO₂-E 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Nitrate). Cadmium Reduction Method.

NOTA:

- Las muestras fueron recepcionadas en Laboratorios COLECBI S.A.C.
- Informe de ensayo emitido en base a resultados realizados por COLECBI S.A.C.
- Estos resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce
- No afecta al proceso de Dinámica por ser la misma Producto Perecible.

Fecha de Emisión: Nuevo Chimbote, Enero 03 del 2019.

GVR/gms

A. Gustavo Vargas Ramos
 Director de Laboratorios
 C. B. P. 328
 COLECBI S.A.C.

L. C. M. P. 1107
 Rev. 04
 Fecha 2015-11-30

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME
 SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DE COLECBI S.A.C.

COLECBI S.A.C.

Urb. Buenos Aires Mz. A - Lt. 7 - I Etapa - Nuevo Chimbote - Teléfono: 043 310752
 Celular: 998392893 - 998393974 - Apartado 127
 e-mail: colecbi@speedy.com.pe / medioambiente_colecbi@speedy.com.pe
 Web: www.colecbi.com

**ANEXO – 4: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS
FISICO – QUIMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL
AGUA DEL CAMAL MUNICIPAL DESPUÉS DE
HABER SIDO TRATADA POR EL BIOFILTRO DE
LOMBRICES**



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 046**



CORPORACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYOS CLÍNICOS, BIOLÓGICOS E INDUSTRIALES S.A.C.

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL N° 20181228-007

Pág. 1 de 2

SOLICITADO POR : GUILLERMO BERMUDEZ TIMOTEO
 DIRECCIÓN : AA. HH. Santa Cruz Mz C Lt 25 Pasaje Pañamarca.
 PRODUCTO DECLARADO : AGUA RESIDUAL
 CANTIDAD DE MUESTRA : 05 muestras.
 PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA : En frasco de vidrio estéril transparente con tapa, frascos de plástico con tapa.
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2018-12-28
 FECHA DE INICIO DEL ENSAYO : 2018-12-28
 FECHA DE TÉRMINO DEL ENSAYO : 2019-01-02
 CONDICIÓN DE LA MUESTRA : En buen estado. Refrigerada.
 ENSAYOS REALIZADOS EN : Laboratorio de Microbiología, Físico Químico.
 CÓDIGO COLECBI : SS 181228-4

RESULTADOS

ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS

ENSAYOS	MUESTRA
	Agua de Biofiltro
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	28x10 ⁴

ENSAYOS FÍSICO QUÍMICOS

ENSAYOS	MUESTRA
	Agua de Biofiltro
D.B.O. ₅ (mg/L)	5 090
D.Q.O. (mg/L)	8 080
S.S.T. (mg/L)	85
(*) Nitratos (mg/L)	4,9

(*) El método aún no ha sido acreditado por INACAL

METODOLOGÍA EMPLEADA

Coliformes Termotolerantes: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221-E, 23rd Ed. 2017. Pág. 9-74 a 9-75. 9221-C 22nd Ed. 2012. Pág. 9-69 a 9-73.

D.B.O.₅: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.

D.Q.O.: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. 2017. (Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Titrimetric Method.

Sólidos Totales en Suspensión: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C.

Nitratos: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NO₃ E 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Nitrate). Cadmiun Reduction Method.

NOTA:

- Las muestras fueron recepcionadas en Laboratorios COLECBI S.A.C.
- Informe de ensayo emitido en base a resultados realizados por COLECBI S.A.C.
- Estos resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce
- No afecto al proceso de Dirimencia por ser la muestra Producto Perecible.

Fecha de Emisión: Nuevo Chimbote, Enero 03 del 2019.
GVR/jms

A. Gustavo Vargas Ramos
 Gerente de Laboratorios
 C.B.P. 326
 COLECBI S.A.C.

LC-MP-HRIE
Rev 04
Fecha 2015-11-30

PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME
SIN LA AUTORIZACION ESCRITA DE COLECBI S.A.C.

COLECBI S.A.C.

Urb. Buenos Aires Mz. A - Lt. 7 | Etapa - Nuevo Chimbote - Teléfono: 043 310752
 Celular: 998392893 - 998393974 - Apartado 127
 e-mail: colecbi@speedy.com.pe / medioambiente_colecbi@speedy.com.pe
 Web: www.colecbi.com

ANEXO – 5: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO DEL AGUA RESIDUAL DEL CAMAL MUNICIPAL ANTES Y DESPUES DE HABER SIDO TRATADA POR EL BIOFILTRO DE LOMBRICES, PARA LOS PARAMETROS DE ACEITES Y GRASAS, PH Y TURBIDEZ



CORPORACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYOS CLÍNICOS, BIOLÓGICOS E INDUSTRIALES

“COLECBI” S.A.C.

REGISTRADO EN LA DIRECCIÓN REGIONAL DE POLÍTICAS Y PROGRAMAS AMBIENTALES - IRODDEP

INFORME DE ENSAYO N° 3523-14

Pág. 1 de 1

SOLICITADO POR:
DIRECCIÓN
INDICATO DECLARADO:
CANTIDAD DE MUESTRA:
PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA:
FECHA DE RECEPCIÓN:
FECHA DE INICIO DE ENSAYO:
FECHA DE TÉRMINO DEL ENSAYO:
CONDICIÓN DE LA MUESTRA:
ENSAYOS REALIZADOS EN:
CODIGO COLECBI:

GUILLERMO BERMUDEZ TIMOTEO
Mz. V Lote 43 J.L. Trujillo Chimbote
AGUA RESIDUAL (AGUA DE MATADERO)
02 fiascos x 1.5L c/u
En fiascos de vidrio con tapa.
2014-12-01
2014-12-01
2014-12-01
En buen estado
Laboratorio Físico Químico
SI 001677-14

RESULTADOS

ENSAYOS	MUESTRA	
	SIN TRATAR	TRATADA
pH	8,98	8,05
Aceites y Grasa (mg/L)	1.585	165
Turbidez (UNT)	650	310

METODOLOGIA EMPLEADA

pH : SMOVA APHA 2550A-NLE Titar 4500-14R - 25 al punto 20-20
Aceites y Grasa : SMOVA APHA 8000-WF - Papi 8520-12 20ml Fritura 50g
Turbidez : SMOVA APHA 2550A-NLE Papi 2130 S - 22ml 20-2012

NOTA:

- Informe de análisis emitido en el caso de resultados negativos por COLECBI S.A.C.
- Los resultados presentados corresponden solo a la muestra enviada.
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de cumplimiento con normas de calidad o como su liberación del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Fecha de emisión: Nuevo Chimbote, Diciembre 02 del 2014.
D.V.V.

Guillermo Bermudez Timoteo
Físico Químico
COLECBI S.A.C.



LC-04-1987
Rev. 00
Fecha 2012-05-22

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME EN LA AUTORÍA SIN AUTORIZACIÓN DE COLECBI S.A.C.

Urb. Buenos Aires Mz. A - LL 7 - Elaps - Nuevo Chimbote - Telefax: 043-310752
Nextel: 839*2893 - RPM#: 902995 - Apartado 127
e-mail: colecbi@speedy.com.pe / mediambiente_colecbi@speedy.com.pe
Web: www.colecbi.com

ENSAYOS	MUESTRA	
	SIN TRATAR	TRATADA
pH	8,98	8,05
Aceites y Grasa (mg/L)	1.585	165
Turbidez (UNT)	650	310