

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los
contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito
de Chachapoyas-Amazonas.**

Por:

Xiomi Vasni Saboya Rios

Asesor:

Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga

Lima, marzo de 2018

Cómo Citar:

Estilo APA

Saboya, X. (2018). Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas-Amazonas. (Tesis inédita de Licenciatura). *Universidad Peruana Unión*, Lima.

Estilo Vancouver

Saboya, X. (2018). Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas-Amazonas. [Tesis de Licenciatura]. Lima: Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura; 2018.

Estilo ISO

SABOYA RIOS, Xiomi Vasni. Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas-Amazonas. Tesis de Licenciatura inédita, Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Lima, 2018.

Área temática: Ingeniería Ambiental y Geológica

Ficha catalográfica:

Saboya Rios, Xiomi Vasni
Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas-Amazonas. / Autores: Xiomi Vasni Saboya Rios. Asesor: Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga. -- Lima, 2018.
201 hojas: anexos, tablas, figuras

Tesis (Licenciatura)--Universidad Peruana Unión. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. EP. Ingeniería Ambiental, 2018.

Incluye referencias y resumen.

Campo del conocimiento: Ingeniería Ambiental

1. Eficiencia. 2. Lombrifiltro. 3. *Eisenia foetida*. 4. *Lumbricus terrestris* 5. DBO y DQO

DECLARACION JURADA DE AUDITORIA DEL INFORME DE TESIS

Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "Eficiencia del método de Lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas-Amazonas" constituye la memoria que presenta la Bachiller Xiomí Vasni Saboya Ríos para aspirar al título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Lima, a los 23 de marzo del año 2018



Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga

“Eficiencia del método de Lombrifiltro en la remoción de los
contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de
Chachapoyas-Amazonas”

TESIS

Presentada para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

JURADO CALIFICADOR


Mg. Iliana del Carmen Gutiérrez Rodríguez
Presidenta


Mg. Natalí Carbo Bustinza
Secretaria


Dr. Noé Benjamín Pampa Quispe
Vocal


Ing. Jackson Edgardo Pérez Carpio
Vocal


Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga
Asesora

Lima, 23 de marzo del 2018

Dedicatoria

A mis padres Nemias y Judith por su amor, cariño, esfuerzo, paciencia y confianza que me brindaron en todo momento, ayudándome a alcanzar mi objetivo. A mi hermanito Nemias por el apoyo técnico y soporte a lo largo de mi carrera profesional.

Podemos hacer nuestros propios planes, pero la respuesta correcta viene del SEÑOR. Pon todo lo que hagas en manos del SEÑOR, y tus planes tendrán éxito.

Proverbios 16: 1, 3 (NTV)

Agradecimiento

Al Dios todopoderoso por brindarme grandes bendiciones y concederme las fuerzas necesarias para culminar un objetivo más.

Asimismo, deseo otorgar mi infinita gratitud a mis padres Nemias Saboya Yuimachi y Judith Esther Rios de Saboya quienes fueron mi sustento en todo momento a pesar de la distancia. A mi hermano Nemias Saboya Rios, de quien tuve una gran influencia y ayuda para cumplir mis metas como profesional, así también a mis hermanas Gadi y Carmi quienes me animaron en todo y confiaron en mi para ser el orgullo de mis padres.

De una forma muy especial a la Magíster Milda Amparo Cruz Huaranga, asesora, gracias por su soporte y apoyo técnico hasta la culminación de la presente investigación. Gracias por su afecto mediante la amistad y profesionalismo.

De la misma manera, a los docentes Natalí Carbo, Linkolk López y Noé Pampa gracias por sus aportes técnicos como profesionales y apoyo, y a la Dirección de E.P de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión, por instruirme en el transcurso de mi carrera profesional.

Finalmente, a mis amigas Marisol Becerra, Carmen Ponce y Katherine Monge que, a pesar de la distancia, me motivaron mediante sus oraciones y palabras de ánimo, gracias por los momentos inolvidables durante la etapa de universitarias y su amistad duradera hasta la actualidad. Asimismo, agradezco a Guinaldo Chuquizuta y al estudiante de Agronomía Daniel Cabrera por su ayuda en la implementación de mi planta piloto, y a la CPC. Rudy Calderón por siempre hacerme recordar de cumplir con mi meta para ser una gran profesional.

Índice general

RESUMEN -----	xxv
ABSTRACT -----	xxvi
CAPITULO I INTRODUCCIÓN -----	27
1.1 Identificación del problema-----	27
1.2 Justificación de la investigación -----	31
1.3 Objetivo General -----	32
1.3.1. Objetivos Específicos-----	32
CAPITULO II REVISIÓN DE LITERATURA -----	33
2.1. Antecedentes-----	33
2.1.1. A nivel mundial -----	33
2.1.2. A nivel sudamericano -----	34
2.1.3. A nivel nacional -----	36
2.1.4. A nivel local -----	37
2.2. Aguas residuales -----	37
2.3. Clasificación de las aguas residuales -----	38
2.3.1. Aguas residuales industriales-----	39
2.3.2. Aguas residuales domésticas -----	39
2.3.3. Aguas residuales municipales -----	39
2.3.3.1. Aguas residuales hospitalarios -----	40
2.4. Composición de las Aguas residuales domésticas-----	40
2.4.1. Características -----	41

2.4.1.1.	Características físicas -----	41
2.4.1.2.	Características químicas -----	41
2.4.1.3.	Características biológicas -----	41
2.5.	Problemática actual del agua residual domésticas en el Perú -----	42
2.5.1.	Déficit de cobertura por EPS de Saneamiento a nivel nacional-----	43
2.5.2.	Las EPS de Saneamiento no brindan un servicio adecuado de TAR-----	43
2.6.	Manejo de las aguas residuales -----	44
2.7.	Remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas -----	45
2.8.	Parámetros de control para la utilización de ARD en la agricultura. -----	46
2.9.	Marco legal -----	49
2.9.1.	La Constitución Política del Perú (1993) -----	50
2.9.2.	La Ley General del Ambiente, Ley N° 28611-----	50
2.9.3.	Resolución Ministerial N° 176-2010-Vivienda -----	51
2.9.4.	Norma OS-090 PTAR -----	51
2.9.5.	D.S 002-2008-MINAM: Aprueban los ECA para Agua-----	51
2.9.6.	D.S 015-2015-MINAM: Modifican los ECA para Agua -----	51
2.9.7.	D.S 004-2017-MINAM: Modifican los ECA para Agua -----	52
2.10.	Tipos de tratamientos de aguas residuales domésticas -----	52
2.10.1.	Tratamiento preliminar -----	52
2.10.1.1.	Tamizado-----	52
2.10.1.2.	Rejas-----	52
2.10.1.3.	Desarenadores-----	53
2.10.2.	Tratamiento primario -----	54

2.10.2.1. Coagulación-----	54
2.10.2.2. Sedimentación -----	54
2.10.3. Tratamiento secundario-----	54
2.10.3.1. Filtros percoladores -----	55
2.10.3.2. Biodiscos-----	56
2.10.3.3. Lodos activados-----	58
2.10.4. Tratamientos naturales o sistemas biológicos no convencionales -----	59
2.10.4.1. Lagunas de estabilización facultativas -----	59
2.10.4.2. Humedales artificiales o construidos -----	61
2.10.4.3. Método del lombrifiltro-----	62
2.10.4.3.1. Historia del Lombrifiltro-----	62
2.10.4.3.2. Lombrifiltro-----	63
2.10.4.3.3. Descripción de las capas del lombrifiltro -----	64
2.10.4.3.4. Procesos de remoción física, química y biológica mediante el Lombrifiltro. --	65
2.10.4.3.5. Ventajas y desventajas -----	69
2.10.4.3.6. Características de los parámetros aptas para el diseño del lombrifiltro. -----	71
2.10.4.3.7. Operación y Mantenimiento del lombrifiltro. -----	72
2.10.4.3.8. Eficiencia del método del lombrifiltro-----	73
2.10.4.3.9. Eficiencia en remoción de organismos patógenos por el lombrifiltro-----	74
2.11. Importancia de las Lombrices -----	74
2.11.1. Descripción de la Lombriz de tierra (Lumbricus terrestris) -----	75
2.11.1.1. Clasificación de las lombrices de tierra -----	77
2.11.1.2. Sistema digestivo -----	80
2.11.1.3. Sistema circulatorio -----	81
2.11.1.4. Sistema respiratorio -----	81

2.11.1.5.	Sistema excretor -----	81
2.11.1.6.	Sistemas nervioso y sensorial-----	81
2.11.1.7.	Sistema locomotor-----	82
2.11.2.	Descripción de la Lombriz roja californiana (Eisenia foetida)-----	82
2.11.2.1.	Ciclo de vida de la lombriz Eisenia foetida-----	84
2.11.2.2.	Condiciones ideales y desfavorables de su hábitat -----	86
2.12.	El polvo de aserrín como sustrato para lombrices -----	88
2.13.	Protocolo de muestreo de aguas residuales -----	88
2.13.1.	Puntos de monitoreo -----	89
2.13.1.1.	Agua residual cruda (afluente)-----	89
2.13.1.2.	Agua residual tratada (efluente) -----	89
2.13.2.	Aforo del caudal -----	89
2.13.2.1.	Método del vertedero -----	90
2.13.2.2.	Canaleta Parshall -----	90
2.13.2.3.	Método de sección- velocidad -----	91
2.13.2.4.	Método volumétrico-----	91
2.13.3.	Toma de muestras -----	92
2.13.3.1.	Parámetros microbiológicos -----	92
2.13.3.2.	Parámetros físicos químicos – inorgánicos -----	92
2.13.3.3.	Parámetros para la evaluación de la calidad del AR-----	92
2.14.	Métodos de análisis de los parámetros de calidad del AR-----	93
2.15.	Cadena de custodia -----	93
CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS -----		94

3.1.	Lugar de ejecución	94
3.2.	Recolección de los componentes del Lombrifiltro (Etapa 1)	97
3.2.1.	Materiales	97
3.2.2.	Método	97
3.3.	Muestreo del ARD a tratar (Etapa 2)	98
3.3.1.	Materiales	98
3.3.2.	Metodología	98
3.3.2.1.	Muestreo del ARD para el análisis de los parámetros	99
3.4.	Construcción de la estructura del Lombrifiltro (Etapa 3)	100
3.4.1.	Materiales	100
3.4.2.	Metodología	101
3.5.	Adaptación de las lombrices: EF y LT (Etapa 4)	102
3.5.1.	Materiales	102
3.5.2.	Metodología	102
3.6.	Colocación de las capas del lombrifiltro (Etapa 5)	102
3.6.1.	Materiales	102
3.6.2.	Metodología	103
3.7.	Medición del caudal y TRH (Etapa 6)	103
3.7.1.	Materiales	103
3.7.2.	Metodología	103
3.8.	Variables de Estudio	104
3.8.1.	Variable independiente	104
3.8.2.	Variables dependientes	104

3.9.	Formulación de Hipótesis-----	104
3.10.	Estudio y diseño de la investigación -----	104
3.10.1.	Tipo-----	105
3.11.	Análisis estadístico-----	105
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES -----		106
4.1.	Muestreo del agua residual a tratar -----	106
4.2.	Dimensiones de las capas de la estructura-----	106
4.3.	Adaptación de las especies en estudio (EF y LT) -----	108
4.4.	Medición el caudal-----	109
4.5.	Tiempo de retención hidráulica -----	110
4.6.	Resultados de los parámetros analizados antes y después del tratamiento -----	111
4.6.1.	Comparación de parámetros antes y después del tratamiento.-----	112
4.7.	Comparación de los resultados con el Ds N° 004-2017-MINAM -----	122
4.8.	Determinación de la eficiencia del lombrifiltro según especie en estudio -----	127
4.9.	Resultados estadísticos de contraste de hipótesis-----	133
4.9.1.	Contraste de Prueba de normalidad-----	133
4.9.2.	Análisis estadístico a través de Prueba de wilcoxon para los Parámetros físico-químicos y microbiológicos de la especie Eisenia foetida -----	133
4.9.3.	Análisis estadístico a través de Prueba de wilcoxon para los Parámetros físico-químicos y microbiológicos de la especie Lumbricus terrestris-----	138
4.9.4.	Análisis estadístico a través de Prueba de U Mann – Whitney para los Parámetros físico-químicos y microbiológicos de las especies EF y LT-----	143

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	152
5.1. Conclusiones-----	152
5.2. Recomendaciones -----	154
REFERENCIAS -----	155
ANEXO -----	169

Índice de Figuras

Figura 1. Composición del agua residual doméstica (Metcalf & Eddy, 2003)-----	40
Figura 2. Generación per cápita de aguas residuales domésticas a nivel región (OEFA,2014) -----	42
Figura 3. Generación de aguas residuales domésticas hasta el año 2024 (SUNASS, 2013) -----	43
Figura 4. Manejo de aguas residuales (OEFA, 2015)-----	45
Figura 5. Cribas o cámara de rejillas (Caicedo, 2017) -----	53
Figura 6. Desarenadores (Metcalf & Eddy, 2003).-----	53
Figura 7. Proceso de los filtros percoladores (Pérez 2010) -----	55
Figura 8. Proceso de los Biodiscos (Metcalf & Eddy 2003). -----	57
Figura 9. Proceso de lodos activados (Metcalf & Eddy 2003) -----	59
Figura 10. Proceso de la laguna de estabilización Facultativa (Bowman et al., 2002). ----	60
Figura 11. Humedales artificiales (Nuñez, 2016) -----	62
Figura 12. Lombriz roja californiana extraída https://goo.gl/fJBQd4 -----	63
Figura 13. Modelo del lombrifiltro en corte esquemático (Sinha et al., 2008). -----	63
Figura 14. Capas del lombrifiltro (Jimenez, 2016). -----	64
Figura 15. Aplicación de las tuberías para la aeración (Tapia & Barañao, 2004) -----	65
Figura 16. Representación esquemática de una lombriz de tierra (Domínguez, Aira, & Gómez-Brandon, 2009). -----	76
Figura 17. Lombriz de tierra (<i>Lumbricus. terrestris</i>) empleada en el T1, elaboración propia. -----	77
Figura 18. Lombriz endógeas (Bourrut, 2015) Figura 19. Anécicas (Bourrut, 2015) ----	79
Figura 20. Lombriz epigeas (Bourrut, 2015)-----	79

Figura 21. Eisenia foetida empleada en el T2, elaboración propia.-----	82
Figura 22. Diagrama del ciclo de vida de Eisenia foetida (Duran & Henriquez 2009) ----	84
Figura 23. Lombriz bebe (Duran & Henriquez 2009) -----	86
Figura 24. Etapa de capullo (Duran & Henriquez 2009) -----	86
Figura 25. Etapa de adulto (Duran & Henriquez 2009)-----	86
Figura 26. Etapa juvenil (Duran & Henriquez 2009) -----	86
Figura 27. Ecuaciones y tipos de vertederos (DGIAR, 2015) -----	90
Figura 28. Mapa de ubicación geográfica de la zona de estudio, elaboración propia en Arcgis, y adaptado en Google Earth-----	95
Figura 29. Ubicación del agua residual doméstica, adaptado de Google Earth. -----	96
Figura 30. Etapas del proceso de tratamiento de agua residual doméstica, elaboración propia -----	96
Figura 31. Comparación del parámetro químico DBO5 antes y después del tratamiento mediante el lombrifiltro con las especies Eisenia foetida y Lumbricus terrestris-----	113
Figura 32. Comparación del parámetro químico DQO antes y después del tratamiento mediante el lombrifiltro con las especies Eisenia foetida y Lumbricus terrestris-----	115
Figura 33. Comparación del parámetro químico Nitrógeno Total antes y después del tratamiento mediante el lombrifiltro con las especies Eisenia foetida y Lumbricus -----	117
Figura 34. Comparación del parámetro Turbidez antes y después del tratamiento mediante el lombrifiltro con las especies Eisenia foetida y Lumbricus terrestris -----	119
Figura 35. Comparación del parámetro pH antes y después del tratamiento mediante el lombrifiltro con las especies Eisenia foetida y Lumbricus terrestris -----	121
Figura 36. Comparación del parámetro pH antes y después del tratamiento mediante el lombrifiltro con las especies Eisenia foetida y Lumbricus terrestris. -----	122
Figura 37. Cadena de custodia de las muestras antes del tratamiento -----	171

Figura 38. Cadena de custodia de las muestras después del tratamiento-----	172
Figura 39. Informe del laboratorio NKAP, de los parámetros químicos y microbiológicos antes de pasar por el sistema de tratamiento mediante el lombrifiltro-----	175
Figura 40. Informe del laboratorio NKAP, de los parámetros químicos y microbiológicos después de pasar por el sistema de tratamiento mediante el lombrifiltro con la especie Lumbricus terrestris. -----	177
Figura 41. Informe del laboratorio NKAP, de los parámetros químicos y microbiológicos después de pasar por el sistema de tratamiento mediante el lombrifiltro con la especie Eisenia foetida. -----	179
Figura 42. Planta del sistema de tratamiento usada en la investigación. -----	184
Figura 43. Vista Frontal, Lateral y superior de la planta de tratamiento usada en la investigación-----	185
Figura 44. Proceso de construcción del tratamiento mediante lombrifiltro-----	187
Figura 45. Capas del tratamiento mediante el lombrifiltro-----	189
Figura 46. Recolección de la especie Eisenia foetida de las camadas de crianza-----	190
Figura 47. Recolección de la especie Lumbricus terrestris en un suelo común-----	191
Figura 48. Colocación de las lombrices para fase de adaptación -----	193
Figura 49. Puesta en marcha del tratamiento mediante lombrifiltro -----	195
Figura 50. Recojo de muestras para el análisis de los parámetros DQO, DBO5, Nitrógeno total, pH, Turbidez y Coliformes termotolerantes antes del ingreso al tratamiento de lombrifiltro-----	197
Figura 51. Recojo de muestras para el análisis de los parámetros DQO, DBO5, Nitrógeno total, pH, Turbidez y Coliformes termotolerantes después del tratamiento mediante lombrifiltro-----	201
Figura 52. Color visual del agua residual en el primer día del tratamiento mediante	

Lombrifiltro -----	202
Figura 53. Color visual del agua residual en el tercer día del tratamiento mediante Lombrifiltro. -----	203
Figura 54. Color visual del agua residual en el sexto día del tratamiento mediante Lombrifiltro. -----	204
Figura 55. Agua residual domestica antes del tratamiento mediante el método del Lombrifiltro -----	205
Figura 56. Resultado visual del agua después del tratamiento mediante el método del Lombrifiltro (botella izquierda es con la especie Eisenia foetida- botella derecha con la especie Lumbricus terrestris)-----	205

Índice de Tablas

Tabla 1. Características del agua-----	46
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 -----	47
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 -----	48
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 -----	48
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 ---	49
Tabla 6. Funciones según tipos de bacterias en el filtro percolador -----	56
Tabla 7. Eficiencia de remoción de los filtros percoladores -----	56
Tabla 8. Eficiencia de remoción de los Biodiscos-----	57
Tabla 9. Eficiencia de remoción de lodos activados -----	58
Tabla 10. Eficiencia de remoción de Patógenos y Parámetros Convencionales de varios procesos -----	61
Tabla 11. Eficiencia de remoción de las lagunas de estabilización facultativa -----	61
Tabla 12. Resultados comparativos de costos, operaciones y mantenimiento en los sistemas biológicos -----	70
Tabla 13. Eficiencia del lombrifiltro -----	73
Tabla 14. Resultados comparativos de la eficiencia de los parámetros entre sistemas biológicos.-----	74
Tabla 15. Eliminación de microorganismos en varios sistemas de empleo de aguas residuales -----	74

Tabla 16. Comparación de los tipos de lombrices de tierra-----	80
Tabla 17. Diferencias entre lombrices composteras y nativas. -----	84
Tabla 18. Métodos de análisis de los parámetros del ARD -----	93
Tabla 19. Componentes del Lombrifiltro. -----	97
Tabla 20. Coordenadas de ubicación de los puntos de descarga de las aguas residuales de la ciudad de Chachapoyas -----	99
Tabla 21. Capas del lombrifiltro -----	103
Tabla 22. Recolección del agua residual domestica-----	106
Tabla 23. Dimensiones de cada capa de la estructura -----	106
Tabla 24. Dimensiones de cada capa de la estructura -----	108
Tabla 25. Adaptación de Eisenia foetida -----	109
Tabla 26. Adaptación de Lumbricus terrestris -----	109
Tabla 27. Calculo del Caudal-----	110
Tabla 28. Cálculo del Tiempo de Retención Hidráulica con la especie Eisenia foetida --	110
Tabla 29. Cálculo del Tiempo de Retención Hidráulica con la especie Lumbricus terrestris -----	110
Tabla 30. Parámetros físico-químicos y microbiológicos antes del tratamiento mediante el método del lombrifiltro.-----	111
Tabla 31. Parámetros físico-químicos y microbiológicos después del tratamiento mediante el método del lombrifiltro con la especie Eisenia foetida -----	111
Tabla 32. Parámetros físico-químicos y microbiológicos después del tratamiento mediante el método del lombrifiltro con la especie Lumbricus terrestris-----	112
Tabla 33. Comparación de los resultados con el Decretos Supremos N° 004-2017-MINAM -----	127
Tabla 34. Eficiencia del método del lombrifiltro -----	133

Tabla 35. Condiciones para el contraste de hipótesis según la prueba de wilcoxon -----	134
Tabla 36. Análisis de rangos de la prueba de wilcoxon para el parámetro PH con la especie Eisenia foetida -----	135
Tabla 37. Análisis de rangos de la prueba de wilcoxon para el parámetro de la Turbidez para la especie Eisenia foetida -----	135
Tabla 38. Análisis de rangos de la prueba de wilcoxon para el parámetro de la DBO5 para la especie Eisenia foetida -----	136
Tabla 39. Análisis de rangos de la prueba de wilcoxon para el parámetro de la DQO para la especie Eisenia foetida -----	136
Tabla 40. Análisis de rangos de la prueba de wilcoxon para el parámetro del Nitrógeno para la especie Eisenia foetida -----	136
Tabla 41. Análisis de rangos de la prueba de wilcoxon para el parámetro microbiológico: Coliformes termotolerantes para la especie Eisenia foetida -----	137
Tabla 42. Prueba estadística de Wilcoxon para los contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos para la especie Eisenia foetida -----	137
Tabla 43. Condiciones para el contraste de hipótesis según la prueba de wilcoxon -----	139
Tabla 44. Análisis de rangos de la prueba wilcoxon para el parámetro del PH para le especie Lumbricus terrestris-----	139
Tabla 45. Análisis de rangos de la prueba wilcoxon para el parámetro de la Turbidez para la especie Lumbricus terrestris -----	140
Tabla 46. Análisis de rangos de la prueba wilcoxon para el parámetro de la DBO5 para la especie Lumbricus terrestris-----	140
Tabla 47. Análisis de rangos de la prueba wilcoxon para el parámetro de la DQO para la especie Lumbricus terrestris-----	141
Tabla 48. Análisis de rangos de la prueba wilcoxon para el contaminante fisicoquímico:	

Nitrógeno para la especie Lumbricus terrestris -----	141
Tabla 49. Análisis de rangos de la prueba wilcoxon para el parámetro microbiológico: Coliformes termotolerantes para la especie Lumbricus terrestris -----	142
Tabla 50. Prueba estadística de Wilcoxon para los contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos de la especie Lumbricus terrestris-----	142
Tabla 51. Condiciones para el contraste de hipótesis según la prueba de U de Mann-Whitney -----	144
Tabla 52. Análisis de Rangos de la prueba de U de Mann-Whitney para el parámetro del pH -----	144
Tabla 53. Prueba de U de Mann-Whitney para el parámetro del pH -----	145
Tabla 54. Análisis de Rangos de la prueba de U de Mann-Whitney para el parámetro de la Turbidez. -----	145
Tabla 55. Prueba de U de Mann-Whitney para el parámetro del pH -----	146
Tabla 56. Análisis de Rangos de la prueba de U de Mann-Whitney para el parámetro de la DBO5. -----	147
Tabla 57. Prueba de U de Mann-Whitney para el parámetro de la DBO5 -----	147
Tabla 58. Análisis de Rangos de la prueba de U de Mann-Whitney para el parámetro de la DQO.-----	148
Tabla 59. Prueba de U de Mann-Whitney para el parámetro de la DQO -----	148
Tabla 60. Análisis de Rangos de la prueba de U de Mann-Whitney para el parámetro de la Nitrógeno-----	149
Tabla 61. Prueba de U de Mann-Whitney para el parámetro del Nitrógeno-----	150
Tabla 62. Análisis de Rangos de la prueba de U de Mann-Whitney para el parámetro de Coliformes termotolerantes-----	150
Tabla 63. Prueba de U de Mann-Whitney para el parámetro de CT-----	151

Índice de Anexos

Anexo 1. Requisitos para la toma de muestra de aguas y su preservación -----	169
Anexo 2. Cadena de custodia realizada para las muestras antes y después del tratamiento -----	171
Anexo 3. Informe de los parámetros químicos y microbiológicos pre, otorgados por el laboratorio NKAP. -----	173
Anexo 4. Informe de los parámetros químicos y microbiológicos post, otorgados por el laboratorio NKAP. -----	175
Anexo 5. Planos del sistema del tratamiento-----	184
Anexo 6. Construcción del sistema de tratamiento del lombrifiltro -----	186
Anexo 7. Preparación de las Capas del tratamiento del lombrifiltro -----	188
Anexo 8. Recolección y adaptación de las lombrices (Eisenia foetida y Lumbricus terrestres) -----	190
Anexo 9. Funcionamiento del tratamiento mediante lombrifiltro-----	194
Anexo 10. Recojo de muestras pre y post del tratamiento -----	196
Anexo 11. Comparación visual del proceso de purificación del agua residual mediante el tratamiento del lombrifiltro-----	201

Símbolos

- E** : Efluente
- A** : Afluente
- DQO** : Demanda química de oxígeno
- CT** : Coliformes Termotolerantes
- EF** : *Eisenia Foetida*
- LT** : *Lumbricus Terrestris*
- M-ST** : Muestra sin tratamiento
- M-T1** : Muestra de *Lumbricus terrestris*
- M-T2** : Muestra de *Eisenia foetida*
- LMP** : Límite máximo permisible
- INIA** : Instituto Nacional de Innovación Agraria
- UTM** : Universal Transversal Mercator
- T1** : Tratamiento con *Lumbricus terrestris*
- T2** : Tratamiento con *Eisenia foetida*
- pH** : potencial de hidrógeno, es una medida de la acidez de una solución.
- DBO5** : Demanda Bioquímica de Oxígeno al quinto día (mg/l)
- NT** : Nitrógeno Total (mg/l)
- TAR** : Tratamiento de aguas Residuales
- PTAR** : Planta de tratamiento de Aguas Residuales
- D.S** : Decreto Supremo
- ECA** : Estándares de Calidad Ambiental
- AR** : Agua (s) Residual (es)
- EPS** : Entidades Prestadoras de Servicios

RESUMEN

El estudio determinó la eficiencia de la lombriz de tierra (*Lumbricus terrestris*) y la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de las aguas residuales del Distrito de Chachapoyas. Se aplicó la adaptación de las dos especies durante un periodo de siete días, luego se inocularon al sistema del lombrifiltro conformado por dos estructuras de madera con cuatro capas (piedras enteras, grava chancada, grava fina y aserrín en mezcla con las lombrices de tierra y las lombrices rojas californiana), además de los microorganismos presentes en el sustrato y finalmente un tanque de almacenamiento (agua residual doméstica) de flujo continuo.

Se depositó el agua residual en un tanque de almacenamiento alimentado durante seis días, para luego pasar hacia las estructuras de madera que contiene las especies *Lumbricus terrestris* y *Eisenia foetida*. Para determinar la eficiencia de remoción de las especies, se analizó la cantidad de concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual que ingresó al proceso de tratamiento. Obteniendo los resultados que la especie *EF* redujo en un 92% la DBO5, 86% DQO, 78% NT, 84.4% turbidez, 93% pH y 84% en CT a diferencia de la especie *LT* que obtuvo una reducción del 91% en la DBO5, 84% DQO, 77% NT, 83% turbidez, 93% pH y 80% en CT. Concluyendo que la especie *EF* es más eficiente en la remoción de los contaminantes del agua residual doméstica con un promedio de 87% en comparación con la especie *LT* que logró un 85% por ende el tratamiento con ambas especies, las hacen aceptables para el riego de vegetales no restringido y restringido, así como para bebidas de animales tal como consta en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Palabras claves: Eficiencia, lombrifiltro, *Eisenia foetida*, *Lumbricus terrestris*, DBO, DQO

ABSTRACT

The study determined the efficiency of the earthworm of ground (*Lumbricus terrestris*) and the Californian red earthworm (*Eisenia foetida*) in the treatment of the wastes water of the District of Chachapoyas. There was applied the adaptation of two species during a period of seven days, then they were inoculated to the system of the lombrifiltro shaped by two wooden structures with four layers (entire stones, it burdens chancada, thin gravel and sawdust in miscellany with the earthworms of ground and the red earthworms California), in addition to the microorganisms present in the substrate and finally a storage tank (residual water home) continuous flow.

It deposited the residual water in a storage tank fed during six days, to then go toward the wooden structures that contains the species *Lumbricus terrestris* and *Eisenia foetida*. In order to determine the efficiency of removal of the species, the amount of concentration of the physicochemical and microbiological parameters of the residual water that entered the treatment process was analyzed. Obtaining the results that the EF species reduced by 92% The BOD5, 86% cod, 78% NT, 84.4% turbidity, 93% PH and 84% in CT unlike the LT species which obtained a 91% reduction in BOD5, 84% cod, 77% NT, 83% turbidity , 93% PH and 80% in CT. Concluding that the species EF is more efficient in the domestic removal of the pollutants of the waste water with an average of 87 % compared to the species LT that 85 % achieved hence the treatment with both species, they make them acceptable for not restricted and restricted vegetables irrigation, as well as for animals drinks as it consists in the Supreme Decree N ° 004-2017-MINAM.

Keywords: Efficiency, vermicompost, *Eisenia foetida*, *Lumbricus terrestris*, BOD, COD

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Identificación del problema

Las aguas residuales domésticas son consideradas, aquellas aguas cuyas características naturales fueron alteradas, esto debido a la intervención de las actividades diarias antropogénicas, que en consecuencia contienen alta carga orgánica, que está compuesta por aguas negras y aguas grises. La mayoría de estas aguas muestran gran cantidad de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), nitrógeno, fósforo, metales pesados; y sobre todo muestran la presencia de Coliformes totales y fecales; parámetros que son analizados para verificar la calidad de estas aguas (Marsilli, 2005).

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 AR hacia las grandes plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), en consecuencia demostrando el limitado tratamiento y siendo este el problema central en el Perú en temas de saneamiento.

Actualmente, las causas que originan el limitado de TAR se derivan por la falta de educación ambiental; este término se conceptualiza como conductas humanas que deben estar encaminadas vía el desarrollo sostenible, sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2012), en consecuencia, el 60% de la población peruana terminan descargando estas aguas a los suelos, y a los cuerpos de agua (ríos, lagos, mares), entre otras, (Brack et al., 2008)

Asimismo, las industrias también son responsables de que estas aguas no se traten adecuadamente debido a que sobrepasan las cargas orgánicas aceptables para las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR); otro tema se relaciona con las empresas prestadoras de servicio (EPS), el 30% tienen un mantenimiento incorrecto de sus plantas, además de una insuficiente capacidad financiera que no cubren para que todas las aguas residuales sean tratadas; al mismo tiempo se menciona la limitada fiscalización de los vertimientos de las aguas residuales por parte de las autoridades y organismos competentes que trae consigo una inadecuada gestión sobre estos temas (SUNASS, 2014).

A consecuencia de estos actos se producen aguas residuales, lo que trae como efecto el incremento de enfermedades, principalmente gastrointestinales, cutáneas; además de las alteraciones de la capa freática del suelo, eutrofización, aguas subterráneas contaminadas a causa de la infiltraciones de la aguas residuales al suelo, la producción de alimento contaminado a raíz del regadío con aguas no tratadas y la ausencia del preciado recurso para las actividades de subsistencia como la agricultura y ganadería y para el propio ser humano (Lorenzo, Llanes, Fernández, & Bataller, 2009).

Dadas las condiciones que anteceden, en la actualidad existen métodos y mecanismos para el tratamiento de aguas residuales, en la cuales se encuentran los sistemas biológicos; estos son métodos que utilizan microorganismos para realizar la degradación biológica de la materia orgánica del agua en ambientes aerobios y anaerobios (Nodal, 2001). Además, existen tipos de sistemas biológicos como los convencionales y no convencionales; cada uno de estos sistemas poseen métodos, como las lagunas de estabilización, lombrifiltros, filtros percoladores, Biodiscos, lodos activados, lagunas aireadas, entre otros (Pérez, 2010).

De esta manera, el método del lombrifiltro es considerado un biofiltro cuyos principales degradadores de la materia orgánica son las lombrices, en este biofiltro ingresa

toda el agua residual para su posterior tratamiento. Todo el proceso está compuesto por capas o estratos filtrantes de varios materiales, sin embargo la lombriz y un gran número de microorganismos se encargan de absorber y digerir la materia orgánica dejando el agua sin sus principales contaminantes que son los residuos patógenos presente en el agua residual (Ramón, Leon, & Castillo, 2015).

Además, “es una alternativa ecológica y eficiente para el tratamiento de aguas residuales, así también contribuye a la recuperación del recurso, disminuir los impactos en la salud y el ambiente, al mismo tiempo son de bajo costo y manejables” (Jiang, Liu, Hu, Zeng, Wang, Zhou, et al., 2016). Todo recurso que sea modificado y asemejado a su estado natural, ayuda en gran manera al avance en la restauración del medio ambiente, considerando al agua un tema de suma importancia debido a que es un recurso poco reaprovechable para la población rural y urbana esto por falta de conocimiento.

Asimismo, autores como Garkal, Mapara, & Prabhune, (2015) manifiestan que el método del lombrifiltro, entrega una calidad de agua adecuada para regadío ya que sus parámetros medidos se hallan dentro de las normativas vigentes aceptables de cada país así también son considerados tratamientos secundarios, además de ser económicas y de operaciones y mantenimiento limpios; que pueden ser aplicadas a poblaciones pequeñas así como anexos y centros poblados. La diferencia radica en que este método no requiere de energía eléctrica para operar, no produce lodos, no genera olores, agradable a la vista y sobre todo sustentable, esto demostrado en su estudio realizado en la ciudad de india, donde las poblaciones carecen de este recurso.

Por otro lado, respecto a la medición de los parámetros el método del lombrifiltro, resulta ser más eficiente en la eliminación de la carga orgánica, como sucedió en Chile, que

utilizando la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) mostraron resultados de remoción de 95% en DBO5 y 95% para los sólidos suspendidos totales (SST). En cuanto al fósforo y nitrógeno total, se obtuvo una remoción de 60-80% y finalmente para los Coliformes fecales un total de 98% , demostrando la eficacia del método en el tratamiento de aguas residuales domesticas (Coila, 2013).

De la misma manera, en Colombia, realizaron un trabajo, utilizando la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), demostrando una reducción al 92 % con el DBO5, DQO, SST y SSV (Ramón, Leon, & Castillo, 2015). Esta eficiencia de remoción de la carga orgánica se debe a que el agua pasa a través de medios granulares (grava mediana y grava gruesa y piedras enteras de rio), sin embargo la lombriz es la encargada, de absorber y digerir en gran manera la materia orgánica depurando y dejando el agua sin sus principales contaminantes (Bash, 2015).

En el distrito de Chachapoyas de la Provincia de Chachapoyas, Departamento de Amazonas, las aguas residuales domésticas no son tratadas adecuadamente, en las ultimas supervisiones del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2016) mediante el informe N° 0459-2016-OEFA-DS-SEP indican que al ser un distrito pequeño no manejan los temas y componentes ambientales apropiadamente, sobre todo en los anexos y centros poblados, debido a que estas no tienen un sistema de alcantarillado, es por esto, que sus aguas residuales domésticas desembocan directamente al río Sonche efluente del río Utcubamba; asimismo se verificó que estas aguas residuales son utilizadas para el riego de vegetales y uso en la ganadería, exponiendo un peligro para la salud de la población y medio ambiente; motivo por el cual se requiere emplear una alternativa de tratamiento de aguas residuales mediante el lombrifiltro, debido a que es un método eficiente, fácil en su manejo y económico, apta para una población que es pequeña y las viviendas están lejanas una de

otra y de esa manera se pueda obtener el embellecimiento de las áreas verdes y a la par procuraría mostrar la realidad de fomentar la ecoeficiencia y el desarrollo sostenible de este recurso.

1.2. Justificación de la investigación

La problemática que afronta el distrito de Chachapoyas con sus aguas residuales se está convirtiendo, en un tema que necesita una atención inmediata; frente a esto, la aplicación del tratamiento mediante el método del lombrifiltro, en el aspecto ambiental, ayudará a mejorar y reaprovechar este recurso para beneficios de las áreas verdes mediante el riego, en el consumo para bebidas de animales, asimismo, se aprovechará el abono natural para mejorar la calidad del suelo los cuales son provenientes de las heces que las lombrices evacuan, además el método no genera malos olores al ser un tratamiento aeróbico, finalmente minimizar la contaminación en los cuerpos de agua y en los otros componentes ambientales (suelo, flora y fauna).

En el aspecto económico permitirá a los agricultores y personas naturales que mediante el uso de este preciado recurso tendrían ingresos económicos mediante la venta de sus vegetales y cuidado de sus ganados, 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) y en la salud este método se presentará como una alternativa viable para la disminución de enfermedades más comunes como las gastrointestinales y otros relacionados con la contaminación del agua en los seres humanos. (Kámiche, 2010).

De esta manera, el estudio busca incentivar a la población a tratar las aguas residuales domésticas utilizando el método del lombrifiltro, debido a que es una tecnología apta para

las poblaciones pequeñas y sobre todo en países en vía de desarrollo como Perú, y de esta manera permitirá tener un panorama detallado de la eficiencia que este sistema de tratamiento tiene frente las aguas residuales doméstica, mediante la remoción de los contaminantes.

1.3. Objetivo General

Determinar la eficiencia de tratamiento mediante el método del lombrifiltro, en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas del Distrito de Chachapoyas-Amazonas.

1.3.1. Objetivos Específicos

- Analizar los parámetros de caracterización de las aguas residuales domésticas del afluente del sistema (pre análisis).
- Diagnosticar la adaptación de las lombrices según especie en el lombrifiltro.
- Determinar los parámetros y diseños para la construcción del lombrifiltro.
- Comparar los parámetros del agua residual tratada por el método del lombrifiltro, según especie en estudio considerando la normativa vigente.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel mundial

Manyuchi, Kadzungura, & Boka (2017) 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.

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 (Jin, Li, & Li, 2016).

Asimismo, Cardoso, Ramírez, & Garzón (2013), 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.

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 es una tecnología económicamente viable, un proceso libre de patógenos y eficiente para el riego (Sudipti, Rajpal, Bhargava, & Kumar, 2013).

2.1.2. A nivel sudamericano

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 (Manrique & Piñeros, 2016).

Del mismo modo 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 (Ramón, Leon, & Castillo, 2015).

Vicente (2014) 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.

En Chile, Coila, (2013) realizó una investigación cualitativa que tuvo como objetivo describir el diseño, ventajas y desventajas del sistema de biofiltros 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.

2.1.3. A nivel nacional

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 (Rojas, Merino, Pacheco, & Taipe, 2016).

En la provincia de Cotabambas, 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 (Acuña & Reyes, 2015).

2.1.4. A nivel local

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 (OEFA, 2016).

2.2. 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).

De la misma manera el OEFA (2014) 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.

Según Perez & Camacho (2011) declaran que la modificación de las características de estas aguas resultan después de haber sido usadas en los hogares, industrias o actividades de producción, entre otras. Como resultado las AR conllevan altas cargas de materia orgánica, grasas, detergentes, residuos de la industria, además de productos agroindustriales y sustancias tóxicas.

Como consecuencia la mayor parte de las AR 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 (Ocola, 2005). “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)

“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 menciona Egocheaga y Moscoso (citado en Oakley & Salguero, 2011)”.

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 AR tratadas, 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 (Méndez & Muñoz, 2010)

2.3. Clasificación de las aguas residuales

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

2.3.1. 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 ARD según los productos usados de cada industria (OEFA, 2015).

Igualmente el organismo Alianza por el Agua (APA, 2015) menciona que estas aguas son las que proceden de cualquier taller o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua incluyéndose los líquidos residuales, aguas de proceso y aguas de refrigeración.

2.3.2. 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).

Además las ARD, corresponden aquellas que son propias de la vida del ser humano como la limpieza, preparación de alimentos y necesidades fisiológicas y son potencialmente peligrosas, por sus efectos sobre la salud humana y el medio ambiente (Oakley & Salguero, 2011).

2.3.3. Aguas residuales municipales

Son aquellas AR que resultan de la mezcla de aguas pluviales con aguas de origen 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

Asimismo la norma OS 090, (2006) lo describe como aquellas aguas utilizadas en las actividades diarias del ser humano como en el cocimiento de alimentos, aseo personal, lavanderías y productivas, que su fin son descargadas a los alcantarillados domiciliarios o directamente al entorno natural.

2.3.3.1. Aguas residuales hospitalarios

Son aguas cuyas características contienen en gran cantidad microorganismo y/o virus (Coliformes fecales y termotolerantes, bacterias, huevos, helmintos entre otros), incluyendo aquellas que han adquirido resistencia antibiótica, además de la presencia de solventes y metales pesados. Estas aguas componen una mezcla de sustancias complejas esto debido a las sustancias químicas y tóxicas usadas en los centros médicos cuyos componentes afecta en gran manera al ambiente (Ramos, 2008).

2.4. Composición de las Aguas residuales domésticas

Las aguas residuales, tienen una composición variada proveniente de las descargas de los usos domésticas, que hayan sufrido degradación en su calidad natural por el uso de compuestos (Figura 1).

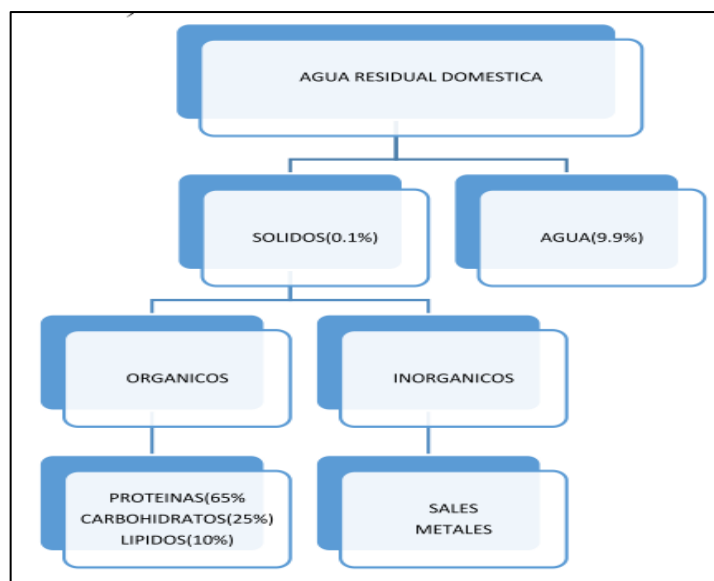


Figura 1. Composición del agua residual doméstica (Metcalf & Eddy, 2003)

2.4.1. Características

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

2.4.1.1. *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. La presencia de sólidos flotantes, capas de grasa en mezcla con aceite que indican residuos altamente contaminados y evidenciando la ineficiencia en el tratamiento en esta etapa (Metcalf & Eddy, 2003).

2.4.1.2. *Características químicas*

El agua residual tiene características químicas como las siguientes: Material orgánico; conocidos como sólidos provenientes de diferentes actividades productivas, esta materia orgánica generalmente está compuesta de Nitrógeno, Oxígeno y Carbono, también en algunos casos podemos encontrar Azufre, Fosforo, Hierro, entre otros metales originarios mayormente de las grandes minerías (Caicedo, 2017).

Asimismo, encontramos a uno de los parámetros primordiales como la demanda biológica de oxígeno (DBO) el cual indica la cantidad de materia orgánicas de origen biológico, la DQO y asimismo la presencia de químicos sintéticos y orgánicos de fácil degradación biológica en las aguas residuales. También se hallan sustancias inorgánicas en solución como el pH, nitrógeno, fósforo, azufre y compuestos tóxicos con altos valores y por último los gases como el oxígeno disuelto y metano, etc. (Moreno, 2009).

2.4.1.3. *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 el tracto

digestivo de los seres humanos entre ellas el más letal son los llamados E. Coli, podemos decir que cada persona evacua 105 millones de estas bacterias por día. El proceso que es estos organismos realizan inician desde la absorción de oxígeno como fuente de alimentación, y mediante las reacciones químicas resultan siendo medibles, esta cantidad de oxígeno utilizada es llamada DBO y DQO, además encontramos patógenos como: virus, protozoarios, hongos y algas patógenos y bacterias (Cubillos, 2000).

2.5. Problemática actual del agua residual domésticas en 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. En la Figura 2 muestra la generación de agua residual al día de una persona según región del Perú. En la Selva peruana una persona genera 136 L/hab/día, seguidamente en la Sierra con 144 L/hab/día y finalmente en la Costa con 145 L/hab/día, demostrando así que a medida que pase los años la población aumentará y por ende la generación de las aguas residuales crecerá desmedidamente (Figura 3).

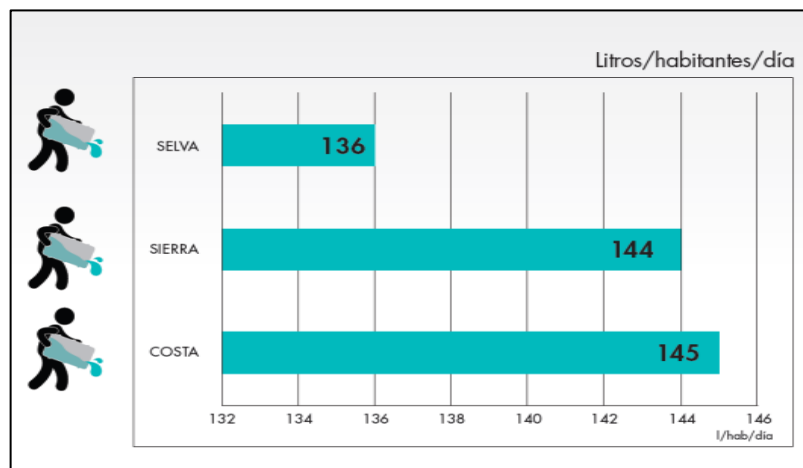


Figura 2. Generación per cápita de aguas residuales domésticas a nivel región (OEFA, 2014)

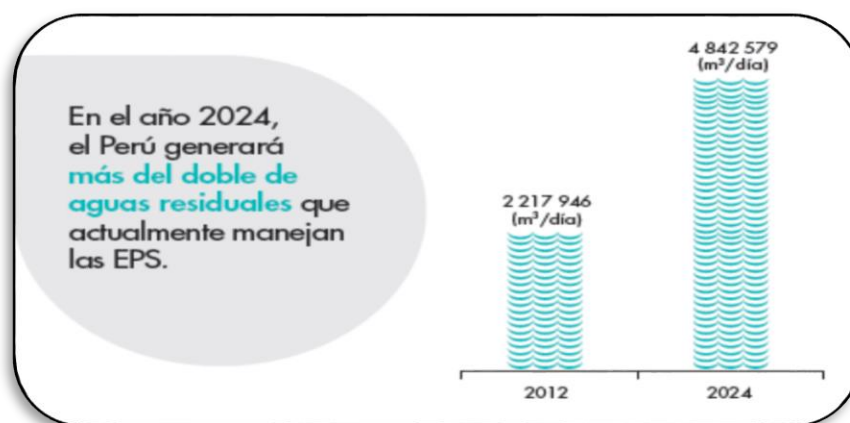


Figura 3. Generación de aguas residuales domésticas hasta el año 2024 (SUNASS, 2013)

Por otro lado la SUNASS, (2014) en su informe Benchmarking regulatorio de las EPS emitido muestra las claras evidencias de las deficiencias de las EPS de saneamiento las cuales se describe a continuación :

2.5.1. Déficit de cobertura por EPS de Saneamiento a nivel nacional

Del total de las EPS Saneamiento que brindan el servicio de alcantarillado, solo un 30,35% de la población en total son beneficiados. Como resultado la población que no es abastecida termina vertiendo directamente sus aguas residuales sin tratamiento a los cuerpos de agua, además del uso para el riego de vegetales y para bebidas de sus animales.

2.5.2. Inadecuado servicio de TAR de las EPS de Saneamiento

El aumento de las aguas residuales sobrecarga a las plantas de tratamiento cuya infraestructura termina siendo insuficiente, originando el aumento de los contaminantes en el efluente tratado excediendo lo límites máximos permisibles (LMP), a consecuencia estas no estén dentro de los estándares de calidad ambiental (ECA). Tal acción genera problemas ambientales como la contaminación de los ríos, mares, lagos y la generación de los conflictos socioambientales. Asimismo, la infiltración de las aguas residuales en el subsuelo modifica

las características originales de las aguas subterráneas, por lo que resulta convirtiéndose en focos infecciosos afectando la salud de las poblaciones aledañas, y todo el ecosistema que lo rodea.

2.6. Manejo de las aguas residuales

Según Perez & Camacho, (2011) indican que el manejo de las aguas residuales inicia con las EPS de saneamiento u otra 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. Estas últimas son emitidas o vertidas a la red de alcantarillado que son manejadas por las EPS Saneamiento u otras. Las que no llevan la dirección a la red de alcantarillado, por acciones propias de los humanos son arrojados a los cuerpos de agua naturales o muchos de ellos para el riego de cultivos o para bebidas de los animales (Figura 4).

Posteriormente en relación a lo mencionado por Perez & Camacho, (2011), Espigares & Pérez, (2010) señalan 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, en la agronomía o terminan siendo retornadas a los mismos cuerpos de agua.

Finalmente el OEFA, (2015) agrega un último paso para el manejo, donde mencionan que las aguas que no tienen conexión con la red de alcantarillado por ende no llegan a las PTAR por desconocimiento y falta de educación ambiental la población los vierte a los cuerpos de agua natural, o son empleadas inadecuadamente para el riego de cultivos, lo que representa un riesgo directo para la salud en general y a los ecosistemas.



Figura 4. Manejo de aguas residuales (OEFA, 2015)

2.7. Remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas

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), crea el fenómeno de eutrofización. Este se conceptualiza como el exceso de elementos nutritivos del agua, dando lugar a una serie de variaciones que no es adecuada, generando la aparición de algas, el deterioro de la calidad de agua, pero sobre todo elimina la vida acuática mediante la muerte de las diversas especies de peces y microorganismos presente en el recurso. El aumento de estos contaminantes se dan generalmente por las descargas que se generan en los hogares como desechos de alimentos, aceites y grasas, deposiciones, sin embargo en la actualidad las actividades industriales generan mayor impacto (Garcia, 2012).

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, Color, Olor, 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 termotolerantes y Coliformes totales.

Fuente: (Lecca, 2013)

2.8. Parámetros de control para la utilización de ARD 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 AR 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 (NO ₃ -N) +	mg/L		100	100
Nitritos (NO ₂ -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 AR 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 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 AR 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				
Aldrín	µg/L		0.004	0.07
Clordano	µg/L		0.006	7
Dicloro Difencil Tricloroetano (DDT)	µg/L		0.001	30
Dieldrín	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 AR 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	NMP/100	1000	2000	1000
Termotolerantes	m			
Escherichia coli	NMP/100	1000	**	**
	m			
Huevos de Helmintos	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”.

“Riego restringido; entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa)”

2.9. 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.

2.9.1. 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”.

2.9.2. La 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)

2.9.3. 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) .

2.9.4. Norma OS-090 PTAR

La norma OS-090 del Reglamento Nacional de Edificaciones aprobada mediante D.S. N° 011-2006-VIVIENDA y modificada por D.S. N° 022-2009-VIVIENDA; en el numeral 3.116, hace mención sobre el reúso de aguas residuales debidamente tratadas para un propósito específico sin afecta la salud humana y recurso (OS 090, 2006).

2.9.5. D.S 002-2008-MINAM: Aprueban los ECA para Agua

El objetivo principal es “establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente” (MINAM, 2008)

2.9.6. 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).

2.9.7. D.S 004-2017-MINAM: Modifican los ECA para Agua

Norma vigente en la actualidad que tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, modificando y eliminando algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, además que incluye la frase de riego restringido y no restringido.

2.10. Tipos de tratamientos de aguas residuales domésticas

2.10.1. 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 rejas.

2.10.1.1. Tamizado

Son mallas, de diferentes tamaños por donde pasa el agua y atrapa los materiales de tamaños regulares, que según su proceso caen por si solos y de esta manera evita la aglomeración de los materiales, su mantenimiento es muy fácil por su autolimpieza. Este equipo es económico y su mantenimiento es mínimo (Metcalf & Eddy, 2003) .

2.10.1.2. Rejas

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). Su mantenimiento puede ser manual o mecánico (Metcalf & Eddy, 2003).



Figura 5. Cribas o cámara de rejas (Caicedo, 2017)

2.10.1.3. 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). Los desarenadores en su diseño estos pueden ser de forma rectangular o circular y de varios flujos. (Metcalf & Eddy, 2003).



Figura 6. Desarenadores (Metcalf & Eddy, 2003).

2.10.2. Tratamiento primario

2.10.2.1. 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, que pueden ser naturales o químicos según nuevos estudios por medios físicos, etc. 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 (Metcalf & Eddy, 2003).

2.10.2.2. 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 (Metcalf & Eddy, 2003).

2.10.3. Tratamiento secundario

Este tratamiento se realiza para estabilizar la materia orgánica que no fue eliminada anteriormente en los otros procesos del agua a tratar. Este proceso utiliza reacciones asociadas al organismo vivos, los microorganismos crecen utilizando los contaminantes del agua como fuente de carbono y energía, convirtiéndolos en nuevos microorganismos, dióxido de carbono y otros compuestos inocuos (Collazos, 2008). A continuación, se describen algunas tecnologías utilizadas para el tratamiento secundario:

2.10.3.1. *Filtros percoladores*

Según Pérez & Camacho (2011) indican que el proceso de filtración mediante percoladores puede definirse como un sistema de lechos filtrantes, compuesto en su mayoría de materiales sintéticos o piedras de diversas formas, sobre el cual las aguas residuales ingresan de manera continua o intermitente por medio de brazos distribuidores fijos o móviles que mediante la aspersion del agua residual en toda la capa resulta una agua tratada para el uso de riego (Figura 7).

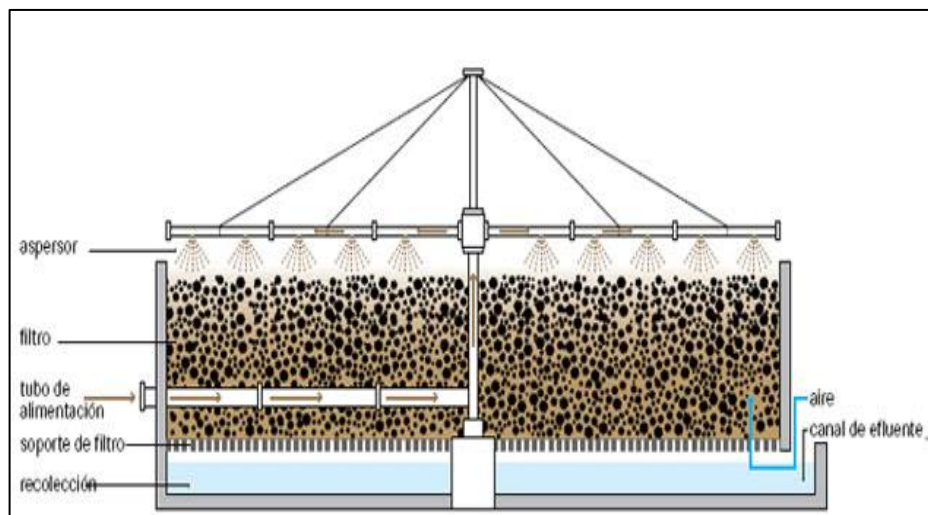


Figura 7. Proceso de los filtros percoladores (Pérez 2010)

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	Son las encargadas de degradar la materia orgánica del agua residual.
Nitrosomonas y Nitrobacter	Se encargan de la nitrificación
Fusarium, Mucor, Penicillium, Geotrichu y Sporatichem	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
Phormidium, Chlorella y Ulothrix	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.
Vorticella, Opercularia y Epistylis	Controlan el crecimiento bacteriano, predominando el grupo de los ciliados.

Fuente: Pérez & Camacho (2011)

Finalmente, los filtros incluyen un drenaje inferior para la recolección del agua tratada y los lodos que se haya separado del medio que se usaran para otro fin. El agua tratada ingresa a un tanque de sedimentación, en el que se separan los sólidos del agua residual (Metcalf & Eddy, 2003). La eficiencia promedio que presenta este método es de 66% frente a los parámetros de DBO, SST, nitrógeno, fosforo y Coliformes totales (Tabla 7).

Tabla 7. *Eficiencia de remoción de los filtros percoladores*

Parámetro	Unidad	Eficiencia
DBO	mg/L	85%
Solidos totales	mg/L	85%
Nitrógeno	mg/L	50%
Fosforo	mg/L	12%
Coliformes totales	NMP/100 mL	97%
Promedio de remoción	-----	66%

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2003)

2.10.3.2. Biodiscos

Deloya (2013) indica que el método esta constituido por un conjunto de discos de material plástico que esta entre 2 a 4 m de diámetro aproximadamente según sea el caudal a tratar, ya que estas cumplen un objetivo realizar la fijación bacteriana. La ubicación de los

discos se da a corta distancia y se mantienen paralelos gracias a un eje central (Figura 8).

Cuando los Biodiscos se sumergen en el agua a tratar, comienza la creación de una especie de biomasa, formados por los microorganismos, además de la presencia de otros tipos de microorganismos, este se va exponiendo al aire a medida que el disco va girando, entre sumergirse y saliendo a la superficie teniendo un contacto con la materia orgánica; creando periodos de exposición al aire, e inmersión en el agua. Todo el proceso forma una especie de biopelícula del agua a tratar, estas son encargadas de la alta eficacia de depuración en tiempos hidráulicos del sistema (Metcalf & Eddy, 2003).

Según (Deloya, 2013) la eficiencia promedio que muestra este sistema es de 62 % frente a los parámetros de DBO, SST, nitrógeno y fósforos (Tabla 8).

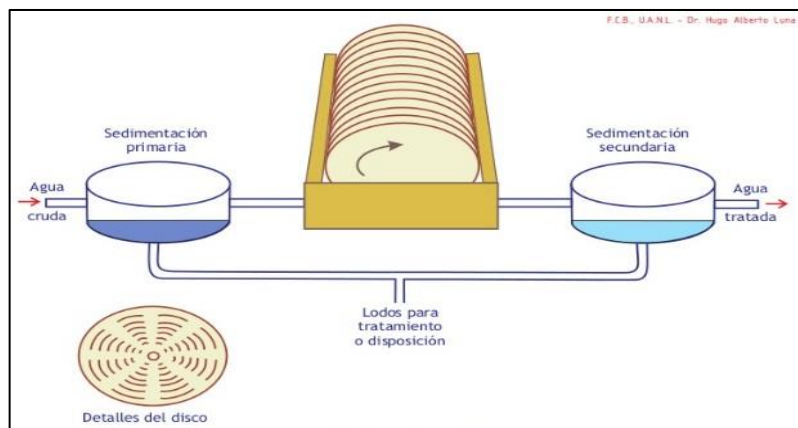


Figura 8. Proceso de los Biodiscos (Metcalf & Eddy 2003).

Tabla 8. Eficiencia de remoción de los Biodiscos

Parámetro	Unidad	Eficiencia
DBO	Mg/l	85%
Nitrógeno	Mg/l	50%
Fosforo	Mg/l	25%
Solidos totales	Mg/l	85%
Coliformes fecales	NMP/100 ml	95%
Promedio de remoción	-----	62%

Fuente: (Deloya, 2013)

2.10.3.3. *Lodos activados*

Según Méndez, Miyashiro, Rojas, Cotrato, y Carrasco (2004) el sistema consiste en tres etapas: sedimentación primaria, tanque de aireación y sedimentación secundaria (Figura 9). 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. Que finalmente crean licor mezclado este por la unión de los lodos y el agua residual.

El siguiente proceso se da cuando el licor mezclado ingresa a un estanque de aireación hacia un decantador secundario, donde se realiza la separación sólido-líquido y los lodos activados sedimentan para obtener un efluente clarificado. Una parte de los lodos se retornan al estanque de aireación para mantener una adecuada población de microorganismos en relación a la carga orgánica que ingresa al reactor (Metcalf & Eddy, 2003).

De esta manera la eficiencia promedio que muestra el sistema según (Metcalf & Eddy, 2003) es de 83 % ante los parámetros de DBO, SST, nitrógeno y fosforo (Tabla 9).

Tabla 9. *Eficiencia de remoción de lodos activados*

Parámetro	Unidad	Eficiencia
DBO	Mg/l	95%
Nitrógeno	Mg/l	75%
Fosforo	Mg/l	65%
Solidos totales	Mg/l	95%
Coliformes fecales	NMP/100ml	95%
Promedio de remoción	-----	83%

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2003).

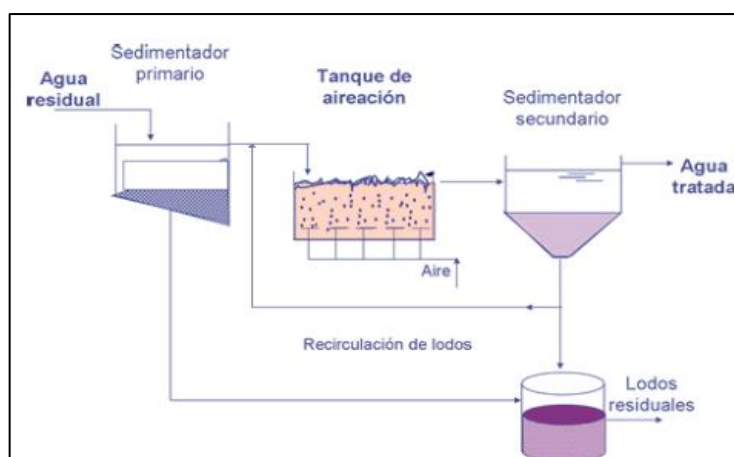


Figura 9. Proceso de lodos activados (Metcalf & Eddy 2003)

2.10.4. Tratamientos naturales o sistemas biológicos no convencionales

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, sin embargo necesitan mayor áreas de terreno para un adecuado tratamiento (Salas, Pidre, & Cuenca, 2013). En este tipo de tratamiento encontramos a lagunas de estabilización, humedales artificiales y Lombrifiltros.

2.10.4.1. Lagunas de estabilización facultativas

Las lagunas de estabilización facultativas son estanques construidas bajo tierra que sus dimensiones varían entre 1,2 y 2,4 metros de profundidad como máximo, donde las aguas residuales ingresan y son tratados por un tiempo determinado (mayor a 20 días). Los contaminantes presentes en el agua o materia orgánica es degradada naturalmente mediante el trabajo de las bacterias facultativas, aerobias y anaerobias además del medio algal como se presenta en la figura 10 (Bowman, Gloyna, Middlebrooks, & Pearson, 2002).

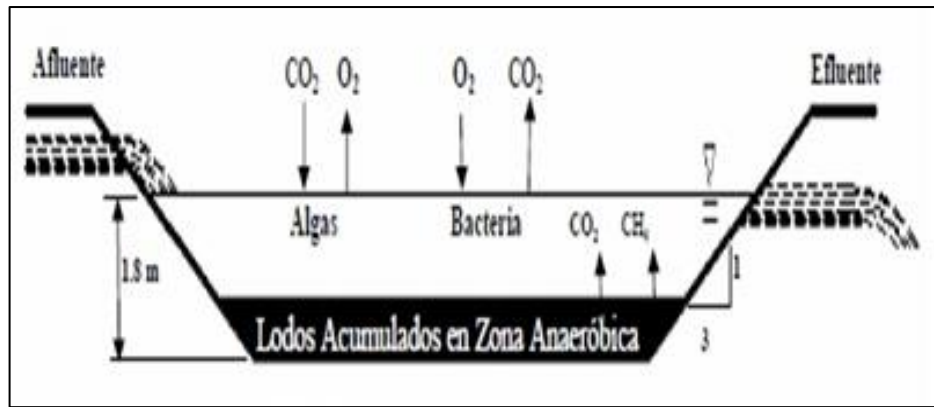


Figura 10. Proceso de la laguna de estabilización Facultativa (Bowman et al., 2002).

La capa superficial de agua realiza oxigenación al agua residual esto por el contacto atmosférico directo, lo que hace que existan microorganismos aeróbicos. La capa inferior esta para los sólidos que se crean en el proceso de sedimentación, sin embargo, se desarrolla la descomposición del material biológico gracias a la acción de bacterias anaeróbicas (fermentación anaeróbica). En la parte central del sistema es una mezcla entre aerobia y anaeróbica, llevando a cabo la descomposición de los residuos orgánicos a cargo de las bacterias facultativas y el medio algal (Mara, 2003).

Cuando se realiza un adecuado diseño y operación de las lagunas hay un alto porcentaje en la remoción de virus, bacteria, especialmente huevos de helmintos a diferencia de los otros sistemas que no eliminan estos patógenos, la remoción de estas bacterias indica la clarificación completa del agua, además que su uso no afectaría en la salud humana (Tabla 10). Esta sistema es el único proceso secundario, que produce efluentes de buena calidad (Oakley, 2005).

Tabla 10. *Eficiencia de remoción de Patógenos y Parámetros Convencionales de varios procesos*

Procesos	Remoción%		Remoción, ciclos* log 10 4			
	DBO5	SST	Virus	Bact	huevos de helmintos	quistes de protozoarios
Lodos activados	95	95	2	2	1	2
Filtros percoladores	95	90	2	2	1	2
Desinfección con cloro	4	6	1	3
Lagunas de estabilización	95	95 ³	4	6	4	4

*1 ciclo log10 = 90% remoción; 2 ciclos = 99%; 3 ciclos = 99.9%; y otros.

Fuente: Mara (2003)

Según Mara, (2003) la eficiencia promedio de remoción para los parámetros más importantes de este método es de 94% (Tabla 11).

Tabla 11. *Eficiencia de remoción de las lagunas de estabilización facultativa*

Parámetro	Unidad	Eficiencia
DBO	Mg/l	95%
Solidos totales	Mg/l	95%
Nitrógeno	Mg/l	90%
Fosforo	Mg/l	90%
Coliformes totales	NMP/100ml	99%
Promedio de remoción	-----	94%

Fuente: Mara (2003)

2.10.4.2. *Humedales artificiales o construidos*

Para un correcto tratamiento la profundidad adecuada debe ser menor a 60 cm, adicionalmente tiene unos 15 cm de borde libre para la acumulación del agua; con el fin de mantener especies de plantas predominantes, que van acompañadas, de un lecho rocoso (gravas y arena), con una vegetación emergente como, las planta más comunes que se utilizan en el tratamiento son: carrizos, juncos y espadañas esto porque aprovechan las interacciones con los microorganismos y la atmosfera para remover la materia orgánica (Madera, Silva, & Peña, 2005) (Figura 11).

Las macrófitas emergentes cumplen funciones como: airear el sistema radicular y facilitar oxígeno a los microorganismos que viven en la rizósfera; además son los principales degradadores en la absorción de nutrientes (nitrógeno y fósforo); la eliminación de contaminantes se da directamente en sus tejidos y la filtración de los sólidos a través del entramado que forma su sistema radicular (Nuñez, 2016).

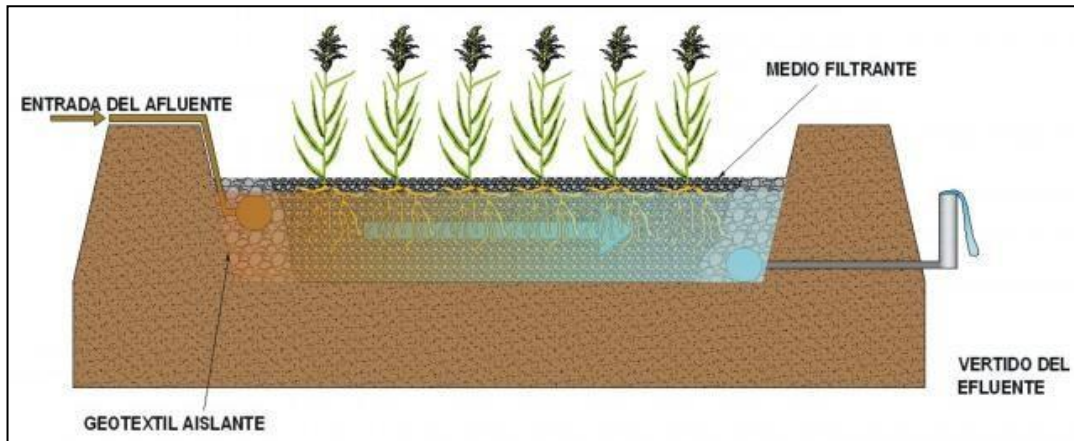


Figura 11. Humedales artificiales (Nuñez, 2016)

2.10.4.3. Método del lombrifiltro

2.10.4.3.1. Historia del Lombrifiltro

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 Cexas, 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 (Coila, 2013).

2.10.4.3.2. Lombrifiltro

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 12), 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 13 (Sinha, Bharambe, & Chaudhari, 2008).



Figura 12. Lombriz roja californiana extraída <https://goo.gl/fJBQd4>

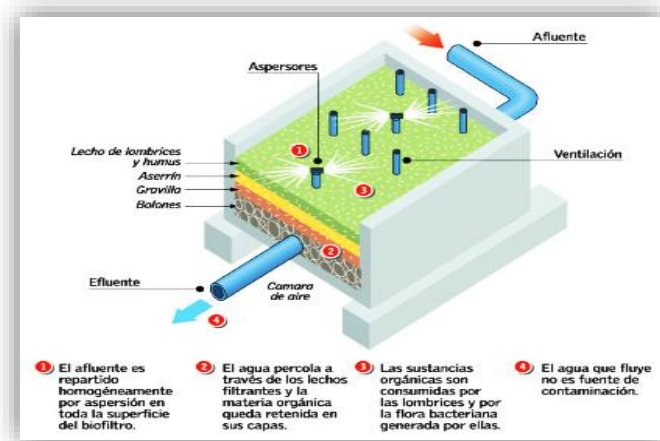


Figura 13. Modelo del lombrifiltro en corte esquemático (Sinha et al., 2008).

2.10.4.3.3. Descripción de las capas del lombrifiltro

Según Jimenez, (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.

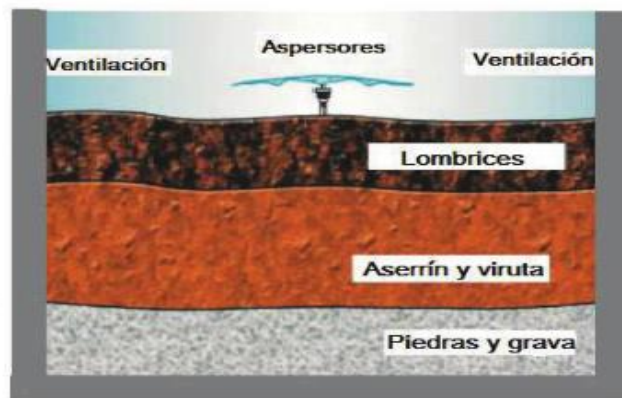


Figura 14. Capas del lombrifiltro (Jimenez, 2016).

La primera capa está compuesta de aserrín o viruta (residuos de madera) en mezcla con las lombrices, cuyo espesor recomendable para un eficiente resultado es de 25 cm de altura según sea el caudal y cantidad de agua a tratar. 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 del tipo antracita ya que esta facilita la creación rápida de biopelícula (ecosistema microbiano organizado, conformado por uno o varios microorganismos) que se responsabiliza mediante su consumo a la materia orgánica del agua que no fue tratada en primera estancia. 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 (Ramón et al., 2015).

En la parte inferior del sistema, mayormente consiste en una losa de concreto con cierta pendiente (aproximadamente de un 1%) o el uso de otro tipo de materia, esto para que fluya el agua hacia un estanque o vertida directamente a un cuerpo de agua. 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 15) del lecho filtrante para la correcta aireación del tratamiento (Tapia & Baraña, 2004)



Figura 15. Aplicación de las tuberías para la aeración (Tapia & Baraña, 2004)

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

a) Proceso de remoción físico mediante el método del lombrifiltro.

Según Garkal et al.(2015) mencionan que el proceso de degradación de la materia orgánica o de los contaminantes sólidos, inicia cuando el agua residual es impulsado y rociada en la superficie del lombrifiltro, compuesto por las distintas capas ya descritas anteriormente, sin embargo el trabajo depurable se encuentra en la parte superior del biofiltro donde se encuentra un alto número de lombrices y microorganismos. El agua residual escurre por el medio filtrante quedando retenida la materia orgánica, si bien para que las lombrices hagan un buen trabajo en la degradación de los contaminantes del agua residual,

es necesario que el estrato esté con los parámetros adecuados resistibles para las lombrices, como son el pH, temperatura y humedad a las que están expuestas si estos parámetros tienen valores muy bajo o extremos pueden causar la muerte de las lombrices.

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 (Fernandez & Sanchez, 2016). 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. (Parra & Chiang, 2013).

Asi tambien el medio filtrante cumple una labor muy importante al igual que las lombrices, desde la antracita que puede ser una opcion 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”. La comunidad biológica que se encuentra dentro del filtro, 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 que son de gran ayuda para la degradación y remoción de la turbidez al igual que las lombrices (Oliveira, Alves, Campos, Ferreira, & Soares Costa, 2013)

Asimismo las lombrices se encargan de los sólidos suspendidos siendo consumida, creando un proceso de oxidación y transformándolas en anhídrido carbónico y agua, y la otra parte se constituye en masa corporal de las lombrices y la otra es eliminada por las deyecciones; estas últimas constituyen el llamado humus de lombriz (Quinchel, 2015).

b) Proceso de remoción químico mediante el Lombrifiltro

La forma más comúnmente empleada para la eliminación del nitrógeno se basa en un doble proceso biológico de nitrificación y desnitrificación. 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 (Envitech, 2015).

El material filtrante de las capas de lombrifiltro 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).

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 por la ingestión de materia orgánica disponible en el agua residual así como indirectamente a través de la producción del derivado del cal para ser precisos, sirve para reducción del nitrógeno amoniacal del agua residual, ya que oxigena el agua, facilitando el trabajo de las bacterias presentes encargadas de la reducción del nitrógeno en los diferentes tratamientos (Wang & Luo, 2016).

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, frente a ello las lombrices al ingerir la materia orgánica y excretar estas producen diminutas cantidades de cal, regulando el pH de manera significativa en el agua residual.

Asimismo la inclusión del aserrín también es útil para disminuir el nitrógeno en todas sus variedades en las aguas residuales, ya que actúa como un bioadsorbente; es importante mencionar que las lombrices al interactuarse con el aserrín ambos terminan actuando en la reducción del nitrógeno ya que principalmente el aserrín es la alimentación directa de las lombrices y estas terminan disminuyendo en cantidades relevante al nitrógeno orgánico, siendo como un soporte en el tratamiento de aguas residuales mediante Lombrifiltros u otros tratamientos (Zhao et al., 2012).

c) Proceso de remoción biológica mediante el Lombrifiltro

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, esto debido a la presencia de bacterias filamentosas como *Sphaerotilus Natans* y *Beggiatao* 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 (Coronel, 2015).

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 (Rumi, Schuldt, & Gutierrez, 2005). La posible razón para la reducción de patógenos en el lombrifiltro puede atribuirse a diversas acciones de las lombrices tales como la acción enzimática intestinal, secreción de los fluidos del celoma que tienen propiedades antibacterianas, y el pastoreo selectivo (Sudipti et al., 2013).

Asimismo, 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. La comunidad biológica que se encuentra dentro del filtro, pertenece principalmente al reino protista, donde se encuentran: bacterias aeróbicas y facultativas para el caso del lombrifiltro. 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. (Oliveira et al., 2013).

2.10.4.3.5. *Ventajas y desventajas*

a) Ventajas del sistema

Según Salazar, (2005) señala que no produce lodos; degrada los sólidos orgánicos del efluente de cualquier naturaleza orgánica. No necesita procesos de eliminación de sólidos orgánicos como tratamiento previo; para una mejor eficiencia sólo es necesita una cámara de rejillas para retener sólidos inorgánicos de mayor tamaño, que pueden llegar a tapar las cañerías o los sistemas de riego de los filtros, asimismo no genera olores, por ser un proceso aerobio, además que las lombrices no generan ningún tipo de proliferación.

Asimismo 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. Todo material sólido orgánicos presentes en el agua residual, son digeridos por las lombrices.

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), lo que redundando en muy poco consumo de energía (D. Garkal et al., 2015).

También 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. Para evitar la acumulación del humus cada cierto tiempo, pueden extraerse los excesos de humus para un uso adecuado en el suelo como abono agrícola (Momo, Falco, & Craig, 2003).

De la misma manera Pérez, (2010) muestra la ventaja sobre la operación y mantenimiento y su costo, en su investigación hizo comparaciones con otros sistemas indicando que los sistemas de remoción de nutrientes, innovadores y convencionales son los más complejos y además de ser costosos, sin embargo el sistema no convencional es todo lo contrario, sus operaciones y mantenimiento son más sencillos y requiere de costos mínimos (Tabla 12).

Tabla 12. *Resultados comparativos de costos, operaciones y mantenimiento en los sistemas biológicos*

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

Fuente: Pérez (2010)

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 (Schuldt, Christiansen, Scatturice, & Mayo, 2007).

b) 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.

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 (Xing, Li, & Yang, 2010).

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 cambio bruscos.

2.10.4.3.6. 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.

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 (Martinez, 2012).

2.10.4.3.7. Operación y Mantenimiento del lombrifiltro.

Para el correcto funcionamiento del sistema de tratamiento de lombrifiltro, (Salazar, 2005) señala que 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, esta acción es recomendable realizarlo una vez por semana dependiendo la cantidad de agua a tratar, pero en caso de ser necesario debe incrementarse la frecuencia para un mejor tratamiento.

Asimismo, 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. Este estado de saturación permanente es logrado a través de la descarga, a tasas controladas, de aguas residuales (Pérez, 2010).

Finalmente para una correcta operación es necesario también desmalezar el lecho al detectarse el crecimiento de algún tipo de plantas además la limpieza periódica de los aspersores para garantizar la uniformidad de riego en la superficie (Madera et al., 2005).

2.10.4.3.8. Eficiencia del método del lombrifiltro

Según Guzmán, (2004) señala que “la eficiencia del lombrifiltro ha sido determinada en base a estudios de las experiencias de su aplicación llegando a determinarse que para aguas residuales el sistema permite el tratamiento de 1000 litros por metro cuadrado por día. Es decir, se necesita 1m² efectivo de lombrifiltro para tratar 1 m³ de aguas servidas”.

Hernandez, (2005), corrobora lo anteriormente descrito al señalar que “se sugiere 1 m² efectivo de lombrifiltro para tratar 1 m³ (1000 L) de aguas servidas diarias” añade que para tratar 1m³ de aguas residuales se requerirá mayor superficie, debido a los parámetros contaminantes que posee”. Según Lay-Son (2002) , citado por Arango, (2003), destacan que “el dimensionamiento del lombrifiltro va a depender del propósito para el cual fue diseñado”.

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 13).

Tabla 13. Eficiencia del lombrifiltro

Parámetro	Unidad	Eficiencia
DBO	mg/l	93%
Sólidos Totales	mg/l	99%
Nitrógeno	mg/l	80%
Coliformes fecales	NMP/100 ml	99%
Fosforo	mg/l	80%

Fuente: Gupta (2015)

Por otro lado 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 14), 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 14. *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).

2.10.4.3.9. *Eficiencia en remoción de organismos patógenos por el lombrifiltro*

Estudios realizados en el Centro de Estudios Peruanos de Ingeniería Sanitaria (CEPIS) mencionan que la eficiencia de remoción de patógenos a través de diferentes métodos de tratamiento de aguas residuales son: los biofiltros o lombrifiltros ocupan una eficiencia de 0-2 para bacterias y helmintos; y de 0-1 para virus y quistes, en una escala logarítmica de 0-4 como se observa en la Tabla 15 (Saénz, 2012).

Tabla 15. *Eliminación de microorganismos en varios sistemas de empleo de aguas residuales*

Proceso de Tratamiento	Eliminación (unidades logarítmicas ₁₀)			
	Bacterias	Helmintos	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)

2.11. **Importancia de las Lombrices**

De los organismos del suelo, las lombrices son los más conocidos y a manudos 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 (Fragoso & Brown, 2011).

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 (A. Moreno & Borges, 2004).

De la misma manera 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.

Las lombrices son los seres vivos considerada las especies de mayor cantidad en la vida terrestre, al ser abundantes pueden procesar y alimentarse a través de sus cuerpos hasta 250 toneladas del suelo al año por hectárea. Influyendo de forma muy significativa en la mejora de las características físicas, químicas y biológicas del suelo, así como en la modificación de la estructura del suelo, además son los principales degradadores de la materia orgánica y del reciclado de nutrientes, que tiene a su vez impactos muy favorables sobre la población vegetales que viven por encima de la superficie del suelo (Vargas, 2000).

2.11.1. Descripción de la Lombriz de tierra (*Lumbricus terrestris*)

Las lombrices de tierra con nombre científico *Lumbricus terrestris* son gusanos segmentados celomados de hábitos fundamentalmente terrestres, comunes en suelos

húmedos y cuyo tamaño varía desde 1 cm de largo y 2 mm de grosor, y llegan de adultos a medir hasta más de 1 m de largo y 3 cm de grosor. Todas las lombrices de tierra son hermafroditas y aunque predomina la reproducción sexual cruzada, algunas especies son partenogénicas (Fragoso & Rojas, 2014).

Asimismo Selles et al. (2006) los describe como animales cuyo cuerpo esta extremadamente dividido en anillos o segmentos y por surcos intersegmentables que coinciden con la posición de los septos o tabiques que dividen el cuerpo (Figura 16).

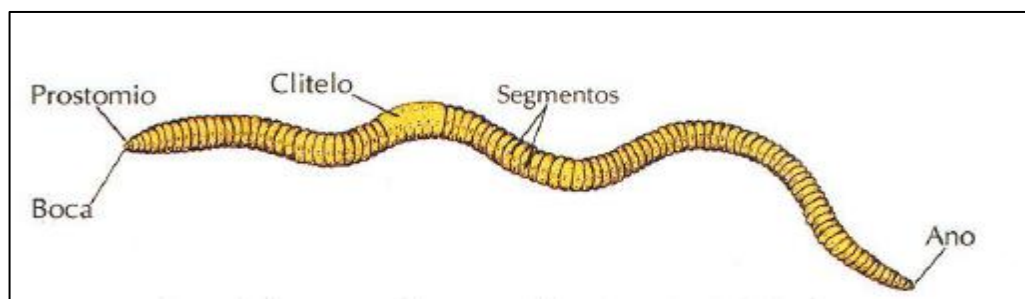


Figura 16. Representación esquemática de una lombriz de tierra (Domínguez, Aira, & Gómez-Brandon, 2009).

Las lombrices de tierra son organismos saprófitos o consumidoras de organismos muertos cuya alimentación se basa en los restos orgánicos del suelo (hojas muertas, vegetales en descomposición, heces y animales muertos, etc.). Su fecundación es cruzada, debido a que el proceso reproductivo se efectúa entre dos individuos con intercambio de espermios (Gonzalez, 2011).

Estos organismos constituyen la mayor proporción de la biomasa de la fauna que habita en los suelos; y las poblaciones pueden variar desde menos 10 individuos por metro cuadrado hasta más de 2000 individuos por metro cuadrado, en términos de biomasa significa variaciones de 1-2 g/m² hasta de 300 g/m². (Domínguez et al., 2009).

La especie *Lumbricus terrestris* tiene una vida media de unos cuatro años. Durante el tiempo frío queda aletargada, reiniciando su actividad cuando llega la estación templada. Es poco prolífica. Deposita sus deyecciones sobre la superficie del terreno, con lo cual una parte de ellas puede ser dispersada por el viento y por el agua de lluvia o de riego. La lombriz de tierra no es apta para explotarla en cautividad. Su rendimiento en humus y en carne de lombriz es muy escaso, debido a su poca prolificidad (Figura 17). Además requiere unas instalaciones muy costosas, pues este animal tiene una tendencia natural a abandonar el lugar en donde inicialmente ha sido instalado (Fuentes, 2010).



Figura 17. Lombriz de tierra (*Lumbricus. terrestris*) empleada en el T1

2.11.1.1. Clasificación de las lombrices de tierra

Según Momo, Falco, & Craig, (2003) mencionan que los científicos distinguen tres clases de lombrices según el lugar que ocupan en el suelo y su tipo de alimentación que son las epigeas, endógeas y anécicas.

a) Son especies que se alimentan de la materia orgánica de la superficie estos como los humus y hojarasca, así también son consideradas especies pequeñas, bien coloreadas, que apenas se entierran y están en contacto constante con la superficie terrestre, estas especies son las llamadas **lombrices epigeas**, estas no frecuentan los campos de cultivo por la falta de humus.

De la misma forma Fragoso, (2001) señala que viven permanentemente asociadas a acumulaciones de materia orgánica que se encuentran a la intemperie del suelo , lo que las expone a situaciones permanentes del clima y depredadores; por ello han tenido que desarrollar una serie de adaptaciones morfológicas y fisiológicas para asegurar su supervivencia: las coloraciones es normalmente roja, roja vinosa rosada, movilidad permanente y alta tasa de fertilidad para asegurar su descendencia (Figura 20).

b) Las **lombrices endógeas** son las que viven en profundidades del suelo donde se alimentan de la materia orgánica asociada al propio suelo, y son de tamaño medio. Sus principales características se basan en la construcción de sistemas de galerías horizontales muy ramificadas o túneles, que lo colmatan con sus propias deyecciones mientras se mueven por el suelo. A diferencia de las lombrices epigeas, las especies endógeas no se reproducen rápidamente, torna un tiempo bastante lento para su reproducción, sin embargo su ciclos de vida más largos, además son más resistentes a periodos de latencia de alimento y a pigmentación de sus cuerpos no son coloridas (Bourrut, 2015) (Figura 18).

Por otro lado Gonzalez (2011), indican que sus alimentaciones consta de raíces muertas, o materia orgánica de residuos enterrados por las anécicas o materiales transportados por el agua de lluvia. Asimismo, estas lombrices son menos sensibles a factores climáticos externos y menos expuestos a depredadores.

c) Las características morfológicas de las **lombrices anécicas** son: tienen mayor tamaño y son las que más existen de su especie, viven de forma más o menos permanente en galerías verticales a diferencia de las endógeas, brindando una ventaja sobre el hecho de que pueden extenderse varios metros hacia el interior del perfil del suelo. Por las noches salen a la superficie para alimentarse de materia orgánica en descomposición, hojarasca y heces que terminan transportándolo al fondo de sus galerías; asimismo depositan sus excrementos en

la superficie en forma de turrículos. Sus tasas reproductivas son relativamente bajas (Bourrut, 2015).

De la misma manera estas lombrices son de coloración café rojizo, pardo o negruzco; construyen galerías verticales, las que en casos pueden llegar hasta más de un metro de profundidad (Figura 19). Cumplen una actividad importante en el mejoramiento de las propiedades físicas de los suelos, las galerías favorecen el proceso el proceso de aireación e infiltración del agua, además mejoran e incrementan los contenidos de la materia orgánica en los estratos más profundos del suelo (Montserrat, 2004).



Figura 18. Lombriz endógeas (Bourrut, 2015) Figura 19. Anécicas (Bourrut, 2015)



Figura 20. Lombriz epigeas (Bourrut, 2015)

A continuación, se muestra el resumen de las características de las tres categorías ecológicas de lombrices (Tabla 16).

Tabla 16. *Comparación de los tipos de lombrices de tierra*

Categoría Ecológicas			
Características	Epígeas	Anécicas	Endógeas
Localización	Sobre el suelo.	Intemperie del suelo y salidas nocturnas en la superficie	Permanencia en el suelo
Tamaño	Pequeño : 4–10 cm	Grande : 15–25 cm	Medio : 10-20cm
Color	Rojo oscuro	Marrón, algunos rosados	Color, rosa, poco uniforme
Reproducción	alta	Intermedio	Bajo
Alimentación	Materia orgánica	Materia orgánica y orgánico mineral	Materia mineral
Actividad mecánica	Débil	Intensa : incluso sus heces son vistas a la superficie del suelo	Intensa
Interés económico	Máximo	Máximo	Importante

Fuente: Traducida y adaptada de (Blouin, Sery, Cluzeau, Brun, & Bédécarrats, 2013)

2.11.1.2. Sistema digestivo

El conducto digestivo es un tubo recto que consiste en orden de; boca, esófago, buche, molleja, intestino y finalmente el ano. A los lados del esófago tiene tres pares de glándulas calcáreas Gordon (citado en Alanis, 2003).

“La boca es una pequeña cavidad que se une con la faringe y en ella se lubrica el alimento que pasa posteriormente al esófago en el cual se encuentran las glándulas calcáreas, cuya función es excretar carbonato cálcico para neutralizar los ácidos orgánicos presentes en el alimento” Primavesi (citado en Alanis, 2003).

2.11.1.3. Sistema circulatorio

“Las lombrices tienen un sistema circulatorio cerrado, constituido por dos grandes vasos sanguíneos uno dorsal y el otro ventral; además, de cinco vasos principales a lo largo del cuerpo y cinco pares de corazones, uno en cada uno de los somitos. La sangre de las lombrices está compuesta por un plasma líquido de color rojo, debido a la presencia de hemoglobina. La función de la sangre es absorber las sustancias alimenticias de los intestinos, liberar residuos solubles en los riñones, transportar el oxígeno y liberar gas carbónico a través de la piel”; Martínez (citado en Alanis, 2003).

2.11.1.4. Sistema respiratorio

Respira a través de la cutícula húmeda que cubre toda su superficie. Los vasos capilares de la pared del cuerpo toman el oxígeno y liberan al CO₂ Gordon (citado por Alanis, 2003).

2.11.1.5. Sistema excretor

“Este sistema lo componen dos pares de nefridios que se encuentran en los somitos, excepto en los tres primeros y en el último. Se inicia con una especie de embudo llamado nefrostoma y termina con el nefridioporo, estructura que descarga los desechos en el exterior. Los productos a excretar se forman en la sangre y en la pared del cuerpo y tubo digestivo, y ambos entran en la sangre y en el líquido celómico. El nefrostoma es ciliado y el movimiento de los cilios permite la liberación del líquido celómico”; Martínez (citado por Alanis, 2003).

2.11.1.6. Sistemas nervioso y sensorial

“Está formado por un cerebro, que a su vez lo integran dos ganglios suprafaríngeos,

en cada somito se presenta un ganglio que se origina a partir del cordón nervioso ventral, del cual emergen tres pares de nervios laterales, que se conectan con las fibras sensitivas y las fibras motora”s Martínez (citado por Alanis, 2003).

2.11.1.7. Sistema locomotor

“En cada segmento se ubica un sistema hidráulico cerrado; el celoma que actúa como un esqueleto hidrostático, gracias al líquido celómico. En la parte ventral del celoma se localizan los músculos circulares y los longitudinales, la contracción del músculo circular alarga el cuerpo y la del músculo longitudinal, lo acorta. La lombriz se mueve hacia delante o hacia atrás sin dificultad alguna, las quetas le permite adherirse a la superficie sobre la que se desplaza” Martínez (citado por Alanis, 2003).

2.11.2. 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 del 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 21. Eisenia foetida empleada en el T2

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 diferencian 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 hasta 250). Cada somito está compuesto de quetas o cerdas (como pelitos), que sirven principalmente para transportarse dentro del suelo; dichas estructuras se forman en los pliegues de la piel, y es una de las características externas más notorias e importantes para la clasificación taxonómica.
- Cuando llega a hacer adultos tienden a pesar entre 1 g y 1,4 g, come diariamente casi lo mismo que su peso y excreta un 60% de lo que come en forma de abono.
- Tienen una función digestiva de mucus que sirve para humedecer y ablandar previamente el alimento; como cualquier otro ser vivo tiene una boca, una faringe y luego un buche que funciona como un órgano de almacenamiento temporal. Además, en sus glándulas calcáreas secretan calcio haciéndoles que su uso en suelo 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%. Habita en los primeros 50 cm del suelo prefieren el contacto con la superficie terrestre.

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 (Martinez, 2012) (Tabla 17).

Tabla 17. *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 oscuro
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: Martinez (2012)

2.11.2.1. Ciclo de vida de la lombriz *Eisenia foetida*

Las lombrices son hermafroditas, es decir, están dotadas de órganos sexuales masculinos y femeninos, pero son incapaces de autofecundarse, y se reproducen recíprocamente por fecundación cruzada. Durante el apareamiento se intercambian espermatozoides que no fecundan inmediatamente a los óvulos el ciclo de vida de esta es muy característico como se puede apreciar en la Figura 22 (Diaz, 2002).

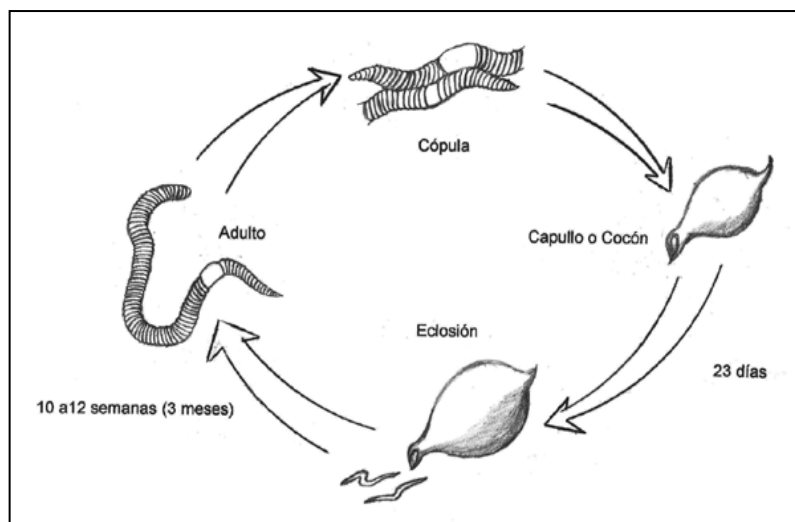


Figura 22. Diagrama del ciclo de vida de *Eisenia foetida* (Duran & Henriquez 2009)

Según Duran & Henriquez, (2009) mencionan que la lombriz roja californiana para su reproducción sexual inicia entre en la época después de su nacimiento llegando hasta la décima y doceava semana (3 meses) alcanza su madurez. Son consideradas hermafrodita, esto porque tienen ambos sexos, pero para reproducirse deben aparearse. 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 (esta estructura generalmente tiene forma de anillo; es un espesamiento glandular que secreta la sustancia para formar los capullos en donde se alojan los huevos).

Los capullos o cocones tienen forma de pera, como se observa en la figura 23 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, pero se conoce que pueden permanecer entre 14 y 44 días su nacimiento dependerá del medio en el que se encuentren. Cada uno de los capullos contiene de 2 a 4 lombrices, las cuales se desarrollan directamente (Fuentes, 2010).

Martinez, (2012) las describe que cuando nacen su color se asemejan a un palo rosa transparente (Figura 24), 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 (Figura 25), y a los 120 días (4 meses) ya tienen la apariencia de adultos, siendo de color rojizo y estando en condiciones de aparearse como se aprecia en la figura 26. Podrían producir entre 1.300 y 1.500 lombrices al año brindando una capacidad reproductiva elevada.



Figura 24. Etapa de capullo (Duran & Henríquez 2009)



Figura 23. Lombriz bebe (Duran & Henríquez 2009)



Figura 26. Etapa juvenil (Duran & Henríquez 2009)



Figura 25. Etapa de adulto (Duran & Henríquez 2009)

2.11.2.2. Condiciones ideales y desfavorables de su hábitat

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; Agroflor (citado en 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., Agroflor (citado en Salazar, 2005).

En este sentido debe indicarse que la especie *EF* 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. Haciendo a la temperatura un factor que influyen en la reproducción, producción de humus y fecundidad de las cápsulas. Por debajo de lo 15° C las lombrices entran en un periodo de latencia, disminuyendo su actividad, dejan de reproducirse, crecer y producir humus; además que alarga el ciclo evolutivo, puesto que los cocones (huevos) no eclosionan y pasan más tiempo encerrados los embriones, hasta que se presentan las condiciones del medio favorables Agroflor (citado en Salazar, 2005).

La lombriz acepta sustratos con pH mínimo de 4.5 a 8.5 fuera de este rango, la lombriz muere. Con un pH ácido en el sustrato (< 7) se desarrolla una plaga llamada planaria haciéndoles inertes a las lombrices; Pastorelly (citado por Salazar, 2005).

Cabe recalcar que la lombrices no tienen ningún órgano de defensa, por lo que cualquier animal puede dañarla o matarla y no siempre involuntariamente (Pineda & Hernández, 1983 citado por Fragoso, 2001). Como es común en la cadena trófica, siguen un

proceso de tal manera hay una serie de depredadores, la cazan y se la comen. Entre estos destacan las ratas, las serpientes, los sapos y los pájaros, siendo estos últimos los más peligrosos debido a la facilidad con que pueden entrar en acción. (Salazar, 2005).

2.12. El polvo de aserrín como sustrato para lombrices

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

Asimismo, posee muchas cualidades por lo que *EF* tiene preferencia, en todos los tamaños de partícula esto debido a su fácil descomposición en mezcla con otros materiales, razones por la que las lombrices las prefieren. El polvo de aserrín es un producto que se obtiene mayormente de la industria maderera y suele ser utilizado en la alimentación de algunas especies, su fácil accesibilidad y bajo costo lo hacen un recurso beneficioso con ciertas excepciones ya que el aserrín que poseen una coloración rojiza no suele ser utilizado ya que no sería beneficioso para las lombrices porque a mayor colores intensos, suelen acabar con la vida de estas (Vásquez, 2013).

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

2.13. Protocolo de muestreo de aguas residuales

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) y el Ministerio de Agricultura y riego (MINAGRI), presentaron el Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos Hídricos superficiales aprobado mediante Resolución de Jefatura N° 010-2016-

ANA, tomando en cuenta la unión de varias bases legales incluyendo al del Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento para el muestreo de aguas residuales, cabe recalcar que esta investigación hizo el muestro del agua residual en mezcla con el cuerpo receptor que es el rio Sonche, ya que tienen como fin el riego de vegetales y bebidas de animales; a diferencia del LMP que no tiene la división de categorías según uso del agua residual.

2.13.1. Puntos de monitoreo

Para verificar la calidad del agua residual y la remoción de esta, existen dos tipos de monitoreo las cuales se describen a continuación:

2.13.1.1. Agua residual cruda (afluente)

Esto se ubica al ingreso del agua residual al sistema de tratamiento evitando la interferencia de sólidos de gran tamaño en la toma de muestra, para que los análisis no sean alterados (MVCS, 2014).

2.13.1.2. Agua residual tratada (efluente)

Ubicado a la salida del agua residual tratada por el método o tecnología elegida. Si fueran varios tratamiento los puntos de efluente se dará en cada uno de ellas, asegurando la veracidad del monitoreo total (MVCS, 2014).

2.13.2. Aforo del caudal

Según la Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego (DGIAR, 2015) del Ministerio de Agricultura y Riego, existen cuatro (04) métodos y son los siguientes:

2.13.2.1. Método del vertedero

Según las características físicas de salida del sistema de tratamiento, se puede aplicar el método del vertedero. Este método es utilizado para tratar corrientes de bajo caudal ya que consiste en el uso de una caja a la salida del tratamiento en el cual se instala una placa de geometría definida que permita el flujo libre.

En la siguiente Figura 27 se presentan algunos métodos de diseño con el uso de las ecuaciones y los tipos de vertederos que comúnmente son utilizados.

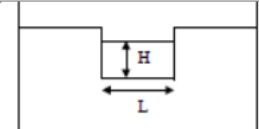
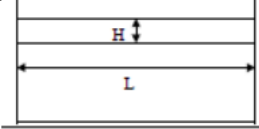
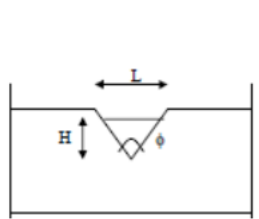
Tipo de vertedero	Diagrama	Ecuación
Rectangular con contracción		$Q = 3,3 * L * H^{1,5}$ Q = Caudal en m ³ /s L = Longitud de cresta en m H = carga (tirante) en m
Rectangular sin contracción		$Q = 1,83 * L * H^{1,5}$ Q = caudal en m ³ /s L = Longitud de cresta en m H = carga (tirante) en m
Triangular		$\Phi = 90^\circ$ $Q = 1,4 * H^{1,5}$ Q = caudal en m ³ /s H = carga (tirante) en m $\Phi = 60^\circ$ $Q = 0,775 * H^{1,5}$ Q = caudal en m ³ /s H = carga (tirante) en m

Figura 27. Ecuaciones y tipos de vertederos (DGIAR, 2015)

2.13.2.2. Canaleta Parshall

Tienen un modelo de conducto, el cual dispone de una garganta que produce una elevación del nivel de agua en función del caudal. Para determinar el caudal es necesario la medición de la altura del líquido, éste se puede realizar de forma instantánea con solo una medición de altura.

La fórmula general para calcular es:

$$Q = (H_0/k) 1/m$$

Donde:

K, m = constantes en función al ancho de garganta de la canaleta

H₀ = Altura de agua en la zona de medición en m

Q = caudal en m³/s

2.13.2.3. Método de sección- velocidad

En este método hace el uso de un flotador para la medición de la velocidad, luego se mide o calcula una longitud específica para el recorrido del flotador. Para un resultado óptimo es necesario realizar repeticiones en un promedio de entre 03- 05 mediciones para descartar los valores errados.

$$Q = v * A$$

Donde:

A = sección transversal (m²)

V = velocidad m/s

Q = caudal en m³/s

2.13.2.4. Método volumétrico

Consta del uso de un cronómetro y un recipiente aforado. La medición se estima mediante el tiempo que demora el llenado de agua del recipiente; la relación de estos dos valores permite conocer el caudal en ese instante, además es un método sencillo y confiable, para su cálculo se desarrolla la siguiente ecuación:

$$Q = V/T$$

Donde:

T = Tiempo en llenar el recipiente

V = Volumen del recipiente (m³)

Q = Caudal (m³/seg)

2.13.3. Toma de muestras

Para un mejor resultado la toma de muestra debe ser realizada por laboratorios acreditados ante el INDECOPI. “Las muestras serán recolectadas y preservadas teniendo en cuenta cada uno de los parámetros considerados” (ANA, 2016).

El tipo de recipiente, la cantidad de muestra dependerá del laboratorio además el tipo de reactivo para la preservación de la muestra se contemplan en el Anexo N° 1. Para un mejor resultado y conservación de las muestras se recomienda utilizar frascos de plástico o vidrio de boca ancha con cierre hermético y limpio (ANA, 2016).

2.13.3.1. Parámetros microbiológicos

Cuando se realiza un muestreo para verificar microorganismos es aconsejable realizarse en frascos de vidrio y esterilizados, la toma de muestra es directa dejando un espacio de $\frac{1}{4}$ de la botella para un adecuado suministro de oxígeno para los microorganismos y evitar la muerte de estas hasta el momento del análisis.

2.13.3.2. Parámetros físicos químicos – inorgánicos

Las muestras son generalmente tomadas en frascos de plástico. Antes se debe realizar la correcta esterilización del frasco asimismo antes de tomar la muestra realizar un enjuague simple. Cuando se va adicionar algún preservante es necesario al momento del muestreo dejar un espacio libre. Luego de cerrar el frasco se debe realizar una agitación para homogeneizar la muestra.

2.13.3.3. Parámetros para la evaluación de la calidad del AR

Según la (ANA, 2016), los parámetros básicos e importantes para la evaluación de

la calidad del agua residual doméstica son cinco, esto de acuerdo a la actividad productiva, en este caso la investigación esta direccionada con el contacto poblacional mediante el riego y bebida de animales, frente a ello los parámetros a analizar son los siguientes:

- Coliformes Termotolerantes
- Demanda Bioquímica de Oxígeno
- Demanda Química de Oxígeno
- pH
- Nitrógeno total
- Turbidez

2.14. Métodos de análisis de los parámetros de calidad del AR

Según el (APHA, AWWA, 1985) los métodos usado para las mediciones de los parámetros para analizar la calidad del agua residual son los siguientes (Tabla 18) :

Tabla 18. *Métodos de análisis de los parámetros del ARD*

Parámetros	Métodos
Nitrógeno	Nesslerización Titulométrico
DBO	Incubación
DQO	Titulométrico Reflujo abierto
Coliformes Termotolerantes	Método de fermentación en tubos múltiples, número más probable (NMP)

Fuente: (APHA, AWWA, 1985).

2.15. Cadena de custodia

Documento que ayuda en el control y seguimiento de las muestras tomadas n campo, que incluye la codificación, transporte y su correspondiente análisis. Éste es esencial para asegurar la integridad de la muestra desde su toma hasta el reporte de sus resultados. (Anexo 2) (MVCS, 2014).

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La construcción de los lombrifiltros se realizó en el Jr. Ayacucho N° 1170, se encuentra ubicado en el departamento de Amazonas, provincia y distrito de Chachapoyas. Sus coordenadas geográficas UTM son 181821.4 Este y 9310558.05 Norte en Zona 18 M, (Figura 27). Asimismo, el agua residual doméstica recolectada, se situó en la quebrada Santa Lucia, a la entrada del AA. HH Pedro castro, donde el distrito de Chachapoyas descarga sus aguas residuales según coordenada 183636 Este y 9311084 Norte en Zona 18 M (Figura 28).

Los análisis de los parámetros (DBO5, DQO, nitrógeno total, Coliformes termotolerantes, pH y Turbidez) fueron llevado a cabo por la Consultora CODAMCA INGENIEROS SAC. Quienes trabajan directamente con el Laboratorio de ensayo NKAP SAC. acreditado por Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI) mediante el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) con registro N° LE 026, Trujillo.

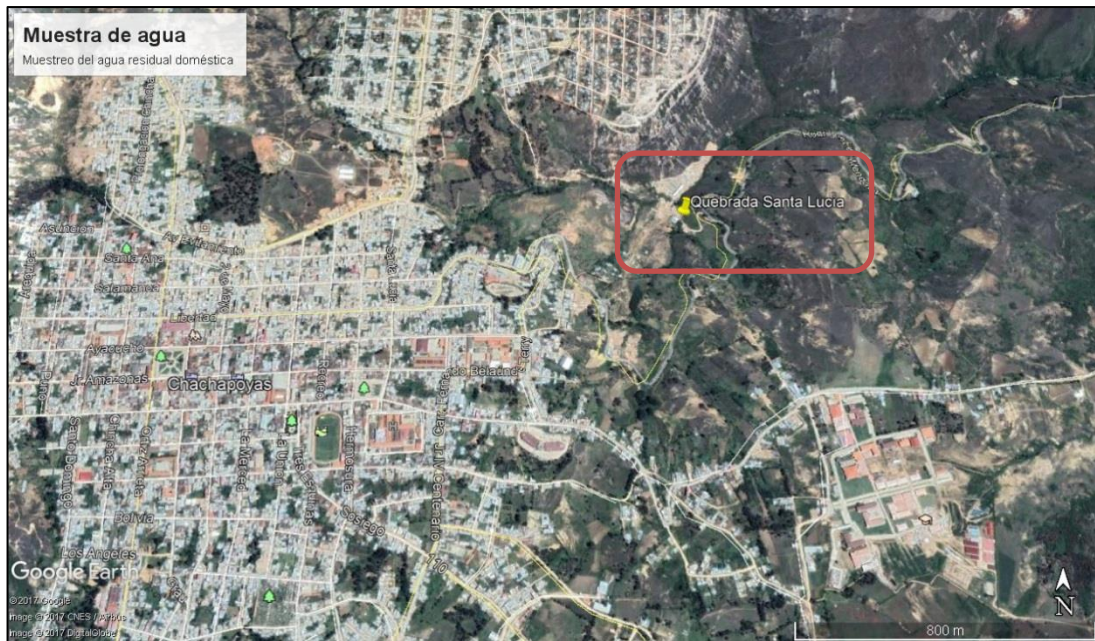


Figura 29. Ubicación del agua residual doméstica, adaptado de Google Earth.

Mediante el siguiente diagrama (Figura 29), se presenta a continuación, correspondiente al proceso de tratamiento de agua residual doméstica y las actividades previas en la investigación:

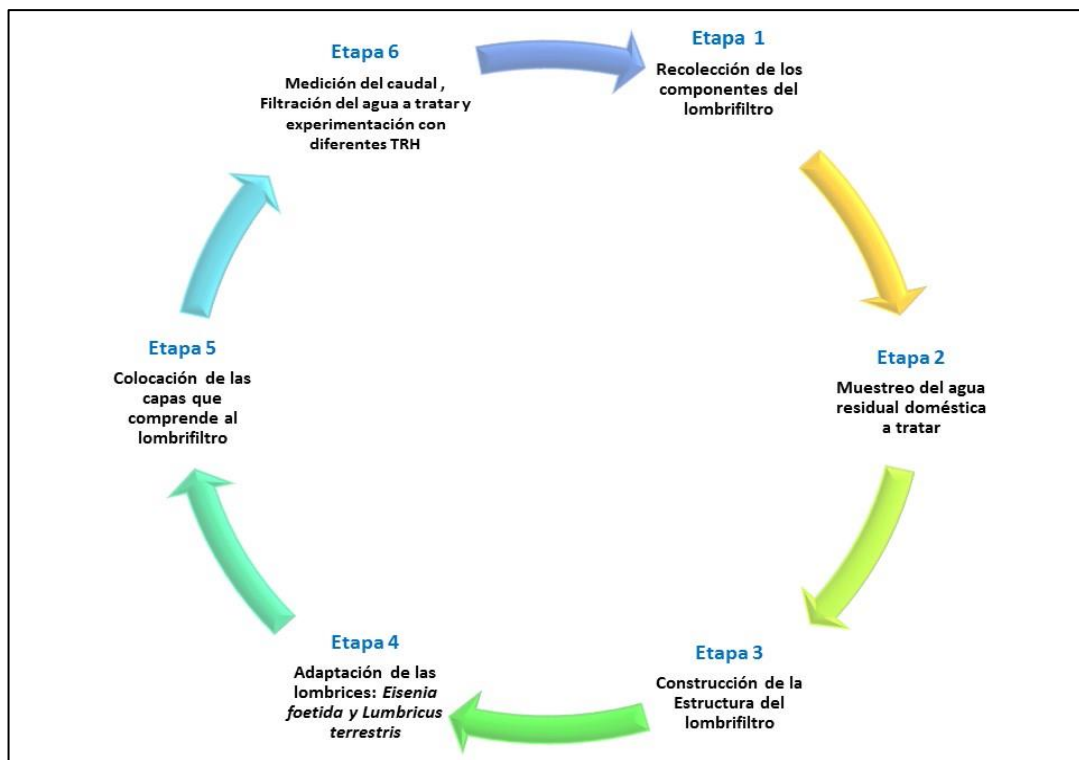


Figura 30. Etapas del proceso de tratamiento de agua residual doméstica.

3.2. Recolección de los componentes del Lombrifiltro (Etapa 1)

3.2.1. Materiales

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

Tabla 19. *Componentes del Lombrifiltro.*

Especie	Cantidad
<i>Eisenia foetida</i>	1 kilo
<i>Lumbricus terrestris</i>	1 kilo
Aserrín	2 kilos
Grava pequeña	3 kilos
Gravas medianas	3 kilos
Piedra de río enteras	4 kilos

3.2.2. Método

Los componentes que se utilizaron, para el lombrifiltro 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 la Av. Grau Cdra. 9 N° 978 - Chachapoyas.
- Asimismo, se recogió 1 kilo de *Lumbricus terrestris* (Lombriz de tierra común), provenientes de un terreno, cerca de un canal de regadío, ubicado en el Jr. Dos de mayo –Chachapoyas.

Para la recolección de ambas especies 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 (03) distintas granulometrías (1 cm, 3 cm y piedras enteras) con un peso de 3 kilos cada una, excepto la de piedra de río que se recolectó un total de 4 kilos, de la cantera Jhordan ubicados a la salida de la ciudad de Chachapoyas.

3.3. Muestreo del ARD a tratar (Etapa 2)

3.3.1. Materiales

- Botella
- Guantes
- Mascarilla
- Balde
- Cooler
- 2 frascos de vidrio claro de 300 ml
- 2 frascos de vidrio ámbar de 200 ml
- Rotulador o marcador
- Bata

3.3.2. Metodología

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

Asimismo, según el (OEFA, 2016), en su Informe de Supervisión del año 2016 menciona que la ciudad de Chachapoyas descarga sus aguas residuales domésticas en los siguientes puntos (Tabla 20):

Tabla 20. *Coordenadas de ubicación de los puntos de descarga de las aguas residuales de la ciudad de Chachapoyas*

Lugar	Coordenadas		Zona
	Este	Norte	
Quebrada de Santa Lucia (descarga al río Sonche)	183636	9311084	18 M
Sector Santo Domingo- El Molino (descarga al río Utcubamba)	179871	9308947	18 M

Fuente: (OEFA, 2016)

Para esta investigación, se recolectó el agua residual doméstica, de la Quebrada de Santa Lucia, seguidamente se determinó el horario de muestreo, se tomaron muestras en las siguientes horas: 7:00, 12:00 y 17:30 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 17:30, esto debido a que es la hora en que toda la población regresan casa, hacen uso del agua, además que las ganaderías y mataderos se hacen presentes en el momento.

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.

3.3.2.1. Muestreo del ARD 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* y *Lumbricus terrestris*).

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 NKAP SAC, para la evaluación de los parámetros de pH, Coliformes termotolerantes, DBO, DQO, turbidez y Nitrógeno total.

- a) 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 (H_2SO_4), y posteriormente fue guardado en el Cooler para enviarlo al laboratorio NKAP.
- b) Para los parámetros microbiológicos (Coliformes termotolerantes) la muestra fue tomada en una botella de vidrio claro de 300 mL, dejando un espacio de $\frac{1}{4}$, 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.
- c) Para el muestreo del nitrógeno se utilizaron frascos de vidrio ámbar de 200 mL, se añadió el preservante ácido sulfúrico (H_2SO_4) para la conservación de la muestra.
- d) Por último, para los análisis físicos (turbidez, pH) se utilizó un frasco de vidrio ámbar de 200 mL.

3.4. Construcción de la estructura del Lombrifiltro (Etapa 3)

3.4.1. Materiales

- Tanque de 140 L de capacidad
- Estructura de madera de cinco compartimientos
- Tuberías $\frac{1}{2}$ pulgada
- 3 Llaves de control
- 12 Cintillos

- Codos de PVC de 1/2
- 05 recipientes de plásticos
- Silicona y pegamento para tuberías
- Tuercas y desarmadores

3.4.2. 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 tanque de plástico de 140 L, para almacenar y permitir el ingreso a los sistemas el agua residual doméstica de la ciudad de Chachapoyas.
- Fuente de ingreso: Se construyó con tubo PVC de 1/2", una llave de ingreso y 2 llaves de control de 1/2" para los dos sistemas, según medida de la estructura de madera.
- Construcción de las estructuras de madera: Se construyeron 2 estructuras de madera, para el tratamiento de las aguas residuales, de las cuales se realizaron 5 compartimentos con dimensiones de 0.25m ancho x 0.45m largo x 0.30m profundidad, cada uno conteniendo un recipiente de plástico de dimensiones 0.25m x ancho 0.45m largo x 0.20m profundidad para la primera capa, a partir del segundo la profundidad del recipiente fue de 0.15m; de las cuales se encuentra en la primera capa el material biológico la especie *Eisenia foetida* y en la segunda estructura está la especie *Lumbricus terrestris* cada uno 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. Cada compartimento tiene 5cm de separación para que exista ventilación entre ellos.

3.5. Adaptación de las lombrices: EF y LT (Etapa 4)

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

3.5.1. Materiales

- Guantes
- Malla tipo raschell
- Regadera
- Balanza
- 2 cajas de madera

3.5.2. Metodología

La adaptación de *la Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*, se llevó a cabo en dos ensayos etiquetados cada uno respectivamente como T1 y T2.

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.

3.6. Colocación de las capas del lombrifiltro (Etapa 5)

3.6.1. Materiales

- Eisenia foetida
- Lumbricus terrestris
- Aserrín

- Gravas menudas
- Gravas chancadas
- Piedras enteras de río

3.6.2. Metodología

La instalación del medio filtrante se realizó de forma manual para las dos (02) estructuras de madera. 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 21:

Tabla 21. *Capas del lombrifiltro*

Capas del lombrifiltro	
	Especies de lombriz
Capa 1	T1 - <i>Eisenia foetida</i> + aserrín T2- <i>Lumbricus terrestris</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

3.7. Medición del caudal y TRH (Etapa 6)

3.7.1. Materiales

- Cronometro
- Recipiente de 1 L

3.7.2. Metodología

Para la medición del caudal se abrió la llave de control del tanque alimentador 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.

3.8. Variables de Estudio

3.8.1. Variable independiente

En la investigación las especies utilizadas fueron (*Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*), para el método del lombrifiltro este actuará como variables independientes.

3.8.2. Variables dependientes

Las variables dependientes a evaluar son los parámetros a ser medidos para la verificación de la calidad del agua residual, estos son los siguientes:

- DBO5
- DQO
- Nitrógeno total
- Coliformes termotolerantes
- Turbidez
- pH

3.9. Formulación de Hipótesis

- H1: El método del lombrifiltro con la especie *Eisenia foetida* es eficiente en la remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual doméstica.
- H2: El método del lombrifiltro con la especie *Lumbricus terrestris* es eficiente en la remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual doméstica
- H3: El método del lombrifiltro con la especie *Eisenia foetida* difiere de la especie *Lumbricus terrestris* en la remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual doméstica.

3.10. Estudio y diseño de la investigación

3.10.1. Tipo y diseño de la investigación

Según Sampieri, Fernandez, y Baptista, (2010) un diseño es un plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere en una investigación, así mismo el diseño de investigación lo clasifica en dos tipos uno no experimental y dos los experimentales este último lo divide en tres; los preexperimentos, cuasi experimentos y experimentos puros.

El presente proyecto está encaminado en una investigación cuantitativa, de diseño pre-experimental, esto, debido a que se van a manipular las variables de estudio, en este caso los parámetros del agua residual; asimismo este tipo de investigación es secuencial la cual sigue una serie de procesos para llegar a la finalidad, y probatorio porque necesita de análisis para poder comprobar que los resultados son ciertos. Además, de la recolección de los datos se fundamenta en la medición de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, que se lleva a cabo por procedimientos estandarizados.

3.11. Análisis estadístico

Los datos recolectados fueron introducidos y analizados mediante el Software estadístico SPSS 24.0; posteriormente se realizaron análisis descriptivos comparativos para visualizar la diferencia en los resultados de los contaminantes de las aguas residuales según las especies en estudio. Finalmente el estadístico de contraste de hipótesis experimental utilizado fue el análisis no paramétricos de Wilcoxon para comparar la remoción de los contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales del antes y después de la aplicación del método de lombrifiltro y a su vez la Prueba de U Mann – Whitney para comparar los resultados de la remoción de los contaminantes de la especie *Lumbricus terrestris* con la *Eisenia foetida*; estas pruebas se utilizaron por que las muestras analizadas en el estudio fueron pequeñas.

CAPITULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. 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 siguiente Tabla 22:

Tabla 22. *Recolección del agua residual domestica*

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

4.2. Dimensiones de las capas de la estructura

El lombrifiltro consta de dos estructuras de madera cada uno tiene la división de cuatros capas, compuesta por un recipiente de plástico de las siguientes dimensiones (Tabla 23):

Tabla 23. *Dimensiones de cada capa de la estructura*

Descripción	Símbolo	Valor (m)
Altura	h	0.30
Ancho	a	0.25
Largo	l	0.45

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 a 70%, por lo tanto se dispuso que entre la primera y segunda capa que constituyen el material biológico más elevado seria un 60% *Eisenia foetida* y 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 rio (Tabla 24)

continuación se presenta el cálculo para las dos estructuras una que contiene la especie *Eisenia foetida* y el segundo con *Lumbricus terrestris*.

- **Cálculo de la capa 1 (*Eisenia foetida* + aserrín) y (*Lumbricus terrestris* + aserrín)**

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

$$\text{Capa 1} = \frac{40\% * 65}{100\%}$$

$$\text{Capa 1} = 26 \text{ cm}$$

$$\text{Capa 1} = \frac{\% \text{ total del estrato } \textit{Lumbricus terrestris} + \text{Aserrín} * \text{altitud útil del biofiltro}}{100}$$

$$\text{Capa 1} = \frac{40\% * 65}{100\%}$$

$$\text{Capa 1} = 26 \text{ cm}$$

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

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

$$\text{Capa 1} = \frac{\% \text{ total del estrato grava fina} * \text{altitud útil del biofiltro}}{100}$$

$$\text{Capa 1} = \frac{20\% * 65}{100\%}$$

$$\text{Capa 1} = 13 \text{ cm}$$

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

$$\text{Capa 1} = \frac{\% \text{ total del estrato grava chancada} * \text{altitud útil del biofiltro}}{100}$$

$$\text{Capa 1} = \frac{20\% * 65}{100\%}$$

$$\text{Capa 1} = 13 \text{ cm}$$

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

$$\text{Capa 1} = \frac{\% \text{ total del estrato grava chancada} * \text{altura útil del biofiltro}}{100}$$

$$\text{Capa 1} = \frac{20\% * 65}{100\%}$$

$$\text{Capa 1} = 13 \text{ cm}$$

- **Cálculo de la altura total de las capas**

$$\text{HT} = \text{C1} + \text{C2} + \text{C3} + \text{C4}$$

$$\text{HT} = 0.26 + 0.13 + 0.13 + 0.13$$

$$\text{HT} = 0.65 \text{ m}$$

Tabla 24. Dimensiones de cada capa de la estructura

Descripción	Altura (cm)	Altura (m)
<i>Eisenia foetida</i> + aserrín	26	0.26
<i>Lumbricus terrestris</i> + aserrín		
Grava fina	13	0.13
Grava chancada	13	0.13
Piedras de río	13	0.13

4.3. Adaptación de las especies en estudio (*EF* y *LT*)

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 para luego colocarlas en ellas. Se colocó 100g de sustrato (Aserrín) al 80% de humedad la misma que se midió con la prueba del puño.

Se inocularon ½ medio kilo de lombrices de las ambas especies (adultas, juveniles y concones), al día 2 se pesaron las lombrices dando como resultado un peso de 511 g a una temperatura de 19.8°C con la especie *Eisenia foetida* y 508g con la especie *Lumbricus terrestris*. Al séptimo día se obtuvo un total de 594 g a una temperatura de 9.8°C con la especie *Eisenia foetida* y 614 g con la especie *Lumbricus terrestris* (tabla 25 y 26).

Tabla 25. *Adaptación de Eisenia foetida*

# De Días	Fecha	Hora	Temperatura °C	Humedad %	Peso
1	01/10/2017	9:00	19.8	80	500 g
1	01/10/2017	18:00	12.2	70	500 g
2	02/10/2017	9:00	19.8	80	511 g
2	02/10/2017	18:00	9.4	80	515 g
3	03/10/2017	9:00	17.8	80	523 g
3	03/10/2017	18:00	9.6	75	524 g
4	04/10/2017	9:00	18	80	525 g
4	04/10/2017	18:00	10	80	529 g
5	05/10/2017	9:00	23	80	540 g
5	05/10/2017	18:00	8	80	548 g
6	06/10/2017	9:00	22.4	80	559 g
6	06/10/2017	18:00	8.6	80	562 g
7	07/10/2017	9:00	18.8	80	586 g
7	07/10/2017	18:00	9.8	80	594 g

Tabla 26. *Adaptación de Lumbricus terrestris*

# De Días	Fecha	Hora	Temperatura °C	Humedad %	Peso
1	01/10/2017	9:00	19.8	80	500 g
1	01/10/2017	18:00	12.2	70	500 g
2	02/10/2017	9:00	19.8	80	508 g
2	02/10/2017	18:00	9.4	80	511 g
3	03/10/2017	9:00	17.8	80	522 g
3	03/10/2017	18:00	9.6	75	530 g
4	04/10/2017	9:00	18	80	539 g
4	04/10/2017	18:00	10	75	548 g
5	05/10/2017	9:00	23	75	557 g
5	05/10/2017	18:00	8	75	569 g
6	06/10/2017	9:00	22.4	80	576 g
6	06/10/2017	18:00	8.6	75	589 g
7	07/10/2017	9:00	18.8	80	593 g
7	07/10/2017	18:00	9.8	80	614 g

4.4. Medición el caudal

Para la medición de caudal, se realizó 3 repeticiones con tres distintos tipos de abertura de la llave de control, llenando en un recipiente de 1 litro en un minuto (Tabla 27)

Tabla 27. *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	
Q3	371	372.6
	375	
	372	

4.5. Tiempo de retención hidráulica

El cálculo se realizó aplicando los tres diferentes caudales ya mencionados anteriormente en el punto 4.4, de esta manera obtenemos los siguientes resultados para cada una de las especies usadas en la investigación (Tabla 28 y 29):

Tabla 28. *Cálculo del Tiempo de Retención Hidráulica con la especie Eisenia foetida*

Capas	Tiempo de Retención Hidráulica		
	TRH 1	TRH 2	TRH 3
CAPA1 (<i>Eisenia foetida</i> + Aserrín)	8h 50min	3h 30 min	2h 10min
CAPA 2 Grava fina	3h 50min	1h 50min	48 min
CAPA 3 Grava chancada	3h 10min	1h 30min	41 min
CAPA 4 Piedras de río	2h 45min	1h 24min	35 min
Total	18h 35 min	8h 14 min	4h 14min

Tabla 29. *Cálculo del Tiempo de Retención Hidráulica con la especie Lumbricus terrestris*

Capas	Tiempo de Retención Hidráulica		
	TRH 1	TRH 2	TRH 3
CAPA1 (<i>Lumbricus terrestris</i> + Aserrín)	8h 56min	3h 30min	2h 13min
CAPA 2 Grava fina	3h 58min	1h 52min	45 min
CAPA 3 Grava chancada	3h 23min	1h 30min	42 min
CAPA 4 Piedras de río	2h 56min	1h 24min	35 min
Total	19h 13min	8h 16min	4h 15min

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.

4.6. Resultados de los parámetros analizados antes y después del tratamiento

Los análisis físico-químicos y microbiológicos (pH, turbidez, DBO5, DQO, nitrógeno total y Coliformes termotolerantes), antes y después del tratamiento mediante el método de lombrifiltro, fueron realizados por el Laboratorio de ensayo Acreditado por el INACAL-DA con registro N° LE 026, Cajamarca y Trujillo (ver Tabla 30, 31 y 32).

Tabla 30. *Parámetros físico-químicos y microbiológicos antes del tratamiento mediante el método del lombrifiltro.*

Resultados del Agua Residual (Afluente-Pre-Análisis)						
Parámetros	Parámetros Físico-químicos					Parámetro Microbiológico
	pH	Turbidez	DBO5	DQO	NT	CT
Resultados	6.2	52.6 NTU	112.3 mg/L	251.4 mg/L	68.3 mg/L	4200 NMP/100mL

Tabla 31. *Parámetros físico-químicos y microbiológicos después del tratamiento mediante el método del lombrifiltro con la especie Eisenia foetida*

Resultados Final del Efluente con la Especie Eisenia foetida						
Parámetros	Parámetros Físico-químicos					Parámetro Microbiológico
	pH	Turbidez	DBO5	DQO	NT	CT
Resultados	6.7	8.2 NTU	9.5 mg/L	36.3 mg/L	15.3 mg/L	685 NMP/100ml

Tabla 32. *Parámetros físico-químicos y microbiológicos después del tratamiento mediante el método del lombrifiltro con la especie Lumbricus terrestris*

Resultados Final del Efluente con la Especie <i>Lumbricus terrestris</i>						
Parámetros	Parámetros Físico-químicos					Parámetro Microbiológico
	pH	Turbidez	DBO5	DQO	NT	CT
Resultados	6.68	9.1 NTU	10.52 mg/L	41.0 mg/L	15.7 mg/L	820 NMP/100ml

4.6.1. Comparación de parámetros antes y después del tratamiento.

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

En la Figura 31 se muestra la diferencia de demanda biológica de oxígeno (DBO5) con el agua residual doméstica que ingresó al lombrifiltro, siendo este valor 112.3 mg/L; y en el efluente (salida) del método de tratamiento con la especie *Eisenia foetida* la DBO5 obtuvo un resultado de 9.5 mg/L con una eficiencia de remoción de este parámetro de 92% y con la especie *Lumbricus terrestris* un total de 10.52 mg/L con una eficiencia de 91%, para ambos casos 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.

Al respecto de las especies ambas tienen el mismo ciclo de digestión de la materia orgánica, 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 la especie *Lumbricus terrestris* que es de tipo anécicas y endógeas, que al no estar

acostumbrado en cautiverio y su avance y crecimiento suelen ser en suelos profundos, esto es, que solo consumen la materia orgánica movida por las otras especies su alimentación suele ser lenta y más baja (Martinez, 2012); sin embargo la adaptación antes del tratamiento fue muy importante debido a que la diferencia de reducción del DBO5 no fue abismal solo con una diferencia de 1.02 mg/L.

Asimismo, el filtro biológico (capas de gravas y piedras), por naturaleza forman una especie biopelícula 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.

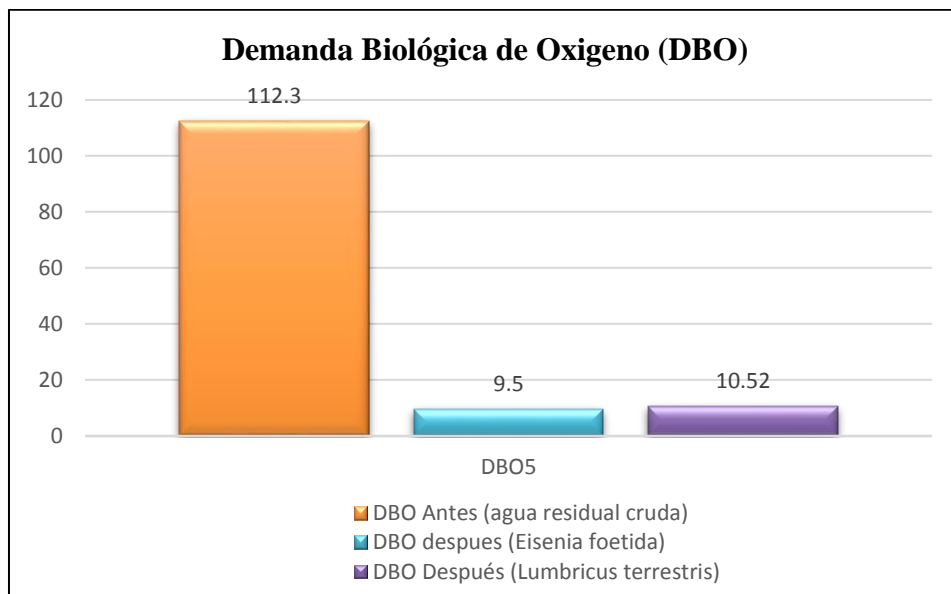


Figura 31. Comparación del parámetro químico DBO5 antes y después del tratamiento mediante el lombrifiltro con las especies *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*

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

En la Figura 32 se muestra la diferencia de demanda química de oxígeno (DQO) con el agua residual doméstica que ingresó al lombrifiltro, siendo este valor 251.4 mg/L; y en el efluente (salida) del método de tratamiento con la especie *Eisenia foetida* la DQO obtuvo un resultado de 36.3 mg/L con una eficiencia de remoción de este parámetro de 86% y con la especie *Lumbricus terrestris* un total de 41 mg/L con una eficiencia de 84%, para ambos casos hubo una reducción favorable. Esta reducción se puede atribuir a las enzimas en el intestino de las lombrices que contribuyen a la degradación de varios productos 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 atmósfera 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 proceso digestivo (Arenas & Nuncira, 2010).

Respecto a la diferencia en la reducción del DQO de cada especie, es importante mencionar que la ligera ventaja de la especie *Eisenia foetida* se debió a la cantidad de población esta especie aumentó más en el tiempo de los 6 días de tratamiento, además son más adaptables a los cambios de temperatura, en comparación de la especie *Lumbricus*

terrestris que ha cambios bruscos de temperatura detienen su alimentación y reproducción, razón por la cual la cantidad de población era un poco baja, sin embargo ambas especies redujeron adecuadamente siendo solo una diferencia de 4.7 mg/L en el tratamiento.

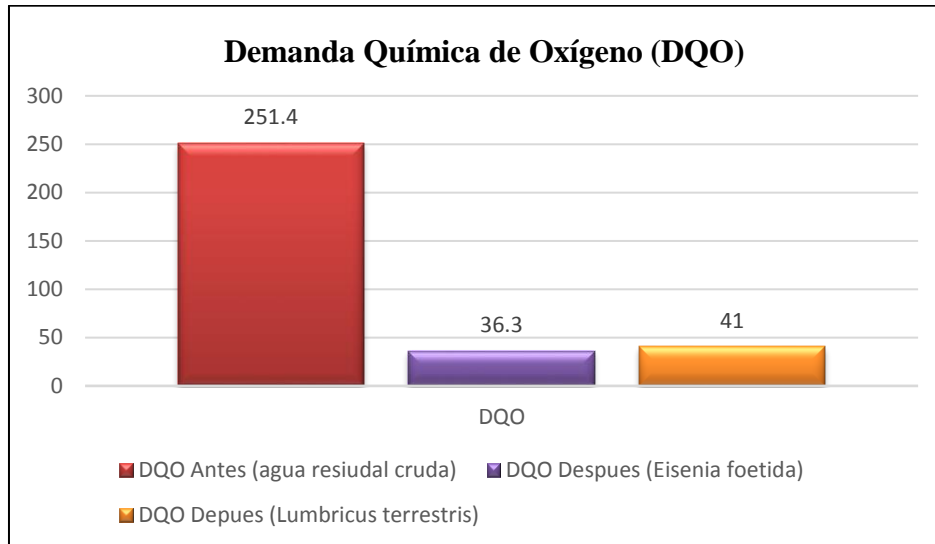


Figura 32. Comparación del parámetro químico DQO antes y después del tratamiento mediante el lombrifiltro con las especies *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*

- **Nitrógeno total**

El ingreso del agua residual doméstica con nitrógeno total al lombrifiltro fue de 68.3 mg/l, luego se realizó el análisis respectivo y se obtuvo como resultado con la especie *Eisenia foetida* un total de 15.3 mg/L con una eficiencia de 78%; mientras que con la especie *Lumbricus terrestris* se logró un total de 15.7 mg/L dando una eficiencia de 77% (Figura 33), notándose una reducción considerable para ambos casos. 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 de lombrifiltro 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).

En comparación, ambas especies son óptimas en la remoción del nitrógeno teniendo una mínima diferencia de 0.4 mg/L, por su naturaleza ambas especies tienen los mismos rasgos al momento de consumir el nitrógeno, sin embargo podemos diferenciar que la especie *Eisenia foetida* produce más flora microbiana en sus intestinos a diferencia de la *Lumbricus terrestris*, 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 Chachapoyas es favorable porque sus climas son templados, 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 lombrifiltro, es muy importante la mención de la temperatura también 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).

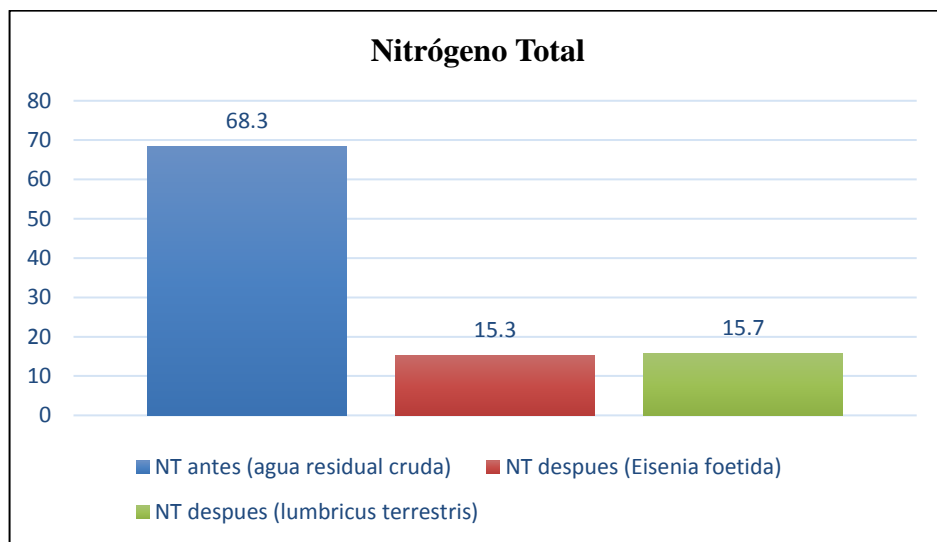


Figura 33. Comparación del parámetro químico Nitrógeno Total antes y después del tratamiento mediante el lombrifiltro con las especies *Eisenia foetida* y *Lumbricus*

- **Turbidez**

El agua residual doméstica ingresó al lombrifiltro con una turbidez de 52.6 unidades nefelométricas de turbidez (UNT), y a la salida del lombrifiltro se obtuvo un total con la especie *Eisenia foetida* de 8.2 UNT con una eficiencia de 84.4%; de la misma manera con la especie *Lumbricus terrestris* se obtuvo un total de 9.1 UNT dando una eficiencia de 83% (Figura 34); 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 lombrifiltro 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 ambas especies mostraron resultados aceptables y óptimos en la remoción de la turbidez del agua residual, revelando solo una diferencia mínima de 0.9 UNT. Esta diferencia mayormente está ligada a la temperatura ambiente, como se mencionó anteriormente, la especie *Lumbricus terrestris* es el tipo de lombriz que está acostumbrada vivir en un clima cálido y en suelo profundos por ende son bastante delicados en los cambios bruscos de clima, afectando directamente en su alimentación y reproducción, razón por la cual la especie *Eisenia foetida* tuvo la ligera ventaja debido a que están acostumbradas a cambios continuos porque al ser de tipo epigeas están constantemente en la superficie de la tierra, no son excavadoras como las *Lumbricus terrestris*, pero son más adaptables y reproductivas en cantidad.

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.

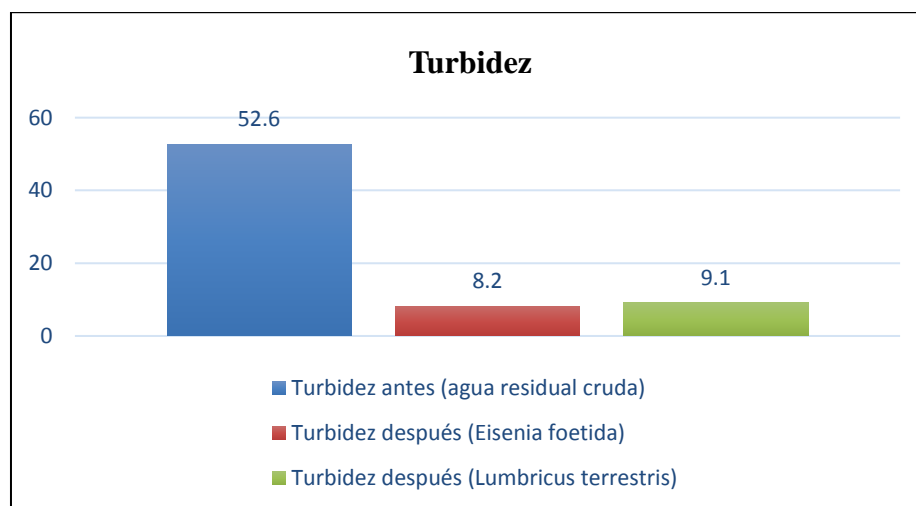


Figura 34. Comparación del parámetro Turbidez antes y después del tratamiento mediante el lombrifiltro con las especies *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*

- **Potencial de Hidrógeno (pH)**

El agua residual se encontraba en un inicio con un pH ácido de 6.2, pero después del tratamiento mediante el lombrifiltro el resultado cambio y fue un pH estable de 6.7 con la especie *Eisenia foetida* y 6.68 con la especie *Lumbricus terrestris* (Figura 35), 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 77 % y 78% 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 (para ambas especies) 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 por el ano (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).

Alvarez et al., (2011) afirman que el pH debe mantenerse idealmente en el rango 6,5 – 7.5 ya que a menores o elevado pH suele acabar con la vida de las lombrices, un pH ácido es mortal debido a que la piel de las lombrices son muy sensibles a cambios bruscos en el medio, mientras que a un pH muy alcalino su alimentación y digestión suele ser lenta por las mismas características del agua.

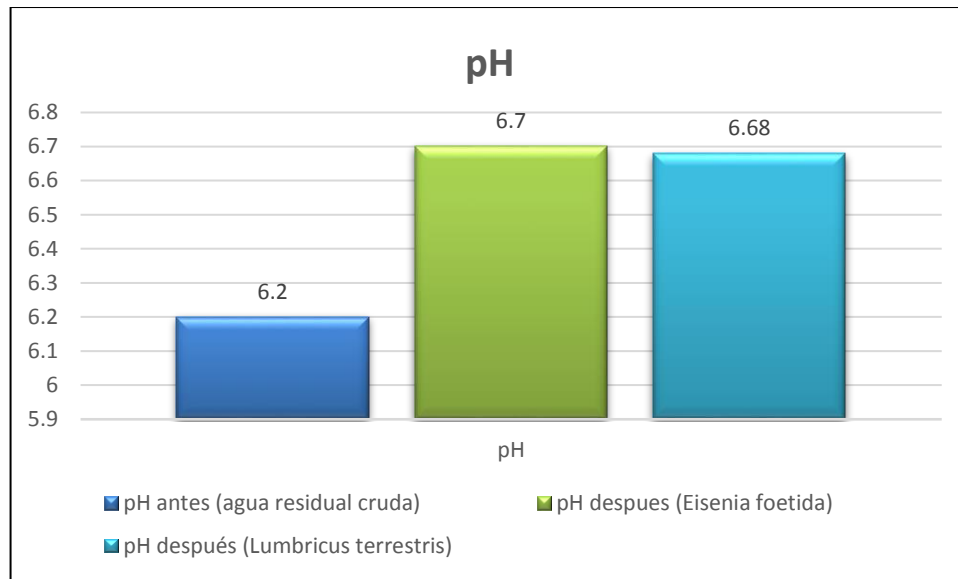


Figura 35. Comparación del parámetro pH antes y después del tratamiento mediante el lombrifiltro con las especies *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*

- **Coliformes Termotolerantes**

La cantidad de Coliformes termotolerantes antes del ingreso al tratamiento mediante el lombrifiltro fue 4200 NMP/100 ml, después de pasar por el sistema de depuración se obtuvo un valor de 685 NMP/100 ml con la especie *Eisenia foetida* mostrando una eficiencia de 84%, sin embargo, con la especie *Lumbricus terrestris* se tuvo un resultado de 820 NMP/100 ml con una eficiencia de 80% (Figura 36). 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 lombrifiltro están siendo retenidos mediante procesos físicos como la filtración y la adsorción que lo realiza las capas de piedras (Struck, Selvakumar, & Borst, 2000).

Ambas especies obtuvieron resultados favorables en la remoción de Coliformes termotolerantes, mostrando una diferencia de 135 NMP/100 ml, esto se atribuye al hecho de que la lombriz roja californiana tiene una mayor cantidad de flora microbiana en su intestino a diferencia de la lombriz común de tierra, en el estudio se observó la gran diferencia en cantidad de las lombrices, debido a que la especie *Eisenia foetida* se reproducían con más facilidad, a diferencia de la *Lumbricus terrestris* solo trataban de ocultarse, alimentarse y muy poco se reproducían razón por la cual es posible este resultado.

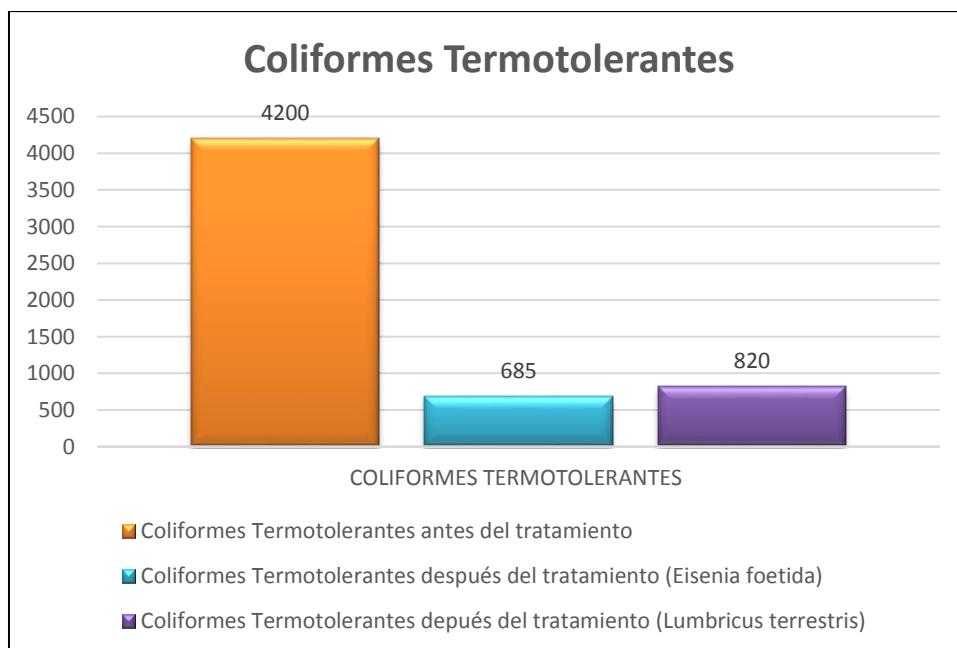


Figura 36. Comparación del parámetro pH antes y después del tratamiento mediante el lombrifiltro con las especies *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*.

4.7. Comparación de los resultados con el Decretos Supremos N° 004-2017-MINAM

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

En la Tabla 32 se observa que el DBO final para la especie *Eisenia foetida* fue 9.5 mg/L y para la especie *Lumbricus terrestris* fue de 10.52mg/L, encontrándose ambas especies dentro del rango establecido por el Decreto Supremo 004-2017-MINAM, que considera un valor máximo de 15 mg/L, tanto para el riego de vegetales restringidos y no

restringidos, como para la bebida de animales. Usando ambas especies, es adecuado en la remoción de la materia orgánica, considerándose óptima para el regadío de pastizales y vegetales para los agricultores de la ciudad de Chachapoyas.

Según Campos, (2015) menciona que la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), es una de las pruebas más importantes para determinar el grado de contaminación en materia orgánica biodegradable, en aguas residuales domésticas e industriales, cuando la reducción es efectiva en este parámetro, es un alto indicador de que sus futuros usos son beneficiosos para fines de riego y bebidas de animales según normativa de cada país.

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

De acuerdo al resultado final la DQO fue de 36.3 mg/L con la especie *Eisenia foetida* y 41 mg/L para la especie *Lumbricus terrestris*, demostrando que para la especie EF está por debajo de los límites aceptados por el decreto supremo 004-2017-MINAM, siendo este su rango máximo de 40 mg/L, sin embargo, para la especie LT tiene una diferencia de 1mg/l, siendo tolerable ya que no está lejano, ni es tan excedente al rango máximo del decreto vigente (tabla 33). Esto demuestra que el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante lombrifiltro con ambas especies es eficiente en este parámetro. Concluyendo que dicha agua se puede utilizar para fines de riego y bebidas de animales.

Según Muñoz, (2010) indica que la “medición de DQO en una muestra de agua, está directamente relacionado con su grado de contaminación, así como con la naturaleza de la materia que compone los desechos sólidos, ya que a través de esta prueba es posible estimar que proporción del total de la materia orgánica es biodegradable. Esto es de gran importancia en el proceso de digestión aeróbica, puesto que de antemano se conoce cuál es el mínimo excedente de materia orgánica en un agua residual, y dependerá mucho para los fines de uso, sobre todo cuando sigue un flujo o ciclo, refiriendo a consumo directo”.

- **Nitrógeno Total**

Para el caso del nitrógeno total se obtuvo un resultado de 15.3 mg/L con la especie *Eisenia foetida*, y 15.7 mg/L con la especie *Lumbricus terrestris*, indicando que está por debajo una gran distancia aceptado por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM ya que su límite máximo es de 100 mg/L para riego de vegetales restringidos y no restringidos, como para la bebida de animales; demostrando así la alta eficiencia en la remoción de nitrógeno mediante el método del lombrifiltro usando ambas especies.

Es importante mencionar que este parámetro es un indicador necesario de evaluar en las aguas residuales, ya que el exceso del nitrógeno disminuye los niveles de oxígeno disuelto de los ríos, el cual es consumido en los procesos de degradación bacteriana de nitrógeno, además de provocar un ambiente anóxico, desencadenándose así una serie de reacciones químicas y microbianas que dan como resultado la disminución de la calidad del agua, muerte de especies que habitan en el sitio, la eutrofización de las aguas cuando se encuentra en elevadas concentraciones, entre otras consecuencias (González, 2013).

- **Turbidez**

Para este parámetro no existe valor en ninguno de los Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, sin embargo, en la investigación se consideró un rango máximo de 20 UNT (rango propuesto por el investigador), a simple vista el color del agua de salida fue aceptable ya que tuvo un color muy semejante al agua clara pues se obtuvo como resultado final, para la especie *Eisenia foetida* un total de 8.2 UNT y para la especie *Lumbricus terrestris* 9.1 UNT. Concluyendo así que el agua puede ser utilizada en el riego de vegetales restringidos y no restringidos, como para la bebida de animales porque la disminución de este parámetro indica el bajo grado de sólidos en el agua residual.

Según Barrenechea, (2004) señala que un agua turbia estéticamente es desagradable y es rechazada por el consumidor directo para fine a usar, asimismo la turbidez indica la presencia de solidos por tal razón es relevante la disminución de este parámetro para uso en riego y bebidas de animales.

- **Potencial de Hidrógeno (pH)**

En el parámetro físico pH se obtuvo un resultado estable ya que se encuentra dentro de los rangos establecidos el decreto supremo 004-2017-MINAM que indican 6.5-8.5 para riego de vegetales restringidos y no restringidos y 6,5 – 8,4 para bebidas de animales y se logró un pH de 6.7 para la especie *Eisenia foetida* y 6.68 para la *Lumbricus terrestris* (Tabla 32). Indicando que el agua residual es apta para el uso de los agricultores, y persona natural en el riego de vegetales y bebida de animales. Pero se debe tener cuidado con el mantenimiento, es muy importante, debido a que las lombrices excretan calcio y puede afectar directamente en el cambio del pH (Oakley, 2005).

“El pH es un parámetro de suma importancia tanto para aguas naturales como aguas residuales. El rango de pH en el cual pueden interactuar los ecosistemas y sobrevivir las especies que lo conforman, está sumamente restringido, por lo cual si este valor es alterado, los procesos biológicos que normalmente se llevan a cabo pueden ser perturbados y/o inhibidos y las consecuencias son adversas, mantener un pH adecuado en cualquier tratamiento es importante para el uso en riego o en la emisión directa a los cuerpos de aguas” (Bhise & Anaokar, 2015).

- **Coliformes Termotolerantes**

En el Decreto supremo N° 004-2017-MINAM el rango máximo de Coliformes termotolerantes para riego de vegetales restringido es de 2000 NMP/100 mL, para los no restringidos y bebida de animales es de 1000 NMP/100 mL. El valor obtenido mediante los respectivos análisis para la especie *Eisenia foetida* fue de 685 NMP/100 mL y para la especie *Lumbricus terrestris* fue de 820 NMP/100 mL (Tabla 32), encontrándose dentro de lo establecido por el decreto 004-2017, ambas especies son aptas y óptimas para el riego de vegetales y bebida de animales.

Los Coliformes son los principales indicadores de la adecuación del agua para usos domésticos, riego, bebida de animales e industrias, la experiencia ha demostrado que la densidad del grupo de los Coliformes es un indicador del grado de contaminación, y por tanto de la calidad sanitaria, esto se debe a la sobrevivencia de los Coliformes en el agua siendo este mayor que la de cualquier bacteria; directamente las consecuencia más comunes observadas a lo largo de tiempo es la presencia de enfermedades, desde cutáneas hasta intestinales en los seres humanos y cualquiera que entre en contacto con ella, por tal razón es de suma importancia la disminución de este parámetro, buscando métodos necesarios y factibles para el reúso de las aguas residuales (Hoffmann, 2007).

Tabla 33. Comparación de los resultados con el Decretos Supremos N° 004-2017-MINAM

Parámetro	Especie de lombriz	Resultados de Laboratorio	004-2017-MINAM		
			Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	Bebidas de animales
DBO5	EF	9.5 mg/l	15 mg/l	15 mg/l	15 mg/l
	LT	10.52 mg/l	15 mg/l	15 mg/l	15 mg/l
(DQO)	EF	36.3 mg/l	40 mg/l	40 mg/l	40 mg/l
	LT	41 mg/l	40 mg/l	40 mg/l	40 mg/l
Nitrógeno total	EF	15.3 mg/l	100 mg/l	100 mg/l	100 mg/l
	LT	15.7 mg/l	100 mg/l	100 mg/l	100 mg/l
Turbidez	EF	8.2 UNT	20 UNT	20 UNT	20 UNT
	LT	9.1 UNT	20 UNT	20 UNT	20 UNT
pH	EF	6.7	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4
	LT	6.68	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4
Coliformes termotolerantes	EF	685 NMP/100 ml	1000 NMP/100 ml	2000 NMP/100 ml	1000 NMP/100 ml
	LT	820 NMP/100 ml	1000 NMP/100 ml	2000 NMP/100 ml	1000 NMP/100 ml

4.8. Determinación de la eficiencia del lombrifiltro según especie en estudio

Para evaluar el funcionamiento del prototipo biológico compuesto por dos tipos de especie (*Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*) se determinó el porcentaje de eficiencia de los parámetros analizados (tabla 34).

a) Eficiencia en la DBO5

- Cálculo del porcentaje de eficiencia en remoción de la DBO5 con la especie *Eisenia foetida*

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

$$\%Eficiencia = \frac{(112.3 \text{ mg/l} - 9.5 \text{ mg/l})}{(112.3 \text{ mg/l})} * 100$$

$$\%Eficiencia = 92 \%$$

- **Cálculo del porcentaje de eficiencia en remoción de la DBO5 con la especie *Lumbricus terrestris***

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

$$\%Eficiencia = \frac{(112.3 \text{ mg/l} - 10.52 \text{ mg/l})}{(112.3 \text{ mg/l})} * 100$$

$$\%Eficiencia = 91 \%$$

En cuanto a la DBO5 se ha determinado una eficiencia del 92% para la especie *Eisenia foetida* y 91% con la especie *Lumbricus terrestris*; 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) 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 con la especie *Eisenia foetida***

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

$$\%Eficiencia = \frac{(251.4 \text{ mg/l} - 36.3 \text{ mg/l})}{(251.4 \text{ mg/l})} * 100$$

$$\%Eficiencia = 86 \%$$

- **Cálculo del porcentaje de eficiencia en remoción de la DQO con la especie *Lumbricus terrestris***

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

$$\%Eficiencia = \frac{(251.4 \text{ mg/l} - 41 \text{ mg/l})}{(251.4 \text{ mg/l})} * 100$$

$$\%Eficiencia = 84 \%$$

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 86% con la especie EF y 84% con LT, 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 el Nitrógeno**

- **Cálculo del porcentaje de eficiencia en remoción del Nitrógeno con la especie *Eisenia foetida***

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

$$\%Eficiencia = \frac{(68.3 \text{ mg/l} - 15.3 \text{ mg/l})}{(68.3 \text{ mg/l})} * 100$$

$$\%Eficiencia = 78 \%$$

- **Cálculo del porcentaje de eficiencia en remoción del Nitrógeno con la especie *Lumbricus terrestris***

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

$$\%Eficiencia = \frac{(68.3 \text{ mg/l} - 15.7 \text{ mg/l})}{(68.3 \text{ mg/l})} * 100$$

$$\%Eficiencia = 77 \%$$

Mediante el parámetro Nitrógeno, en el tratamiento se obtuvo una eficiencia relativamente alta de 78% para la EF y 77% para LT, por ende el tratamiento utilizado en el presente trabajo de investigación es muy eficiente en la remoción de nitrógeno, 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 la Turbidez

- Cálculo del porcentaje de eficiencia en remoción de la turbidez con la especie *Eisenia foetida*

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

$$\%Eficiencia = \frac{(52.6 \text{ mg/l} - 8.2 \text{ mg/l})}{(52.6 \text{ mg/l})} * 100$$

$$\%Eficiencia = 84.4 \%$$

- Cálculo del porcentaje de eficiencia en remoción de la turbidez con la especie *Lumbricus terrestris*

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

$$\%Eficiencia = \frac{(52.6 \text{ mg/l} - 9.1 \text{ mg/l})}{(52.6 \text{ mg/l})} * 100$$

$$\%Eficiencia = 83 \%$$

La eficiencia en la turbidez en el tratamiento de aguas residuales mediante el método

de lombrifiltro, para la especie de EF fue de 84.4% y para LT fue de 83, indicando un alto porcentaje de eficiencia en la reducción de la turbidez, considerándose que un agua apta para su reúso.

e) Eficiencia en el pH

- Cálculo del porcentaje de eficiencia en remoción del pH con la especie *Eisenia foetida*

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

$$\%Eficiencia = \frac{(6.2)}{(6.7)} * 100$$

$$\%Eficiencia = 93 \%$$

- Cálculo del porcentaje de eficiencia en remoción del pH con la especie *Lumbricus terrestris*

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

$$\%Eficiencia = \frac{(6.2)}{(6.68)} * 100$$

$$\%Eficiencia = 93 \%$$

Con respecto al pH, se obtuvo una eficiencia de 93% para ambas especies, 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.

f) Eficiencia en Coliformes termotolerantes

- Cálculo del porcentaje de eficiencia en remoción de Coliformes termotolerantes con la especie *Eisenia foetida*

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

$$\%Eficiencia = \frac{(4200 \text{ mg/l} - 685 \text{ mg/l})}{(4200 \text{ mg/l})} * 100$$

$$\%Eficiencia = 84 \%$$

- **Cálculo del porcentaje de eficiencia en remoción de Coliformes termotolerantes con la especie *Lumbricus terrestris***

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

$$\%Eficiencia = \frac{(4200 \text{ mg/l} - 820 \text{ mg/l})}{(4200 \text{ mg/l})} * 100$$

$$\%Eficiencia = 80 \%$$

Los resultados obtenidos en el tratamiento de aguas residuales del distrito de Chachapoyas en la remoción de Coliformes termotolerantes nos da una eficiencia del 84% para la especie EF y 80% para LT, porcentaje que nos indica que el tratamiento utilizado en este estudio, en este caso filtración biológica utilizando *EF* y *LT* 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 34. *Eficiencia del método del lombrifiltro*

Parámetros	Eficiencia-<i>Eisenia Foetida</i> (%)	Eficiencia- <i>Lumbricus terrestris</i> (%)
DBO5	92	91
DQO	86	84
Nitrógeno	78	77
turbidez	84.4	83
pH	93	93
Coliformes termotolerantes	84	80
Promedio total de eficiencia	87	85

4.9. Resultados estadísticos de contraste de hipótesis

4.9.1. Contraste de Prueba de normalidad

Dado que el estudio presenta un tamaño de muestras insuficiente para realizar el análisis de normalidad se concluye que los datos deben ser analizados a través de una prueba estadística no paramétrica; siendo esta la Prueba de la wilcoxon y la U Mann – Whitney ya que se desea realizar la comparación de dos muestras relacionadas y muestras independientes.

4.9.2. Análisis estadístico a través de Prueba de wilcoxon para los Parámetros físico-químicos y microbiológicos de la especie *Eisenia foetida*

Hipótesis:

- **H₀₁:** El método del lombrifiltro con la especie *Eisenia foetida* no es eficiente en la remoción de contaminantes físicoquímicos y microbiológicos del agua residual doméstica.
- **H_{a1}:** El método del lombrifiltro con la especie *Eisenia foetida* es eficiente en la remoción de contaminantes físicoquímicos y microbiológicos del ARD.

Ho: $Me^1 = Me^2$

Ha: $Me^1 \neq Me^2$

Estadística de prueba:

A la luz de las suposiciones, la estadística de prueba aprobada de wilcoxon es:

$$T = \text{Min}[T(+), T(-)]$$

Donde determina que T se ajusta a una distribución NORMAL por esto permite utilizar la siguiente formula:

$$Z = \frac{T - n(n + 1)/4}{\sqrt{n(n + 1)(2n + 1)/24}}$$

Distribución de la estadística de prueba:

La estadística de prueba es la prueba de Wilcoxon, considerando a Z el valor condicionante para determinar si se acepta o rechaza el Ho, bajo las siguientes condiciones detalla a continuación en la Tabla 35:

Tabla 35. Condiciones para el contraste de hipótesis según la prueba de wilcoxon

Prueba	A través del valor de Z	A través del valor de sig.
Wilcoxon	Rechazar la Ho, si, $Z > Z\alpha$ Aceptar la Ho, si, $Z \leq Z\alpha$	Rechazar la Ho, si, $\text{Sig} < \alpha$ Aceptar la Ho, si, $\text{sig} > \alpha$

Resultado de Estadístico de la prueba de Wilcoxon con SPSS 24.0

Los resultados de la Tabla 36, muestra que los rangos promedios para ambos grupos (agua residual cruda y *Eisenia foetida*) analizados fueron los positivos, corroborando con la suma de los rangos; de esta manera seleccionando el valor mínimo se obtiene el valor 21.00 en los grupos de estudio, afirmando por consiguiente que existe diferencia significativa entre los valores analizado “antes” de la aplicación del método del lombrifiltro sobre el “después” en ambos grupos para el parámetro pH.

Tabla 36. *Análisis de rangos de la prueba de wilcoxon para el parámetro PH con la especie Eisenia foetida*

pH	Especie <i>Eisenia foetida</i>		
	N	Rango promedio	Suma de rangos
Rangos negativos	8	3.50	21.00
Rangos positivos	8	10.00	70.00
Empates	0		
Total	16		

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

Igualmente, la Tabla 37, muestra que los resultados del rango promedio para los grupos (agua residual cruda y *Eisenia foetida*) en relación de la turbidez fueron los positivos, corroborando con la suma de los rangos; de esta manera seleccionando el valor mínimo se obtiene el valor 36.00, afirmando por consiguiente que existe diferencia significativa entre los valores analizados “antes” de la aplicación del método del lombrifiltro sobre el “después” para el parámetro de la turbidez.

Tabla 37. *Análisis de rangos de la prueba de wilcoxon para el parámetro de la Turbidez para la especie Eisenia foetida*

Turbidez	Especie <i>Eisenia foetida</i>		
	N	Rango promedio	Suma de rangos
Rangos negativos	8	35.00	1855.00
Rangos positivos	8	4,50	36.00
Empates	0		
Total	16		

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

De la misma manera los resultados del rango promedio para los grupos en relación de la DBO5; fueron favorables; de esta manera seleccionando el valor mínimo se obtiene el valor 55.00, en la suma de los rangos, afirmando por consiguiente que existe diferencia significativa entre los valores analizados “antes” de la aplicación del método del lombrifiltro sobre el “después” para el contaminante fisicoquímico de la DBO5 (ver Tabla 38)

Tabla 38. *Análisis de rangos de la prueba de wilcoxon para el parámetro de la DBO5 para la especie Eisenia foetida*

DBO5	Especie <i>Eisenia foetida</i>		
	N	Rango promedio	Suma de rangos
Rangos negativos	8	66.50	7448.00
Rangos positivos	8	5.50	55.00
Empates	0		
Total	16		

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

Asimismo, los resultados del rango promedio para los grupos en relación a la DQO; fueron favorables; con el valor mínimo de 666.00 en la suma de los rangos, afirmando por consiguiente que los grupos presentan diferencia significativa entre los valores analizados “antes” de la aplicación del método del lombrifiltro sobre el “después” para el contaminante fisicoquímico de la DQO (ver Tabla 39).

Tabla 39. *Análisis de rangos de la prueba de wilcoxon para el parámetro de la DQO para la especie Eisenia foetida*

DQO	Especie <i>Eisenia foetida</i>		
	N	Rango promedio	Suma de rangos
Rangos negativos	8	162.00	40662.00
Rangos positivos	8	18.50	666.00
Empates	0		
Total	16		

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

Así también, los resultados para los grupos en relación al nitrógeno; también fueron favorables; con un valor mínimo de 120.00 en la suma de los rangos, afirmando por consiguiente que los grupos también presentan diferencia significativa entre los valores analizados a favor del estudio “antes” de la aplicación del método del lombrifiltro sobre el “después” para el contaminante fisicoquímico del nitrógeno (ver Tabla 40).

Tabla 40. *Análisis de rangos de la prueba de wilcoxon para el parámetro del Nitrógeno para la especie Eisenia foetida*

Nitrógeno	Especie <i>Eisenia foetida</i>		
	N	Rango promedio	Suma de rangos
Rangos negativos	8	49.50	3366.00
Rangos positivos	8	8.00	120.00
Empates	0		
Total	16		

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

Finalmente, los resultados para los grupos en relación a los Coliformes termotolerantes; también fueron favorables; consiguiendo un valor mínimo de 234955.00 en la suma de los rangos, afirmando por consiguiente que los grupos presentan diferencia significativa entre los valores analizados a favor del estudio “antes” de la aplicación del método del lombrifiltro sobre el “después” para el parámetro Coliformes termotolerantes (ver Tabla 41).

Tabla 41. *Análisis de rangos de la prueba de wilcoxon para el parámetro microbiológico: Coliformes termotolerantes para la especie Eisenia foetida*

Coliformes termotolerantes	Especie <i>Eisenia foetida</i>		
	N	Rango promedio	Suma de rangos
Rangos negativos	8	2785.50	11699100.00
Rangos positivos	8	343.00	234955.00
Empates	0		
Total	16		

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

Consecuentemente los resultados de la prueba de *Wilcoxon* mostrados en la Tabla 42 demuestran que todos los contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos con la especie *Eisenia foetida* (pH con $Z = -3.464$, turbidez con $Z = -7.746$, DBO5 con $Z = -11.00$, DQO con $Z = -16.91$, Nitrógeno con $Z = -9.055$ y los Coliformes termotolerantes con $Z = -69.886$), obtuvieron resultados favorables respecto al método después de la aplicación, de manera que el estudio fue eficiente, en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas-Amazonas así lo corrobora los resultados del $p < 0.005$ para todos los casos.

Tabla 42. *Prueba estadística de Wilcoxon para los contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos para la especie Eisenia foetida*

Wilcoxon	pH	Turbidez	DBO5	DQO	Nitrógeno	CT
Z	-3.464	-7.746	-11.00	-16.91	-9.055	-69.886
Sig. asintótica (bilateral)	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

Regla de decisión

Como el valor del sig = 0,000 < $\alpha = 0,05$ para todos los contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos, se decide rechazar la hipótesis nula a favor de la alternativa.

Conclusión

El método del lombrifiltro con la especie *Eisenia foetida* fue eficiente en la remoción de los contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales domésticas, demostrando de esta manera que el método contribuye favorablemente y otorga un aporte significativo al Distrito de Chachapoyas-Amazonas.

4.9.3. Análisis estadístico a través de Prueba de wilcoxon para los Parámetros físico-químicos y microbiológicos de la especie Lumbricus terrestris

Hipótesis:

- **H₀₁:** El método del lombrifiltro con la especie *Lumbricus terrestris* no es eficiente en la remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual doméstica.
- **H_{a1}:** El método del lombrifiltro con la especie *Lumbricus terrestris* es eficiente en la remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual doméstica.

$$H_0: Me^1 = Me^2$$

$$H_a: Me^1 \neq Me^2$$

Estadística de prueba:

A la luz de las suposiciones, la estadística de prueba aprobada de wilcoxon es:

$$T = \text{Min}[T(+), T(-)]$$

Donde determina que T se ajusta a una distribución NORMAL por esto permite utilizar la siguiente formula:

$$Z = \frac{T - n(n + 1)/4}{\sqrt{n(n + 1)(2n + 1)/24}}$$

Distribución de la estadística de prueba:

La estadística de prueba es la prueba de Wilcoxon, considerando a Z el valor condicionante para determinar si se acepta o rechaza el Ho, bajo las siguientes condiciones detalla a continuación en la Tabla 43:

Tabla 43. Condiciones para el contraste de hipótesis según la prueba de wilcoxon

Prueba	A través del valor de Z	A través del valor de sig.
Wilcoxon	Rechazar la Ho, si, $Z > Z\alpha$ Aceptar la Ho, si, $Z \leq Z\alpha$	Rechazar la Ho, si, $\text{Sig} < \alpha$ Aceptar la Ho, si, $\text{sig} > \alpha$

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

Resultado de Estadístico de la prueba de Wilcoxon con SPSS 24.0

Los resultados de la Tabla 44, evidencia que los rango promedio para los grupos (agua residual cruda y *Lumbricus terrestris*) analizados fueron positivos, corroborando con la suma de los rangos; de esta manera seleccionando el valor mínimo se obtiene 21.00 en los grupo de estudio, afirmando por consiguiente que los resultados muestran diferencia significativa entre los valores analizado “antes” de la aplicación del método del lombrifiltro sobre el “después” en los grupos para el parámetro del pH.

Tabla 44. Análisis de rangos de la prueba wilcoxon para el parámetro del PH para le especie *Lumbricus terrestris*

pH	Especie <i>Lumbricus terrestris</i>		
	N	Rango promedio	Suma de rangos
Rangos negativos	8	3.50	21.00
Rangos positivos	8	10.00	70.00
Empates	0		
Total	16		

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

Igualmente, la Tabla 45, muestra que los resultados del rango promedio para los grupos (agua residual cruda y *Lumbricus terrestris*) en relación de la turbidez fueron los positivos, corroborando con la suma de los rangos; de esta manera seleccionando el valor mínimo se obtuvo el valor 45.00, afirmando por consiguiente que existe diferencia significativa entre los valores analizados “antes” de la aplicación del método del lombrifiltro sobre el “después” para el parámetro de la turbidez.

Tabla 45. *Análisis de rangos de la prueba wilcoxon para el parámetro de la Turbidez para la especie Lumbricus terrestris*

Turbidez	Especie <i>Lumbricus terrestris</i>		
	N	Rango promedio	Suma de rangos
Rangos negativos	8	36.00	1908.00
Rangos positivos	8	5,00	45.00
Empates	0		
Total	16		

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

De la misma manera los resultados del rango promedio para los grupos en relación de la DBO5; fueron favorables; de esta manera al seleccionar el valor mínimo se obtiene 66.00, en la suma de los rangos, afirmando por consiguiente que los grupos presentan diferencia significativa entre los valores analizados “antes” de la aplicación del método del lombrifiltro sobre el “después” para el parámetro de la DBO5 (ver Tabla 46)

Tabla 46. *Análisis de rangos de la prueba wilcoxon para el parámetro de la DBO5 para la especie Lumbricus terrestris*

DBO5	Especie <i>Lumbricus terrestris</i>		
	N	Rango promedio	Suma de rangos
Rangos negativos	8	67.50	7560.00
Rangos positivos	8	6.00	66.00
Empates	0		
Total	16		

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

Asimismo, los resultados del rango promedio para los grupos en relación a la DQO; fueron favorables; con un valor mínimo de 861.00 en la suma de los rangos, afirmando por consiguiente que los grupos presentan diferencia significativa entre los valores analizados

“antes” de la aplicación del método del lombrifiltro sobre el “después” para el parámetro de la DQO (ver Tabla 47)

Tabla 47. *Análisis de rangos de la prueba wilcoxon para el parámetro de la DQO para la especie Lumbricus terrestris*

DQO	Especie <i>Lumbricus terrestris</i>		
	N	Rango promedio	Suma de rangos
Rangos negativos	8	167.00	41917.00
Rangos positivos	8	21.00	861.00
Empates	0		
Total	16		

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

Así también, los resultados para los grupos en relación al nitrógeno; también fueron favorables; con un valor mínimo obtenido de 136.00 en la suma de los rangos, afirmando por consiguiente diferencia significativa entre los valores analizados a favor del estudio “antes” de la aplicación del método del lombrifiltro sobre el “después” para el parámetro del nitrógeno (ver Tabla 48)

Tabla 48. *Análisis de rangos de la prueba wilcoxon para el contaminante fisicoquímico: Nitrógeno para la especie Lumbricus terrestris*

Nitrógeno	Especie <i>Lumbricus terrestris</i>		
	N	Rango promedio	Suma de rangos
Rangos negativos	8	50.50	3434.00
Rangos positivos	8	8.50	136.00
Empates	0		
Total	16		

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

Finalmente, los resultados para los grupos en relación a los Coliformes termotolerantes; también fueron favorables; consiguiendo un valor mínimo de 336610.00 en la suma de los rangos, afirmando por consiguiente que los grupos también presentan diferencia significativa entre los valores analizados a favor del estudio “antes” de la aplicación del método del lombrifiltro sobre el “después” para el parámetro Coliformes termotolerantes (ver Tabla 49).

Tabla 49. Análisis de rangos de la prueba wilcoxon para el parámetro microbiológico: Coliformes termotolerantes para la especie *Lumbricus terrestris*

Coliformes termotolerantes	Especie <i>Lumbricus terrestris</i>		
	N	Rango promedio	Suma de rangos
Rangos negativos	8	2920.50	12266100.00
Rangos positivos	8	410.50	336610.00
Empates	0		
Total	16		

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

Consecuentemente los resultados de la prueba de Wilcoxon mostrados en la Tabla 50 demuestran que todos los contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos (pH con $Z = -3.464$, turbidez con $Z = -7.810$, DBO5 con $Z = -11.045$, DQO con $Z = -17.059$, Nitrógeno con $Z = -9.110$ y los Coliformes termotolerantes con $Z = -70.845$), obtuvieron resultados favorables respecto al método después de la aplicación, de manera que el estudio fue eficiente, en la en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas-Amazonas así lo corrobora los resultados del $p < 0.005$ para todos los casos.

Tabla 50. Prueba estadística de Wilcoxon para los contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos de la especie *Lumbricus terrestris*

Wilcoxon	pH	Turbidez	DBO5	DQO	Nitrógeno	CT
Z	-3.464	-7.810	-11.045	-17.059	-9.110	-70.845
Sig. asintótica (bilateral)	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

Regla de decisión

Como el valor del sig = 0,000 < $\alpha = 0,05$ para todos los contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos para la especie *Lumbricus terrestris*, se decide rechazar la hipótesis nula a favor de la alternativa.

Conclusión

El método del lombrifiltro con la especie *Lumbricus terrestris* fue eficiente en la remoción de los contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales domésticas,

demostrando de esta manera que el método contribuye favorablemente y otorga un aporte significativo al el Distrito de Chachapoyas-Amazonas.

4.9.4. Análisis estadístico a través de Prueba de U Mann – Whitney para los Parámetros físico-químicos y microbiológicos de las especies *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*

Hipótesis:

- **H₀₃:** El método del lombrifiltro con la especie *Eisenia foetida* no difiere de la especie *Lumbricus terrestris* en la remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual doméstica.
- **H_{a3}:** El método del lombrifiltro con la especie *Eisenia foetida* difiere de la especie *Lumbricus terrestris* en la remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual doméstica.

$$H_0: Me^1 = Me^2$$

$$H_a: Me^1 \neq Me^2$$

Estadística de prueba:

A la luz de las suposiciones, la estadística de prueba aprobada de U de Mann-Whitney y para el caso del análisis de los grupos (*Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*) la formula a utilizar es:

$$Z = \frac{U - (n_1 * n_2)/2}{\sqrt{nn_1 * n_2(n_1 + n_2)/12}}$$

Distribución de la estadística de prueba:

La estadística de prueba es la prueba de U de Mann - Whitney, considerando a Z el

valor condicionante para determinar si se acepta o rechaza el H_0 , bajo las siguientes condiciones detalla a continuación:

Tabla 51. Condiciones para el contraste de hipótesis según la prueba de U de Mann-Whitney

Prueba	A través del valor de Z	A través del valor de sig.
U de Mann-Whitney	Rechazar la H_0 , si, $Z > Z\alpha$ Aceptar la H_0 , si, $Z \leq Z\alpha$	Rechazar la H_0 , si, $\text{Sig} < \alpha$ Aceptar la H_0 , si, $\text{sig} > \alpha$

Resultado Estadístico de la prueba de U de Mann-Whitney con SPSS 24.0

a) pH

Analizando el parámetro del pH a través de la prueba de *U de Mann-Whitney* la Tabla 52 muestra que la suma de los rangos para el grupo de la especie *Eisenia foetida* es superior en el grupo de la especie *Lumbricus terrestris*, demostrando de esta manera que el método del lombrifiltro tuvo un impacto favorable, manteniendo estable al pH, en consecuencia, teniendo un resultado óptimo.

Tabla 52. Análisis de Rangos de la prueba de U de Mann-Whitney para el parámetro del pH

pH	<i>Eisenia foetida</i> / <i>Lumbricus terrestris</i>		
	N	Rango promedio	Suma de rangos
<i>Eisenia foetida</i>	8	11.00	77.00
<i>Lumbricus terrestris</i>	8	4.00	28.00
Total	16		

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

De la misma manera realizando un análisis comparativo entre los grupos de las especies respecto al parámetro pH, los resultados demuestran que la *Eisenia foetida* difiere significativamente sobre la *Lumbricus terrestris* ($Z = -3.606$) de manera que la especie *Eisenia foetida* ayudó a controlar más el PH del agua residual según las muestras. (Ver Tabla 53).

Tabla 53. Prueba de U de Mann-Whitney para el parámetro del pH

Personalización	Valores
U de Mann-Whitney	0,000
Z	-3.606
Sig. asintótica (bilateral)	0.000

Regla de decisión

Como el valor del sig = 0,000 < α = 0,05 se decide rechazar la hipótesis nula a favor de la alternativa.

Conclusión

El método del lombrifiltro fue efectivo en el control del pH, estos resultados garantizan estadísticamente que el método a través del uso de la especie *Eisenia foetida* ayudó a estabilizar el pH, es decir la especie contribuyó en el mantenimiento adecuado del parámetro del pH (valores permitidos dentro del rango según el D.S 004-2017-MINAM) para las aguas residuales del Distrito de Chachapoyas- Amazonas.

a) Turbidez

Examinando el parámetro de la turbidez a través de la prueba de U de Mann-Whitney la Tabla 54 muestra que la suma de los rangos para el grupo de la especie *Eisenia foetida* es superior en el grupo de la especie *Lumbricus terrestris*, demostrando de esta manera que el método del lombrifiltro tuvo un impacto favorable, en la remoción de la turbidez de las aguas residuales.

Tabla 54. Análisis de Rangos de la prueba de U de Mann-Whitney para el parámetro de la Turbidez.

Turbidez	<i>Eisenia foetida</i> / <i>Lumbricus terrestris</i>		
	N	Rango promedio	Suma de rangos
<i>Eisenia foetida</i>	8	4.50	36.00
<i>Lumbricus terrestris</i>	8	13.00	117.00
Total	16		

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

Así también realizando un análisis comparativo entre los grupos de las especies respecto al parámetro de la turbidez, los resultados demuestran que la *Eisenia foetida* difiere significativamente sobre la *Lumbricus terrestris* ($Z = -4.000$) de manera que la especie *Eisenia foetida* ayudó en la remoción de la turbidez del agua residual según las muestras. (Ver Tabla 55).

Tabla 55. Prueba de U de Mann-Whitney para el parámetro del pH

Personalización	Valores
U de Mann-Whitney	0,000
Z	-4.000
Sig. asintótica (bilateral)	0.000

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

Regla de decisión

Como el valor del sig = $0,000 < \alpha = 0,05$ se decide rechazar la hipótesis nula a favor de la alternativa.

Conclusión

El método del lombrifiltro fue efectivo en la remoción de la turbidez, estos resultados garantizan estadísticamente que el método a través del uso de la especie *Eisenia foetida* ayudó en la reducción de la turbidez de las aguas residuales del Distrito de Chachapoyas- Amazonas.

b) DBO5

Evaluando el parámetro de la DBO5 a través de la prueba de *U de Mann-Whitney* la Tabla 56 muestra que la suma de los rangos para el grupo de la especie *Eisenia foetida* es superior en el grupo de la especie *Lumbricus terrestris*, demostrando de esta manera que el método del lombrifiltro tuvo un impacto favorable, en la remoción de la DBO5 de las aguas residuales.

Tabla 56. *Análisis de Rangos de la prueba de U de Mann-Whitney para el parámetro de la DBO5.*

DBO5	<i>Eisenia foetida / Lumbricus terrestris</i>		
	N	Rango promedio	Suma de rangos
Eisenia foetida	8	5.50	55.00
Lumbricus terrestris	8	16.00	176.00
Total	16		

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

Así también realizando un análisis comparativo entre los grupos de las especies respecto al parámetro de la DBO5, los resultados demuestran que la *Eisenia foetida* difiere significativamente sobre la *Lumbricus terrestris* ($Z = -4,472$) de manera que la especie *Eisenia foetida* ayudó en la remoción de la DBO5 del agua residual según las muestras. (Ver Tabla 57).

Tabla 57. *Prueba de U de Mann-Whitney para el parámetro de la DBO5*

Personalización	Valores
U de Mann-Whitney	0,000
Z	-4,472
Sig. asintótica (bilateral)	0.000

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

Regla de decisión

Como el valor del sig = 0,000 < $\alpha = 0,05$ se decide rechazar la hipótesis nula a favor de la alternativa.

Conclusión

El método del lombrifiltro fue efectivo en la remoción de la DBO5, estos resultados garantizan estadísticamente que el método a través del uso de la especie *Eisenia foetida* ayudó en la reducción de la DBO5 de las aguas residuales del Distrito de Chachapoyas-Amazonas.

c) DQO

Estudiando el parámetro de la DQO a través de la prueba de *U de Mann-Whitney* la Tabla 58 muestra que la suma de los rangos para el grupo de la especie *Eisenia foetida* es superior en el grupo de la especie *Lumbricus terrestris*, demostrando de esta manera que el método del lombrifiltro tuvo un impacto favorable, en la remoción de la DQO de las aguas residuales.

Tabla 58. *Análisis de Rangos de la prueba de U de Mann-Whitney para el parámetro de la DQO.*

DQO	<i>Eisenia foetida / Lumbricus terrestris</i>		
	N	Rango promedio	Suma de rangos
<i>Eisenia foetida</i>	8	18.50	666.00
<i>Lumbricus terrestris</i>	8	57.00	2337.00
Total	16		

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

Así también realizando un análisis comparativo entre los grupos de las especies respecto al parámetro de la DQO, los resultados demuestran que la *Eisenia foetida* difiere significativamente sobre la *Lumbricus terrestris* ($Z = -8,718$) de manera que la especie *Eisenia foetida* ayudó en la remoción de la DQO del agua residual según las muestras. (Ver Tabla 59).

Tabla 59. *Prueba de U de Mann-Whitney para el parámetro de la DQO*

Personalización	Valores
U de Mann-Whitney	0,000
Z	-8,718
Sig. asintótica (bilateral)	0.000

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

Regla de decisión

Como el valor del sig = $0,000 < \alpha = 0,05$ se decide rechazar la hipótesis nula a favor de la alternativa.

Conclusión

El método del lombrifiltro fue efectivo en la remoción de la DQO, estos resultados garantizan estadísticamente que el método a través del uso de la especie *Eisenia foetida* ayudó en la reducción de la DQO de las aguas residuales del Distrito de Chachapoyas-Amazonas.

d) Nitrógeno

Analizando el parámetro del nitrógeno a través de la prueba de *U de Mann-Whitney* la Tabla 60 muestra que la suma de los rangos para el grupo de la especie *Eisenia foetida* es superior en el grupo de la especie *Lumbricus terrestris*, demostrando de esta manera que el método del lombrifiltro tuvo un impacto favorable, en la remoción del nitrógeno de las aguas residuales.

Tabla 60. Análisis de Rangos de la prueba de U de Mann-Whitney para el parámetro de la Nitrógeno

Nitrógeno	<i>Eisenia foetida / Lumbricus terrestris</i>		
	N	Rango promedio	Suma de rangos
<i>Eisenia foetida</i>	8	8.00	120.00
<i>Lumbricus terrestris</i>	8	23.50	376.00
Total	16		

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

Asimismo, realizando un análisis comparativo entre los grupos de las especies respecto al parámetro del nitrógeno, los resultados demuestran que la *Eisenia foetida* difiere significativamente sobre la *Lumbricus terrestris* ($Z = -5.477$) de manera que la especie *Eisenia foetida* ayudó en la remoción del nitrógeno del agua residual según las muestras. (Ver Tabla 61).

Tabla 61. Prueba de U de Mann-Whitney para el parámetro del Nitrógeno

Personalización	Valores
U de Mann-Whitney	0,000
Z	-5.477
Sig. asintótica (bilateral)	0.000

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

Regla de decisión

Como el valor del sig = 0,000 < α = 0,05 se decide rechazar la hipótesis nula a favor de la alternativa.

Conclusión

El método del lombrifiltro fue efectivo en la remoción del nitrógeno, estos resultados garantizan estadísticamente que el método a través del uso de la especie *Eisenia foetida* ayudó en la reducción del nitrógeno de las aguas residuales del Distrito de Chachapoyas-Amazonas.

e) Coliformes termotolerantes

Analizando el parámetro de los Coliformes termotolerantes a través de la prueba de *U de Mann-Whitney* la Tabla 62 muestra que la suma de los rangos para el grupo de la especie *Eisenia foetida* es superior en el grupo de la especie *Lumbricus terrestris*, demostrando de esta manera que el método del lombrifiltro tuvo un impacto favorable, en la remoción de los Coliformes termotolerantes de las aguas residuales.

Tabla 62. Análisis de Rangos de la prueba de U de Mann-Whitney para el parámetro de Coliformes termotolerantes

Coliformes termotolerantes	<i>Eisenia foetida</i> / <i>Lumbricus terrestris</i>		
	N	Rango promedio	Suma de rangos
<i>Eisenia foetida</i>	8	343,00	234955,00
<i>Lumbricus terrestris</i>	8	1095,50	898310,00
Total	16		

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

Así también, realizando un análisis comparativo entre los grupos de las especies respecto al parámetro de Coliformes termotolerantes, los resultados demuestran que la *Eisenia foetida* difiere significativamente sobre la *Lumbricus terrestris* ($Z = -5.477$) de manera que la especie *Eisenia foetida* ayudó en la remoción de los Coliformes termotolerantes del agua residual según las muestras. (Ver Tabla 63).

Tabla 63. Prueba de U de Mann-Whitney para el parámetro de Coliformes termotolerantes

Personalización	Valores
U de Mann-Whitney	,000
Z	-38,781
Sig. asintótica (bilateral)	0.000

Fuente: Extraída del SPSS 24.0

Regla de decisión

Como el valor del sig = 0,000 < $\alpha = 0,05$ se decide rechazar la hipótesis nula a favor de la alternativa.

Conclusión

El método del lombrifiltro fue efectivo en la remoción de los Coliformes termotolerantes, estos resultados garantizan estadísticamente que el método a través del uso de la especie *Eisenia foetida* ayudó en la reducción de Coliformes termotolerantes de las aguas residuales del Distrito de Chachapoyas- Amazonas.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El lombrifiltro demostró una efectiva remoción en todos los parámetros analizados, alcanzando eficiencias del 92% con la especie *Eisenia foetida* (lombriz roja californiana) y 91 % con la *Lumbricus terrestris* (lombriz de tierra común) respecto a la demanda biológica de oxígeno (DBO5), la demanda química de oxígeno (DQO) fue de 86% EF y 84% LT; en el Nitrógeno total; 78% EF y 77% LT; en la turbidez; 84.4% EF y 83 % LT; de Coliformes Termotolerantes 84% EF y 80% LT; asimismo, se obtuvo un pH neutro de 6.7 y 6.68 con un porcentaje de eficiencia del 93% para ambas especies respectivamente
- 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 (112.3 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.
- Los actores principales en la degradación de la materia orgánica fueron las especies *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris* la elección de estas especies 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 para la *Eisenia foetida*, a diferencia de la *Lumbricus terrestris* fue un reto importante en la investigación porque de esta forma se determinó su eficiencia respecto a la remoción de los contaminantes del agua residual doméstica, esta especie fue elegida por su fácil

accesibilidad y no tiene costo alguno porque se lo puede encontrar en todo tipo de tierras húmedas.

- Tanto los parámetros fisicoquímicos como microbiológico se encuentran por debajo de los valores establecidos por los Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. La DBO5 final fue 9.5 mg/L para la especie *EF* y 10.52 mg/L para la *LT*, ambas especies por debajo del valor máximo del D.S que es 15 mg/L; la DQO fue de 36.3 mg/L para la especie *EF* y 41 mg/L para la *LT*, y en el decreto su valor máximo es 40 mg/L; el Nitrógeno Total fue 15.3 mg/L para la especie *EF* y 15.7 mg/L para la *LT* y el decreto menciona un valor máximo de 100mg/L; el pH fue 6.7 y 6.68 encontrándose dentro de los rangos (6.5 – 8.5), respecto a la turbidez el valor máximo elegido en la investigación fue de 20 UNT y en los análisis se obtuvo un resultado de 8.2 UNT para la *EF* y 9.1 para la *LT*. Para los CT el rango máximo en el DS N° 004-2017-MINAM es de 2000 NMP/100 mL para riego restringido y 1000 NMP/100 MI para riego no restringido y bebidas de animales, los resultados obtenidos fueron de 685 NMP/100 ml para la *EF* y 820 NMP/100 para la *LT*, encontrándose ambas especies dentro de los estándares permitido por el decreto. Concluyendo así, que dicha agua es apta para ser utilizada en el regadío de vegetales no restringido y restringido, como para bebidas de animales, haciéndola una opción efectiva para el tratamiento de las aguas residuales domesticas de la ciudad de Chachapoyas. Asimismo, el efluente no tenía ningún olor desagradable y tampoco había proliferación de vectores.
- Finalmente, la eficiencia de remoción de contaminantes de las aguas residuales domesticas de la ciudad de Chachapoyas, fue comparada entre especies teniendo que la *Eisenia foetida* obtuvo una remoción promedio del 87%, mientras que la *Lumbricus terrestris* lo hizo en un 85%, demostrándose en esta investigación que la especie *Eisenia*

foetida es más eficiente para la remoción de contaminantes, sin embargo, ambas especies reflejan una buena eficiencia debido a que encuentran dentro de los límites aceptables por el DS vigente.

5.2. Recomendaciones

- Para obtener una mayor eficiencia se recomienda el uso de otro tipo de alimentación externa para las lombrices como restos orgánicos o aserrín de madera de pino que son más blandas, también emplear una capa de arena para poder remover de forma adecuada los aceites y grasas presentes (si es que en su resultado de laboratorio este parámetro resulta alto), asimismo al final del lombrifiltro colocar una capa o filtro de carbón activado para que exista mayor retención de los sólidos del agua.
- Es muy importante la consideración de la temperatura ambiente, debido a que este afecta directamente a las lombrices, es recomendable una temperatura de entre 20 y 25°C, para que no altere en la remoción de contaminantes del agua residual.
- Asimismo, efectuar lavados periódicos al lecho filtrante del lombrifiltro para evitar la colmatación, y la aportación de sales a los procesos. Además de la constante limpieza de las excretas de las lombrices para impedir el aumento de la turbidez del agua.
- Se recomienda para futuras investigaciones realizar estudios donde se tengan en cuenta otros factores como los metales pesados, que no fueron incluidos en este trabajo.

REFERENCIAS

- Acuña, J., & Reyes, J. (2015). Uso de la Lombriz de tierra y sus efectos en las aguas residuales en la ciudad de Cotabambas-Amazonas, 2015.
- Alanis, C. (2003). Introducción al Conocimiento de la Lombricultura. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro.”
- Alvarez 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. *Dialnet*, 7(1), 113–126.
- ANA. (2014). Tratamiento sanitario de aguas residuales. Retrieved from <http://tratamientosanitarioideaguasresiduales.com>
- ANA. (2016). Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. Lima.
- Alianza por el Agua (APA). (2015). Manual de depuración de aguas residuales urbanas.
- APHA, AWWA, W. (1985). Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales.
- Arango, J. (2003). Evaluación Ambiental del Sistema Tohá en la Remoción de Salmonella en Aguas Servidas Domésticas. Universidad de Chile.
- Arenas, S., & Nuncira, A. (2010). Evaluación de Humedales Artificiales para el Tratamiento de Aguas Residuales del Sector Industrial Avícola. Universidad Industrial de Santander Facultad.

- Barrenechea, A. (2004). Aspectos físicoquímicos de la calidad del agua. Tratamiento de Agua Para Consumo Humano. Plantas de Filtración Rápida. Manual I: Teoría., 1, 2–56. Retrieved from <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomoI/uno.pdf>
- Bash, E. (2015). Sistema de tratamiento de agua mediante biofiltros. PhD Proposal (Vol. 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Bhise, H. S., & Anaokar, G. S. (2015). Design and Suitability of Modular Vermifilter for Domestic Sewage Treatment. *International Journal*, 44(4), 44–51.
- Blouin, M., Sery, N., Cluzeau, D., Brun, J. J., & Bédécarrats, A. (2013). Balkanized research in ecological engineering revealed by a bibliometric analysis of earthworms and ecosystem services. *Environmental Management*, 52(2), 309–320. <https://doi.org/10.1007/s00267-013-0079-8>
- Bourrut, H. (2015). Lombrices de tierra.
- Bowman, R., Gloyna, E., Middlebrooks, J., & Pearson, G. (2002). Wastewater Technology Fact Sheet: Facultative Lagoons. EPA, 1–4.
- Brack, A., Aranda, C., Bernales, M., Bustamante, R., Campos, L., Capurro, F., Gomero, L. (2008). Diagnóstico ambiental del Perú. Lima.
- Caicedo, J. (2017). Diseño, Construcción y Evaluación de un Prototipo Biológico Compuesto de Eisenia Fetida y Agave Filifera, Para el Tratamiento de Aguas Residuales en la Granja del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Riobamba 2015“. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

- Campos, S. Parametros y características de las aguas naturales, Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas.
- 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>
- Chavez, C., & Fuentes, A. (2013). Determinacion de Parametros Fisicoquimicos y Microbiologicos del Lixiviado Obtenido del Estiercol de Bovino Utilizando Eisenia Foetida (Lombriz Roja Californiana). Universidad De El Salvador Rector
- Coila, K. (2013). Lombrifiltro; diseño, implementacion y mantenimiento.
- Collazos, J. (2008). Tratamiento de aguas residuales domesticas e industriales. Colombia: Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingenieria Catedra Internacional.
- Congreso. (1993). Constitucion Política del Perú. Lima.
- Coronel, N. (2015). “Diseño e Implementación a Escala de un Biofiltro Tohá en la Espoch para la Depuración de Aguas Residuales Domésticas Procedentes de la Comunidad Langos la Nube.” Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Cubillos, A. (2000). Parametros y características de las aguas residuales. Lima.
- Deloya, A. (2013). Biodiscos : Una Alternativa de Tratamiento Biológico para Aguas Residuales Cuando no se Dispone de Grandes Extensiones de Terreno. Tecnología en Marcha (Vol. 13).

- Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego -DGIAR. (2015). Medición de agua.
- Díaz, E. (2002). Guía de lombricultura.
- Domínguez, J., Aira, M., & Gómez-Brandon, M. (2009). El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. *Ecosistemas*, 18(2), 20–31.
- Duran, L., & Henriquez, 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: Composicion. Aguas Residuales. Composición, 22.
- Fernandez, E., & Sanchez, K. (2016). Evaluación de un Lecho 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. (2001). Las lombrices de tierra de México (Annelida, Oligochaeta): diversidad, Ecología y manejo. *Acta Zoologica Mexicana*, (Es1), 131–171.
- Fragoso, C., & Brown, G. (2011). Ecología y taxonomía de las lombrices de tierra en Latinoamérica.
- Fragoso, C., & Rojas, P. (2014). Biodiversidad de lombrices de tierra (Annelida:

Oligochaeta: Crassiclitellata) en Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(SUPPL.), 197–207. <https://doi.org/10.7550/rmb.33581>

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. J., Mapara, J. V., & Prabhune, M. (2015). Domestic Waste Water Treatment By Bio-Filtration : a, 4(1), 140–145.

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>

Gonzalez, G. (2011). Ecología de las lombrices.

González, L. (2013). Nitrógeno, importancia de su determinación.

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 Toha en la planta de tratamiento de aguas servidas de Valdivia. Universidad Austral de Chile.

Hernández, Y. (2005). Anteproyecto De Construcción Para Aplicación De Lombricultura Al Tratamiento De Planta Llau-Llao De Salmonera Invertec S.A. Universidad Austral

De Chile.

Hoffmann, H. (2007). Ejemplo para un saneamiento ecoeficiente con reuso total de efluentes y biosólidos tratados , aplicado en el Colegio San Christoferus – Lima, 1–10.

Iván, G., & Daury, A. (2017). Remoción de nitrógeno amoniacal total en un biofiltro : percolador-columna de arena. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, VIII, 81–93.

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>

Jimenez, A. (2016). Estudio de un sistema de un tratamiento de agua residuales proveniente de una fabrica 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>

Kámiche, J. (2010). Informe Resumen Ambiental Nacional (RAN).

Lecca, E. (2013). Tratado del agua y la legislación peruana, 10, 106–117.

Lorenzo, E., Llanes, J., Fernández, L., & Bataller, M. (2009). Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 40(1), 35–44.

Madera, C., Silva, J., & Peña, M. (2005). Sistemas combinados para el tratamiento de aguas residuales basados en tanque séptico - filtro anaerobio y humedales subsuperficiales. *Ingeniería Y Competitividad*, 7(2), 5–10. Retrieved from

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=22956366&lang=es&site=ehost-live>

Madueño, R., & Sandoval, J. (2009). Evaluación del uso de la planta acuática Lemna minor para determinar la eficiencia remocional de nutrientes a escala reactor del efluente de la laguna Secundaria de la Planta CITRAR. Universidad Nacional de Ingeniería.

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).

Mara, D. (2003). Domestic wastewater treatment in developing countries.

Marsilli, A. (2005). Tratamiento de aguas residuales.

Martinez, C. (2012). Lombricultura. Mexico.

Mendez, 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. (2008). Ds. 002-2008-Minam.

MINAM. (2009). Ley General del Ambiente- Ley N° 28611.

MINAM. (2012). Política Nacional de Educación Ambiental. Lima.

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.

Ministerio de, V. (2010). RM-2010-176.pdf.

Momo, F, Falco, L., & Craig, E. (2003). Las Lombrices de Tierra como Indicadoras Del Deterioro Del Suelo, 55–63.

Monte, M., Ruiz, G., Saavedra, L., & Suarez, F. (2014). Tratamiento De Aguas Servidas Alternativo : Lombrifiltro.

Montserrat, P. (2004). La lombriz, la cuidadora de los pastos.

Moreno, A., & Borges, S. (2004). Avance en taxonomía de las lombrices de tierra.

Moreno, L. (2009). Características de las aguas residuales.

Muñoz, P. (2010). Apuntes Sobre Contaminación Y Tratamiento De Aguas. Retrieved from <http://www.lombrifiltro.cl/Lombrifiltro.html>

MVCS. (2014). Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. Lima.

- Nodal, E. (2001). Procesos Biológicos Aplicados Al Tratamiento De Agua Residual, XXII(4), 52–56.
- Núñez, F. (2016). Tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel familiar, con Humedales Artificiales de flujo subsuperficial Horizontal, mediante la especie macrófita emergente *Cyperus Papyrus* (Papiro). Universidad Pruana Union.
- Oakley, S. (2005). Manual de Diseño, Operación y Mantenimiento , Monitoreo y Sostenibilidad de Lagunas de Estabilización en Honduras, 255.
- Oakley, S., & Salguero, L. (2011). Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Centroamérica, 1.
- 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. Limal. Retrieved from https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- OEFA. (2016). INFOR. 0459-2016-OEFA-DS-SEP MP CHACHAPOYAS.pdf. Chachapoyas.
- 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=76097c241a28a12e44304a18ecec23>

OMS. Guías para la calidad del agua potable (2006).

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.

Perez, F., & Camacho, K. (2011). Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Servidas. Retrieved from <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/29490/1/PerezAlarconyCamachoAlcala.pdf>

Quinchel, J. (2015). Plan de Gestión de Manejo de Sistema Sanitario de Aguas. Colombia.

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.

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.

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.

Rumi, A., Schuldt, M., & Gutierrez, D. (2005). Determinacion de edades (clases) en poblaciones de Eisenia Fetida (Annelida: lumbricidae) y sus implicancia reprobologicas. Museo de la Plata. Argentina.

Saézn, R. (2012). Introducción; y uso de aguas residuales tratadas en agricultura y acuicultura.

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, P. (2005). Sistema Toha: una alternativa ecologica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales.

Sampieri, R., Fernandez, C., & Baptista, L. (2010). Metodologia de la investigacion. (J. Mares, Ed.) (Quinta). Mexico.

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/> <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n080807.html>

Selles van Sch, G., Ferreyra, R., Ahumada, R., Santelices, M., Garcia-Huidobro, J., & Ruiz, R. (2006). Lombrices como agentes Mejoradores de las propiedades físicas del suelo en huertos frutales.

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>

Solano, G., & Guzman, G. (2014). Producción de abono orgánico en pequeña escala con lombriz californiana (*Eisenia foetida*).

Struck, S. D., Selvakumar, A., & Borst, M. (2000). Performance of Retention Ponds and Constructed Wetlands for Attenuating Bacterial Stressors, 1–24.

Sudipti, A., Rajpal, A., Bhargava, R., & Kumar, T. (2013). Vermifiltration : A low-cost and sustainable alternative for wastewater treatment. *Ecological Engineering*, (June 2013), 5.

SUNASS. (2013). fiscalizacion de las EPS de aguas residual y alcantarillado. *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53).

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

SUNASS. (2014). Benchmarking Regulatorio de las EPS (Datos 2014) 2014.

SUNASS. (2015). benchmarking 2015.

Tapia, L., & Barañaño, P. (2004). Tratamiento de las Aguas Servidas : Situación en Chile. *Ciencia & Trabajo*, 13(3), 111–117.

Tomar, P., & Suthar, S. (2011). Urban wastewater treatment using vermi-biofiltration system. *Desalination*, 282, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.09.007>

UNESCO. (2016). Agua y Empleo.

Vargas, A. (2000). Morfología de la lombriz de tierra.

Vásquez, M. (2013). Crean filtro con aserrín para tratar aguas contaminadas.

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 Equinocial.

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. (2016). Effects of earthworms and substrate on diversity and abundance of denitrifying genes (nirS and nirK) and denitrifying rate during. *Bioresource*

Technology, 212(06), 174–181. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.04.044>

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. M., Luo, X. Z., Zhang, Y. M., Lian, J. J., Gao, Y. X., & Zheng, Z. (2013). Effect of earthworm loads on organic matter and nutrient removal efficiencies in synthetic domestic wastewater, and on bacterial community structure and diversity in vermifiltration. *Water Science and Technology*, 68(1), 43–49. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.178>

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>

Zhao, Y. J., Yan, C., Li, Y. L., Li, J. H., Yang, M., Nie, E., ... Luo, X. Z. (2012). Effect of C/N ratios on the performance of earthworm eco-filter for treatment of synthetics domestic sewage. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(9), 4049–4059. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-0871-7>

ANEXO

Anexo 1. Requisitos para la toma de muestra de aguas y su preservación

Determinación	Recipiente	Volumen mínimo de muestras, mL	Tipo de muestra	Preservación	Almacenamiento o máximo recomendado
Acidez	P, V	100	s	Refrigerar	14 d
Alcalinidad	P, V	200	s	Refrigerar	14 d
Boro	P	100	s, c	No requiere	6 meses
Bromuro	P, V	100	s, c	No requiere	28 d
Carbono orgánico, total	V	100	s, c	Análisis inmediato; o refrigerar y agregar H ₃ PO ₄ O ₂ SO ₄ hasta pH<2	28 d
Cianuro: Total	P, V	500	s, c	Agregar NaOH hasta pH>12, refrigerar en la oscuridad	14 d
Clorable	P, V	500	s, c	Agregar 100 mg Na ₂ S ₂ O ₃ /L	14 d
Cloro residual	P, V	500	s	Análisis inmediato	----
Clorofila	P, V	500	s, c	30 d en la oscuridad	30 d
Cloruro	P, V	50	s, c	No requiere	28 d
Color	P, V	500	s, c	Refrigerar	48 h
Compuestos Orgánicos					
Sustancias activas al azul de metileno	P, V	250	s, c	Refrigerar	48 h
Plaguicidas	V, tapón de TFE	1000	s, c	Refrigerar; agregar 1000 mg ácido ascórbico/L si hay cloro residual	7 días hasta la extracción
Fenoles	P, V	500	s, c	Refrigerar, agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2	40 d después de extraer
Purgables por purga y trampa	V, tapón de TFE	2' 40	s	Refrigerar, agregar HCL hasta pH<2; agregar 1000 mg ácido ascórbico/L si hay cloro residual	14 d
Conductividad	P, V	500	s, c	Refrigerar	28 d
DBO	P, V	1000	s	Refrigerar	48 h
Dióxido de carbono	P, V	100	s	Análisis inmediato	----
Dióxido de cloro	P, V	500	s	Análisis inmediato	----
DQO	P, V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible, o agregar H ₂ SO ₄	28 d
Dureza	P, V	100	s, c	Agregar HNO ₃ hasta pH<2	6 meses

Fluoruro	P	300	s, c	No requiere	28 d
Fosfato	V	100	s	Para fosfatos disuelto filtrar inmediatamente; refrigerar	48 h
Gas digestor de Iodos	V, botella de gases	-----	-----	-----	-----
Grasa y aceite	V, boca ancha calibrado	1000	s, c	Agregar HCL hasta pH<2, refrigerar	28 d
Metales general	500		s	Filtrar, agregar HNO3 hasta pH<2	6 meses
Cromo VI	P, V	300	s	Refrigerar	24 h
Cobre, colorimetría	P, V	-----	-----	-----	-----
Mercurio	P, V	500	s, c	Agregar HNO3 hasta pH<2, 4° C, refrigerar	28 d
Nitrógeno	-----	-----	-----	-----	-----
Amoniaco	P, V	500	s, c	Analizar lo más pronto posible, o agregar H2SO4 hasta pH<2; refrigerar	28 d
Nitrato	P, V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	48 h (28 d para muestras cloradas)
Nitrato + nitrito	P, V	200	s, c	Agregar H2SO4 hasta pH<2, refrigerar	28 d
Nitrito	P, V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	48 h
Orgánico, Kjeldahl	P, V	500	s, c	Agregar H2SO4 hasta pH<2, refrigerar	28 h
Olor	V	500	s	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	-----
Oxígeno disuelto	G, botella de DBO	300	s	-----	-----
Electrodo	-----	-----	-----	-----	-----
Electrodo Winkler	-----	-----	-----	Análisis inmediato. La titulación puede aplazarse después de la acidificación	8 h
Ozono	V	1000	s	Análisis inmediato	-----
pH	P, V	50	s	Análisis inmediato	-----
Sabor	V	500	s	Analizar lo más pronto posible; refrigerar	-----
Salinidad	V, sello de cera	240	s	Análisis inmediato o usar sello de cera	-----
Sílica	P	200	s, c	Refrigerar, no congelar	28 d
Sólidos	P, V	200	s, c	Refrigerar	2-7 d
Sulfato	P, V	100	s, c	Refrigerar	28 d
Sulfuro	P, V	100	s, c	Refrigerar; agregar 4 gotas de acetato de zinc 2N/100 mL; agregar NaOH hasta pH>9	7 d
Temperatura	P, V	-----	s	Análisis inmediato	-----
Turbidez	P, V	100	s, c	Analizar el mismo día; para más de 24 h guardar en oscuridad; refrigerar	48 h
Yodo	P, V	500	s, c	Análisis inmediato	-----

Fuente: (Ministerio de Agricultura & ANA, 2010).

Anexo 2. Cadena de custodia realizada para las muestras antes y después del tratamiento

CARGO

CADENA DE CUSTODIA - CALIDAD DE AGUA Y SUELO				C.U.C. N°: T-1388-12/7-001		TDR N°:		PÁGINA de								
DATOS DEL CLIENTE				DATOS DEL MUESTREO				DATOS DEL ENVÍO								
Nombre o razón social: CODANCA Dirección: CAL. LAS GOLONDRINAS N° 18 LOTE 08 Urb. Los Pinos Persona de contacto: Xiomí Vasni Saboya Ríos Teléfono/Anexo: 98660051 Correo Electrónico: Xsaboya@oeta.gob.pe. Referencia: Monitoreo de agua residual				TIPO DE MUESTRA (Marcar con X): LÍQUIDO <input checked="" type="checkbox"/> SÓLIDO <input type="checkbox"/> UBICACIÓN:				Enviado por: Xiomí Vasni Saboya Ríos Fecha: 14 Septiembre Hora: 5:30 PM Medio de Envío:								
				Distrito: Chachapoyas Provincia: Chachapoyas Departamento: Amazona				Agencia: <input type="checkbox"/> Aerolínea <input type="checkbox"/> T. Privado <input type="checkbox"/> Otro: <input type="checkbox"/>								
CÓDIGO DE LABORATORIO	CÓDIGO DEL PUNTO DE MUESTREO	FILTRADA (Marcar con X)				MUESTRA										Observaciones
		Ácido Nítrico <input type="checkbox"/> Ácido Sulfúrico <input type="checkbox"/> Hidróxido de Sodio <input type="checkbox"/> Acetato de Zinc <input type="checkbox"/> Sulfato de Amonio <input type="checkbox"/>	HNO ₃ H ₂ SO ₄ NaOH (CH ₃ COO) ₂ Zn (NH ₄) ₂ SO ₄													
		PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y/O BIOLÓGICOS										Observaciones				
		FECHA DE MUESTREO (AA/MM/DD)	HORA DEL MUESTREO	TIPO DE MATRIZ (*)	N° ENVASES (**)			PH	Turbidez	Nitrogeno	DBO ₅		DAO	Coliformos Termotolerantes		
					P	V	E									
	LE-26	MUESTRO I-AR	11/09/17	5:30 PM	ARD	X	X	X	X	X	X	X	X			
														Observaciones: Con preservante T _u H ₂ O ₄		
OBSERVACIONES GENERALES																
RESPONSABLE 1		FIRMA:	AGUA (Ref.: NTP 214.042)		(*) TIPO DE MATRIZ		CONTROL DE CALIDAD		CONDICIONES DE RECEPCIÓN (MUESTRAS)				PARA SER COMPLETADO POR EL ÁREA DE RECEPCIÓN DEL LABORATORIO		OBSERVACIONES	
RESPONSABLE 2		FIRMA:	Agua Natural: AS: Agua Superficial ASD: Agua Subterránea Agua Residual: ARD: Agua Residual Doméstica ARI: Agua Residual Industrial Agua Salina: AMAR: Agua de Mar AREY: Agua de Reinyección ASAL: Agua Salobre		SU : Suelo SED: Sedimento LD : Lodo		BKC: Blanco de Campo BKV: Blanco Vialero DUE: Duplicado		Envases adecuados y en buen estado <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Preservantes adecuados <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO con Ice Pack <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Dentro del tiempo de vida útil <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO				Fecha de Recepción: Firma de Recepción: Recibido por: Firma:			
LIDER DE GRUPO		FIRMA:														

Figura 37. Cadena de custodia de las muestras antes del tratamiento

CARGO

CADENA DE CUSTODIA - CALIDAD DE AGUA Y SUELO				C.U.C. N°: T-1388-1217-002 T-1388-1217-003		TDR N°:		PÁGINA de					
DATOS DEL CLIENTE				DATOS DEL MUESTREO				DATOS DEL ENVIO					
Nombre o razón social: CAL MA COLONIA HZA E LOTO 08 Urb. Los Pinos				TIPO DE MUESTRA (Marcar con X): LIQUIDO <input checked="" type="checkbox"/> SÓLIDO <input type="checkbox"/>				Enviado por: Xiomí Saboya Ríos					
Dirección: CAL MA COLONIA HZA E LOTO 08 Urb. Los Pinos				UBICACIÓN: Distrito: Chachapoyas				Fecha: 13 octubre Hora: 5:30 PM					
Persona de contacto: Xiomí Vaani Saboya Ríos				Provincia: Chachapoyas				Medio de Envío: Agencia <input type="checkbox"/> Aerolínea <input type="checkbox"/> T.Privado <input type="checkbox"/>					
Teléfono/celular: 986606951				Departamento: Amazón				Otro <input type="checkbox"/>					
Correo Electrónico: xsaboya@oeta-gob.pe				MUESTRA				Observaciones					
Referencia: Monitoreo de agua Residual				FILTRADA (Marcar con X)									
				Ácido Nítrico: HNO ₃ Ácido Sulfúrico: H ₂ SO ₄ Hidróxido de Sodio: NaOH Acetato de Zinc: (CH ₃ COO) ₂ Zn Sulfato de Amoníaco: (NH ₄) ₂ SO ₄									
PRESERVANTE (V. marcar con X)				PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y/O BIOLÓGICOS				Observaciones					
				F.C.V. DE MUESTREO (A.A./V.M./D.D.) HORA DEL MUESTREO TIPO DE MATRIZ (*) N° ENVASES (**) P V E PH Turbidez Nitrogeno DBO ₅ DBO ₂ Coliformes (Fermos)									
LE-26 HUASTE 003-EF 13/10/17 4:30 PM ARD X X X X X X								con preservant H2SO4					
LE-26 HUASTE 002-LT 13/10/17 4:30 PM ARD X X X X X X								con preservant H2SO4					
OBSERVACIONES GENERALES													
RESPONSABLE 1: Xiomí Saboya Ríos		FIRMA:		AGUA (Ref.: NTP-214.042)		CONTROL DE CALIDAD		CONDICIONES DE RECEPCIÓN (MUESTRAS)		CONFORMIDAD DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS		OBSERVACIONES	
RESPONSABLE 2: Jorge Penabazora de Coarima		FIRMA:		SUELO		BKC: Blanco de Campo BKV: Blanco Vitaleo DUP: Duplicado		Envasados adecuados y en buen estado: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Preservantes adecuados: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> con Ice Pack: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Dentro del tiempo de vida útil: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		Fecha de Recepción: Para de Recepción: Recibido por: Firma:			
LIDER DE GRUPO		FIRMA:		OTROS									

Figura 38. Cadena de custodia de las muestras después del tratamiento

Anexo 3. Informe de los parámetros químicos y microbiológicos pre, otorgados por el laboratorio NKAP.



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POREL
ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA CON
REGISTRO No LE 026

INFORME DE ENSAYO
T-1388-I217-CODAMCA

Pág. 01 de 04

CLIENTE : CODAMCA INGENIEROS S.A.C

ATENCIÓN : CODAMCA INGENIEROS S.A.C

METODO DE ENSAYO : Fisicoquímico, Químico y Microbiológico

PRESENTACION DE LOS ITEM DE ENSAYO : Envases de vidrio

MUESTREO : Muestras tomadas por el cliente

LUGAR Y FECHA DE RECEPCIÓN : Trujillo, 13 de Setiembre

LUGAR Y FECHAS DE EJECUCIÓN : Trujillo, 13 de setiembre, 12:00 pm

Método de Ensayo

Parámetro	Norma-Método	Límite de detección	Tiempo máximo de conservación recomendado/obligado
pH*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ A, B, 22nd Ed. 2012	- Units pH	0.25h
Turbiedad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130, A y B, 22nd Ed. 2012	<0.1 NTU	48h
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 A,B, 22nd Ed. 2012	<2.0 mg/L	48h
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220, A y D, 22nd Ed.2012	<4.69 mg/L	28d
Nitrogeno Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 4500, A y D, 22nd Ed 2012	<0.032 mg/L	28d

T-1388-I217-CODAMCA

INFORME DE ENSAYO
T-1388-I217-CODAMCA

Pág. 02 de 04

MÉTODO DE ENSAYO

Parámetro	Norma-Método	Límite de detección	Tiempo máximo de conservación recomendado/obligado
Coliformes Termotolerante	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 22nd Ed. 2012	<1.8 NMP/100mL	24h

Sello Fecha Emisión Jefe Administrativo Jefe del Laboratorio de Química Jefe del Laboratorio Microbiología



28/09/2017

Alexandra Aurazo Rodríguez



Edder Neyra Jaico
CIP 147028



Igor Saldaña Armas
CBP 8435

LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS CORRESPONDEN A LOS ENSAYOS SOLICITADOS PARA LOS ÍTEM DE ENSAYO RECIBIDOS.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PERMISO DE NKAP SRL.

*Todos los resultados de los ensayos son considerados confidenciales.

* Las muestras serán eliminadas al término del tiempo máximo de conservación recomendado/ obligado, salvo requerimiento expreso del cliente

* Informes de ensayo 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.

INFORME DE ENSAYO
T-1388-I217-CODAMCA

Pág. 03 de 04

Código de Laboratorio		T-1388-01	
Código de Cliente		1	
Ítem de Ensayo		Agua Residual	
Fecha de Muestreo		11/09/2017	
Hora de Muestreo		5:40 pm	
Parámetro	Símbolo	Unidad	
pH*	Units	pH	6.2
Turbiedad	-	NTU	52.6
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO ₅	mg/L	112.3
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	251.4
Nitrógeno Total	N	mg/L	68.3

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA



INFORME DE ENSAYO
T-1388-I217-CODAMCA

Pág. 04 de 04

Código de Laboratorio	T-1388-01	
Código de Cliente	1	
Item de Ensayo	Agua Residual	
Fecha de Muestreo	11/09/2017	
Hora de Muestreo	05:30 pm	
Parámetro	Símbolo	Unidad
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	4200

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA



Figura 39. Informe del laboratorio NKAP, de los parámetros químicos y microbiológicos antes de pasar por el sistema de tratamiento mediante el lombrifiltro

Anexo 4. Informe de los parámetros químicos y microbiológicos post, otorgados por el laboratorio NKAP.




**LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POREL
ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA CON
REGISTRO No LE 026**

INFORME DE ENSAYO
T-1388-I217-CODAMCA

Pág. 01 de 04

CLIENTE : CODAMCA INGENIEROS S.A.C

ATENCIÓN : CODAMCA INGENIEROS S.A.C

METODO DE ENSAYO : Físicoquímico, Químico y Microbiológico

PRESENTACION DE LOS ITEM DE ENSAYO : Envases de vidrio

MUESTREO : Muestras tomadas por el cliente

LUGAR Y FECHA DE RECEPCIÓN : Trujillo, 16 de Octubre

LUGAR Y FECHAS DE EJECUCIÓN : Trujillo, 16 de Octubre, 12:00 pm

Método de Ensayo

Parámetro	Norma-Método	Límite de detección	Tiempo máximo de conservación recomendado/obligado
pH*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ A, B, 22nd Ed. 2012	- Units pH	0.25h
Turbiedad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130, A y B, 22nd Ed. 2012	<0.1 NTU	48h
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 A,B, 22nd Ed. 2012	<2.0 mg/L	48h
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220, A y B, 22nd Ed. 2012	<4.09 mg/L	28d
Nitrogeno Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500, A y D, 22nd Ed. 2012	<0.032 mg/L	28d

T-1388-I217-CODAMCA

INFORME DE ENSAYO
T-1388-I217-CODAMCA

Pág. 04 de 04

Código de Laboratorio		T-1389-01
Código de Cliente		2
Item de Ensayo		Agua Residual- Lt
Fecha de Muestreo		13/10/2017
Hora de Muestreo		4:30 pm
	Parámetro	Símbolo Unidad
	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL 820

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA



Figura 40. Informe del laboratorio NKAP, de los parámetros químicos y microbiológicos después de pasar por el sistema de tratamiento mediante el lombrifiltro con la especie *Lumbricus terrestris*.

**LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POREL
ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA CON
REGISTRO No LE 026**

**INFORME DE ENSAYO
T-1388-I217-CODAMCA**

Pág. 01 de 04

CLIENTE : CODAMCA INGENIEROS S.A.C

ATENCIÓN : CODAMCA INGENIEROS S.A.C

METODO DE ENSAYO : Físicoquímico, Químico y Microbiológico

PRESENTACION DE LOS ITEM DE ENSAYO : Envases de vidrio

MUESTREO : Muestras tomadas por el cliente

LUGAR Y FECHA DE RECEPCIÓN : Trujillo, 16 de Octubre

LUGAR Y FECHAS DE EJECUCIÓN : Trujillo, 16 de Octubre, 12:00 pm

Método de Ensayo

Parámetro	Norma-Método	Límite de detección	Tiempo máximo de conservación recomendado/obligado
pH*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ A, B, 22nd Ed. 2012	- Units pH	0.25h
Turbiedad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130, A y B, 22nd Ed. 2012	<0.1 NTU	48h
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 A,B, 22nd Ed. 2012	<2.0 mg/L	48h
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220, A y D, 22nd Ed. 2012	<4.66 mg/L	28d
Nitrogeno Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500, A y D, 22nd Ed. 2012	<0.032 mg/L	28d

T-1388-I217-CODAMCA

**INFORME DE ENSAYO
T-1388-I217-CODAMCA**

Pág. 02 de 04

MÉTODO DE ENSAYO

Parámetro	Norma-Método	Límite de detección	Tiempo máximo de conservación recomendado/obligado
Coliformes Termotolerante	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 22nd Ed. 2012	<1.8 NMP/100mL	24h

Sello Fecha Emisión Jefe del Laboratorio de Química Jefe del Laboratorio Microbiología

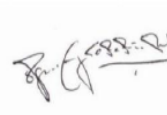
01/11/2017



Alexandra Aurazo Rodríguez



Edder Neyra Jaico
CIP 147028



Igor Saldaña Armas
CBP 8435

LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS CORRESPONDEN A LOS ENSAYOS SOLICITADOS PARA LOS ITEM DE ENSAYO RECIBIDOS.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PERMISO DE NKAP SRL.

* Todos los resultados de los ensayos son considerados confidenciales.

* Las muestras serán eliminadas al termino del tiempo máximo de conservación recomendado/ obligado, salvo requerimiento expreso del cliente

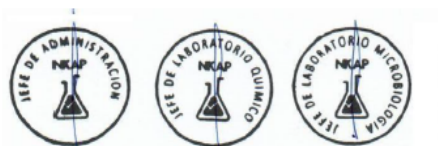
* Informes de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO
T-1388-I217-CODAMCA

Pág. 03 de 04

Código de Laboratorio			T-1390-01
Código de Cliente			3
Ítem de Ensayo			Agua Residual-Ef
Fecha de Muestreo			13/10/2017
Hora de Muestreo			4:30 pm
Parámetro	Símbolo	Unidad	
pH*		Units pH	6.7
Turbiedad	-	NTU	8.2
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO ₅	mg/L	9.5
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	36.3
Nitrógeno Total	N	mg/L	15.3

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA



INFORME DE ENSAYO
T-1388-I217-CODAMCA

Pág. 04 de 04

Código de Laboratorio			T-1390-01
Código de Cliente			3
Ítem de Ensayo			Agua Residual-Ef
Fecha de Muestreo			13/10/2017
Hora de Muestreo			4:30 pm
Parámetro	Símbolo	Unidad	
Coliformes Termotolerantes		NMP/100mL	685

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA



Figura 41. Informe del laboratorio NKAP, de los parámetros químicos y microbiológicos después de pasar por el sistema de tratamiento mediante el lombrifiltro con la especie Eisenia foetida.

Anexo 5. Planos del sistema del tratamiento

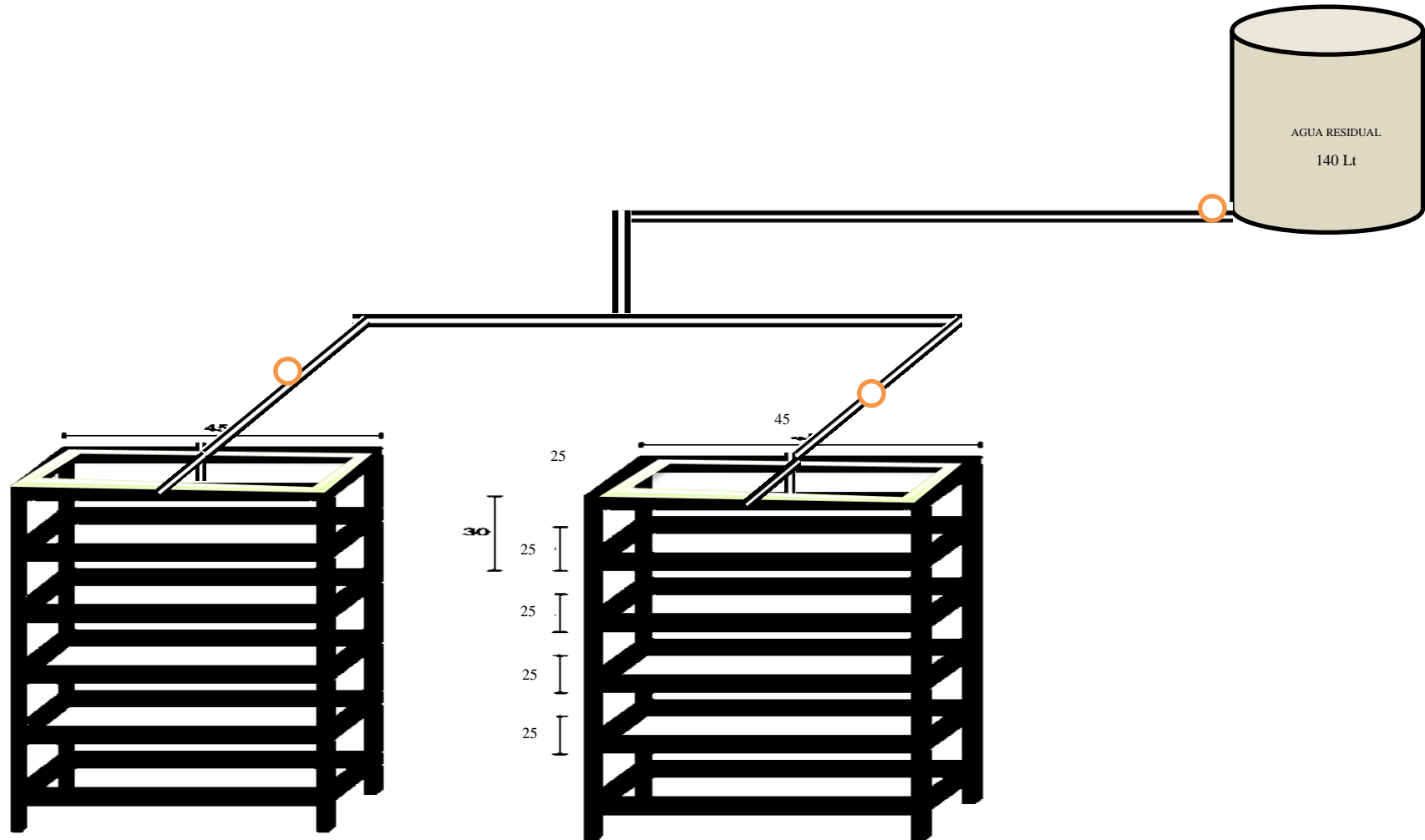


Figura 42. Planta del sistema de tratamiento usada en la investigación.

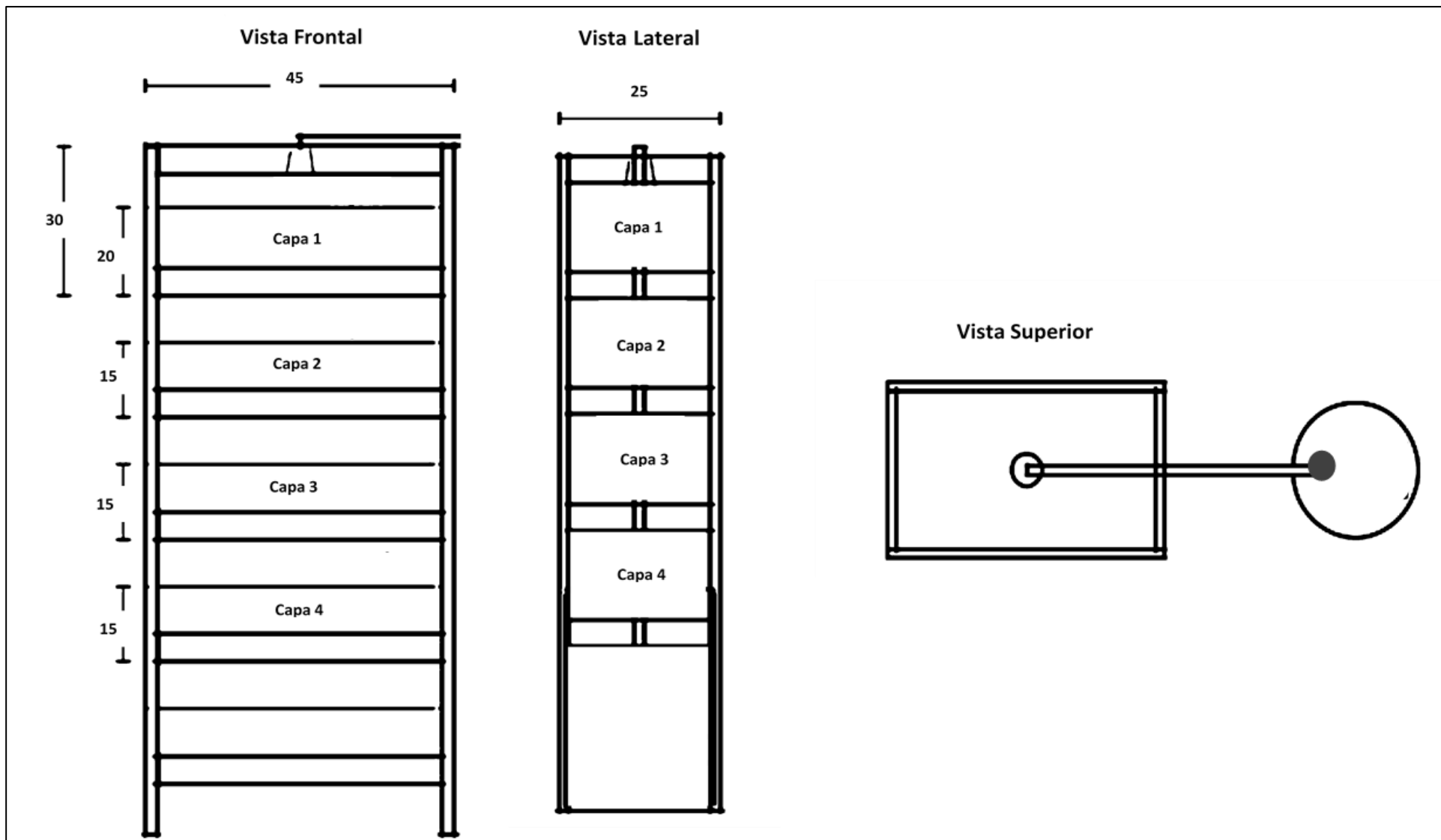


Figura 43. Vista Frontal, Lateral y superior de la planta de tratamiento usada en la investigación

Anexo 6. Construcción del sistema de tratamiento del lombrifiltro





Figura 44. Proceso de construcción del tratamiento mediante lombrifiltro

Anexo 7. Preparación de las Capas del tratamiento del lombrifiltro

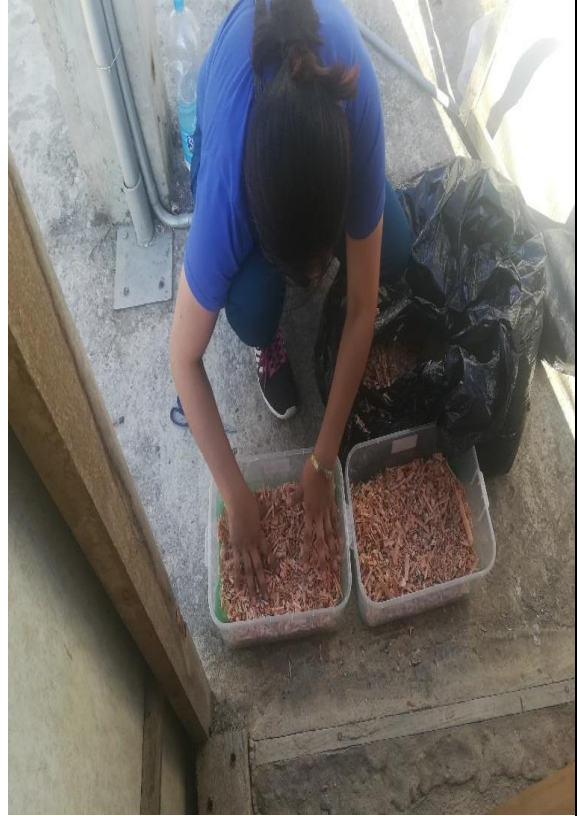




Figura 45. Capas del tratamiento mediante el lombrifiltro

Anexo 8. Recolección y adaptación de las lombrices (*Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*)



Figura 46. Recolección de la especie *Eisenia foetida* de las camadas de crianza



Figura 47. Recolección de la especie *Lumbricus terrestris* en un suelo común





Figura 48. Colocación de las lombrices para fase de adaptación

Anexo 9. Funcionamiento del tratamiento mediante lombrifiltro





Figura 49. Puesta en marcha del tratamiento mediante lombrifiltro

Anexo 10. Recojo de muestras pre y post del tratamiento





Figura 50. Recojo de muestras para el análisis de los parámetros DQO, DBO5, Nitrógeno total, pH, Turbidez y Coliformes termotolerantes antes del ingreso al tratamiento de lombrifiltro









Figura 51. Recojo de muestras para el análisis de los parámetros DQO, DBO5, Nitrógeno total, pH, Turbidez y Coliformes termotolerantes después del tratamiento mediante lombrifiltro

Anexo 11. Comparación visual del proceso de purificación del agua residual

mediante el tratamiento del lombrifiltro



Figura 52. Color visual del agua residual en el primer día del tratamiento mediante Lombrifiltro



Figura 53. Color visual del agua residual en el tercer día del tratamiento mediante Lombrifiltro.



Figura 54. Color visual del agua residual en el sexto día del tratamiento mediante Lombrifiltro.



Figura 55. Agua residual domestica antes del tratamiento mediante el método del Lombrifiltro



Figura 56. Resultado visual del agua después del tratamiento mediante el método del Lombrifiltro (botella izquierda es con la especie *Eisenia foetida*- botella derecha con la especie *Lumbricus terrestris*)