

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por Ley Nro. 25265)



FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

TESIS:

“EFICIENCIA DE LOMBRIFILTRO IMPLEMENTANDO LA TÉCNICA DE PARED CALIENTE EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DEL CENTRO POBLADO DE HUAYLACUCHO DEL DISTRITO DE HUANCVELICA-2018”

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

TECNOLOGÍA AMBIENTAL Y/O SANITARIA

DISCIPLINA:

INGENIERÍA AMBIENTAL

PARA OBTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

PRESENTADO POR:

Bach. Huiza Cayetano, Jackeline Karen

Bach. Ordoñez Cayetano, Nils Gustavo.

HUANCVELICA - PERÚ

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 19 días del mes de diciembre del año 2018, a horas 5:00 p.m, se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los siguientes: **M.Sc. Pedro Antonio PALOMINO PASTRANA (PRESIDENTE)**, **M.Sc. Víctor Guillermo SÁNCHEZ ARAUJO (SECRETARIO)**, **Lic. Mat. Cesar CASTAÑEDA CAMPOS (VOCAL)**, designados con Resolución de Decano N° 134-2018-FCI-UNH, de fecha 05 de octubre del 2018 y ratificados con Resolución de Decano N° 182-2018-FCI-UNH de fecha 18 de diciembre del 2018, a fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "EFICIENCIA DE LOMBRIFILTRO IMPLEMENTANDO LA TÉCNICA DE PARED CALIENTE EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DEL CENTRO POBLADO DE HUAYLACUCHO DEL DISTRITO DE HUANCAVELICA-2018", presentado por los Bachilleres **Jackeline Karen HUIZA CAYETANO** y **Nils Gustavo ORDOÑEZ CAYETANO**, para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitaria**, en presencia del **M.Sc. Fernando Martín TORIBIO ROMÁN**, como Asesor y el **Ing. Julio Daniel ENRÍQUEZ QUISPE** como Co-Asesor del presente trabajo de tesis. Finalizado la evaluación a horas...6:20 p.m....; se invitó al público presente y a los sustentantes abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los Jurados, se llegó al siguiente resultado:

Jackeline Karen HUIZA CAYETANO

APROBADO POR MAYORIA

DESAPROBADO

Nils Gustavo ORDOÑEZ CAYETANO

APROBADO POR MAYORIA

DESAPROBADO

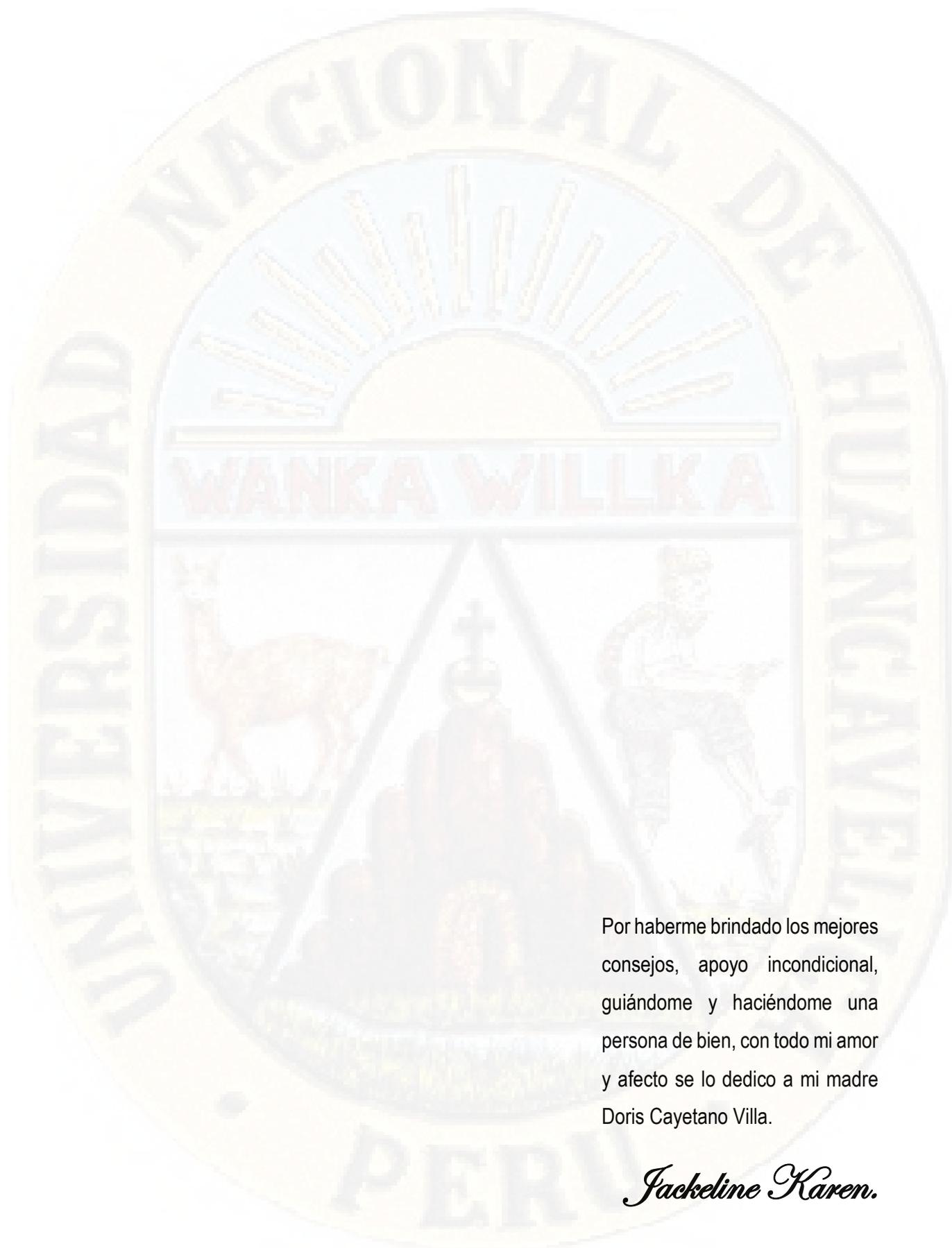
En señal de conformidad, firmamos a continuación:

Presidente

Secretario

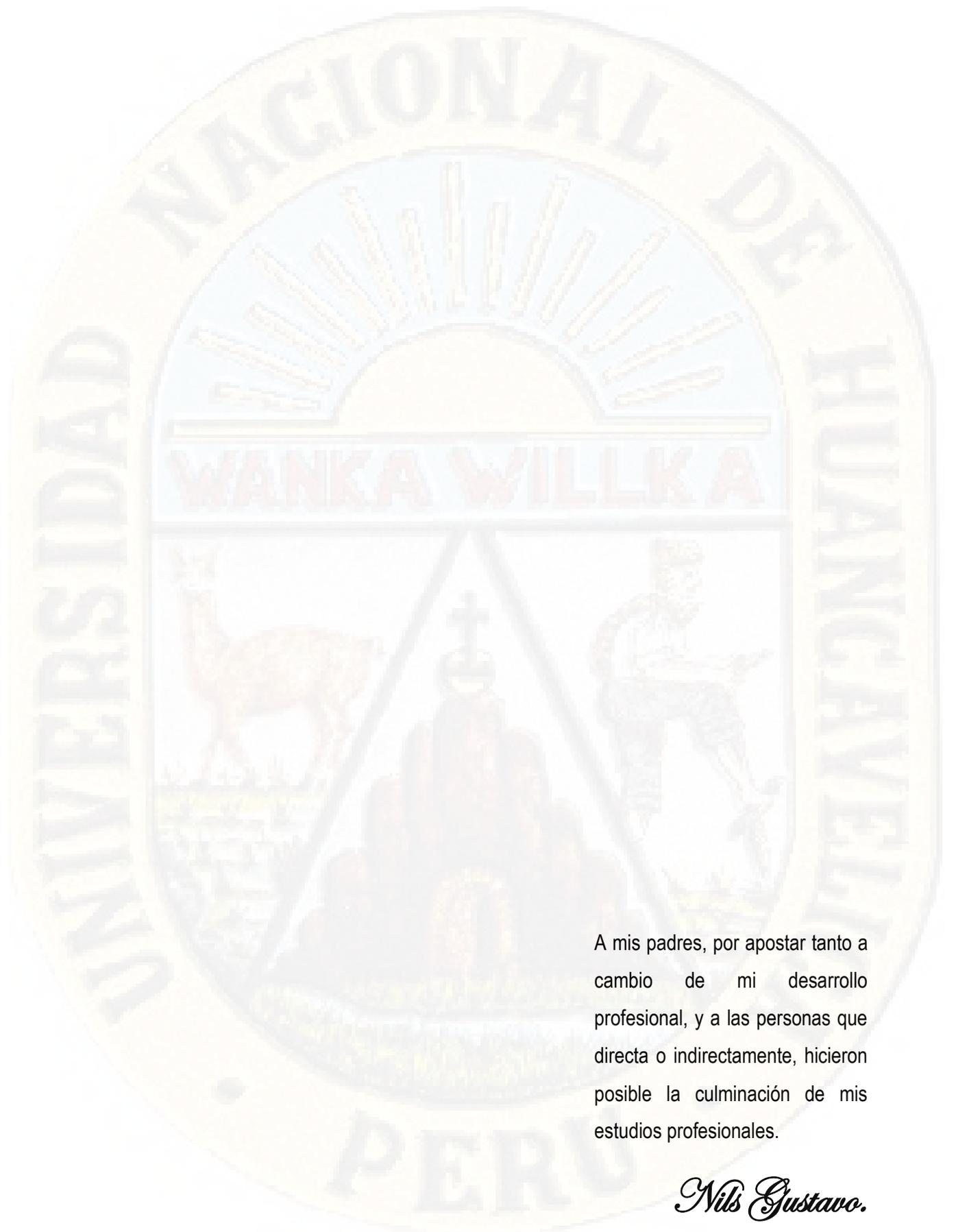
Vocal

Vº Bº Decano



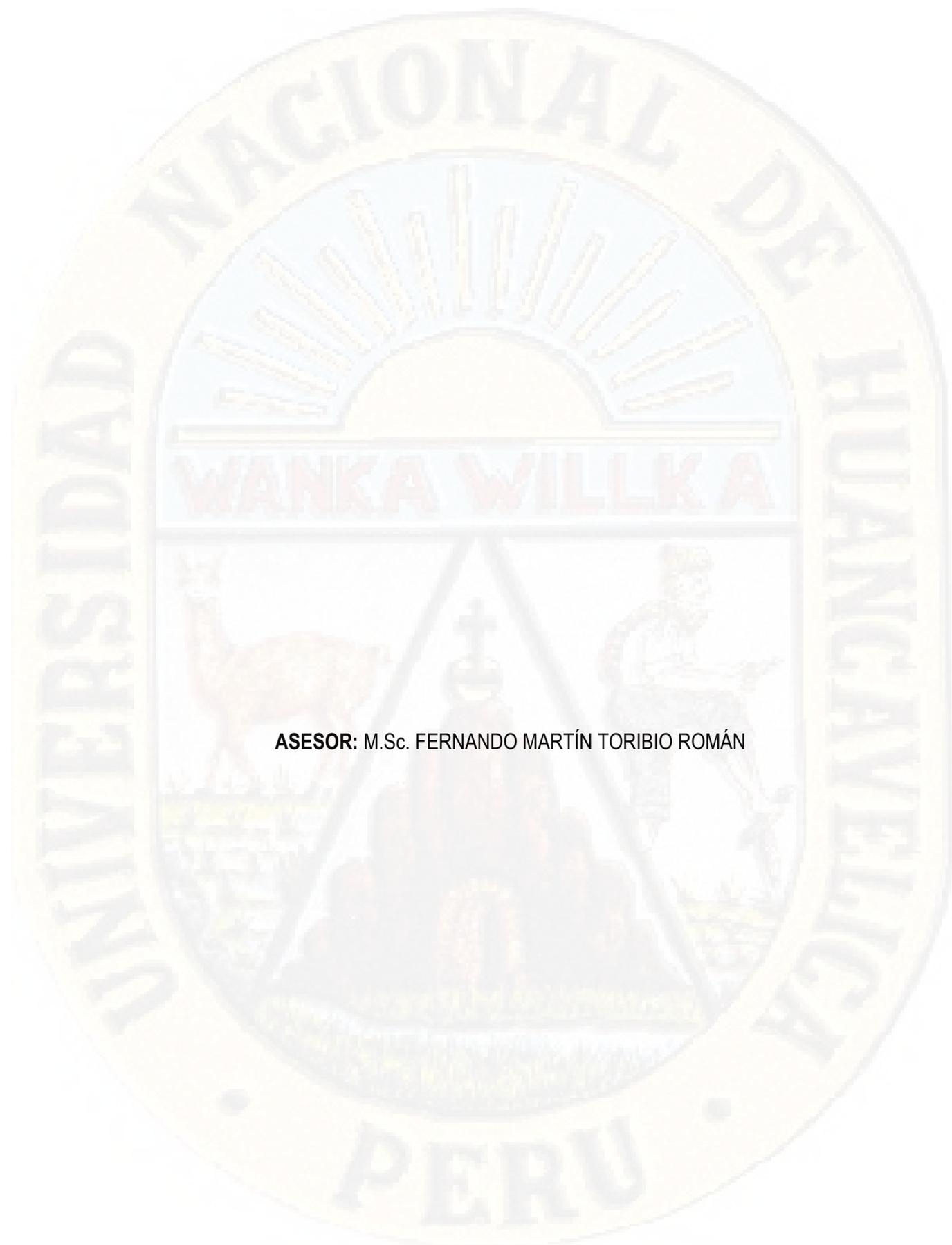
Por haberme brindado los mejores consejos, apoyo incondicional, guiándome y haciéndome una persona de bien, con todo mi amor y afecto se lo dedico a mi madre Doris Cayetano Villa.

Jackeline Karen.



A mis padres, por apostar tanto a cambio de mi desarrollo profesional, y a las personas que directa o indirectamente, hicieron posible la culminación de mis estudios profesionales.

Nils Gustavo.



ASESOR: M.Sc. FERNANDO MARTÍN TORIBIO ROMÁN

RESUMEN

La presente tesis de investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de remoción del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del centro poblado de Huaylacucho del distrito de Huancavelica – 2018, el funcionamiento del sistema del lombrifiltro se inicia con la impulsión del efluente del tanque Imhoff, hacia el tanque de almacenamiento de capacidad de 1100 litros. El sistema de lombrifiltro trata 250 l/m²/día, los estratos del lombrifiltro se encuentran conformados por: bolones, grava, chapas, aserrín, lombrices californianas de la especie *Eisenia foétida* y corteza de tallo de Quinual; la distribución del agua residual se realizó mediante una manguera con pequeños agujeros, generando un riego homogéneo; también se implementó la técnica de pared caliente para acondicionar el desarrollo de las lombrices y aumentar la temperatura en el lombrifiltro. Para obtener datos de los indicadores del lombrifiltro se hizo monitoreos insitu de pH, humedad y temperatura, también se realizó análisis de agua residual respecto a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y coliformes termotolerantes del afluente y efluente del lombrifiltro. La presente investigación obtiene eficiencias de remoción de 62.5% en la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y eficiencia de remoción de hasta 53.25% en la concentración de los coliformes termotolerantes para un tiempo de retención hidráulico de 2 horas. Las características del estrato donde habita las lombrices de la especie *Eisenia foétida* se encontró que la humedad es en promedio 80%, el pH esta entre 6.5 y 8.5; y la temperatura promedio fue de 15°C. por lo que se concluye que el sistema de lombrifiltro es eficiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Palabras claves: Lombrifiltro, *Eisenia foétida*, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), coliformes termotolerantes y tiempo de retención hidráulico.

ABSTRACT

The objective of this research thesis was to evaluate the efficiency of lombrifiltro removal by implementing the hot wall technique in the treatment of domestic wastewater from the Huaylacucho town of Huancavelica district - 2018, the operation of the lombrifiltro system starts with the discharge of the effluent from the Imhoff tank, to the storage tank with a capacity of 1100 liters. The lombrifiltro system treats 250 l / m² / day, the strata of the lombrifiltro are formed by: bolones, gravel, plates, sawdust, Californian worms of the *Eisenia foetida* species and bark of Quinual stem; the distribution of the residual water was carried out by means of a hose with small holes, generating a homogeneous irrigation; The hot wall technique was also implemented to condition the development of earthworms and increase the temperature in the earthworm. To obtain data on the indicators of the vermicomell, in situ monitoring of pH, humidity and temperature was carried out, as well as analysis of residual water with respect to the biochemical oxygen demand (BOD5) and thermotolerant coliforms of the tributary and effluent of the vermicomelt. The present investigation obtains removal efficiencies of 62.5% in the concentration of biochemical oxygen demand (BOD5) and removal efficiency of up to 53.25% in the concentration of thermotolerant coliforms for a hydraulic retention time of 2 hours. The characteristics of the stratum where the earthworms of the species *Eisenia foetida* live, it was found that the humidity is on average 80%, the pH is between 6.5 and 8.5; and the average temperature was 15 ° C. so it is concluded that the vermicelitate system is efficient in the treatment of domestic wastewater.

Key words: Lombrifilter, *Eisenia foetida*, biochemical oxygen demand (BOD5), thermotolerant coliforms and hydraulic retention time.

ÍNDICE

RESUMEN.....	5
ABSTRACT	6
ÍNDICE	7
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	9
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	11
ÍNDICE DE TABLAS	12
INTRODUCCIÓN.....	13
CAPÍTULO I	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.1. Descripción del Problema.....	14
1.2. Formulación del Problema.....	15
1.2.1. Problema General	15
1.2.2. Problemas específicos	16
1.3. Objetivos	16
1.3.1. Objetivo General	16
1.3.2. Objetivos Específicos.....	16
1.4. Justificación.....	17
1.4.1. Justificación económica	17
1.4.2. Relevancia social.....	17
1.4.3. Ambiental	17
1.4.4. Valor teórico.....	18
1.4.5. Utilidad metodológica	18
CAPÍTULO II	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes	19
2.2. Bases Teóricas.....	23
2.3. Hipótesis.....	32
2.4. Definición de Términos	32
2.5. Definición operativa de Variables	36
CAPÍTULO III	38

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	38
3.1. Tipo y Nivel de Investigación.....	38
3.2. Método de Investigación	39
3.3. Diseño de Investigación.....	39
3.4. Población y muestra.....	39
3.5. Técnicas e instrumentos de Recolección de Datos	43
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	71
CAPITULO IV	72
RESULTADOS	72
4.1. Presentación de datos	72
4.2. Análisis de datos	80
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	90
CONCLUSIONES	92
RECOMENDACIONES	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
ANEXOS	99

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Contrastación de datos en campo	40
Fotografía 2. Diagnóstico situacional del centro poblado.	40
Fotografía 3. Extracción de muestras del lombrifiltro.....	42
Fotografía 4. Punto de descarga del agua residual.	43
Fotografía 5. Técnica de pared caliente.	47
Fotografía 6. Planta de tratamiento de aguas residuales del centro poblado de Huaylacucho.	47
Fotografía 7. Zona de transición del pretratamiento.	48
Fotografía 8. Proceso de desbaste de la ptar de Huaylacucho.	49
Fotografía 9. Desarenador de la ptar del centro poblado de Huaylacucho.....	49
Fotografía 10. Tanque imhoff de la planta de tratamiento de aguas residuales del centro poblado de Huaylacucho.	50
Fotografía 11. Bomba sumergible.....	51
Fotografía 12. Tanque rotoplas y generador de energía.	52
Fotografía 13. Técnica de pared caliente.	53
Fotografía 14. Pintado de las piedras planas.	53
Fotografía 15. El aire caliente ingresa y el aire frío sale, por el principio de densidades de gases.....	54
Fotografía 16. Cobertura para generar sombra para la sobrevivencia de las lombrices... 54	
Fotografía 17. Muros del lombrifiltro.	55
Fotografía 18. Presencia de organismos en la poza.....	56
Fotografía 19. Primer estrato del lombrifiltro.....	57
Fotografía 20. Formación de biopelículas en el estrato de chapas.....	58
Fotografía 21. Presencia de lombrices de especie eisenia foétida aireando el estrato. ...	59
Fotografía 22. Tierra orgánica en el lombrifiltro.	59
Fotografía 23. Aireación de las primeras capas del lombrifiltro.	60
Fotografía 24. Colocación de la corteza del quinual.....	61
Fotografía 25. Distribución de caudal sobre el lombrifiltro.	61
Fotografía 26. Limpieza de la manguera que distribuye el caudal.....	62
Fotografía 27. Dimensionamiento del lombrifiltro.....	63
Fotografía 28. Muestras preservadas en cooler durante el traslado al laboratorio.	64

Fotografía 29. Construcción de la caceta para instalar en el interior al lombrifiltro.....	103
Fotografía 30. Transferencia de masas de aire por variación de las densidades.	103
Fotografía 31. Sistema de riego por goteo para mantener la humedad y continuidad del caudal.....	104
Fotografía 32. Sistema de riego por goteo para mantener la humedad y continuidad del caudal.....	104
Fotografía 33. Aireación para mejorar la circulación de las lombrices, así como el tratamiento.....	105
Fotografía 34. Desarrollo de las lombrices en los estratos.....	105
Fotografía 35. Demostración de las etapas de desarrollo de las lombrices californianas de la especie <i>eisenia foétida</i>	106
Fotografía 36. Toma de datos de campo de temperatura y humedad en el lombrifiltro..	106
Fotografía 37. Frascos esterilizados para la toma de muestra en el efluente del tanque imhoff.....	107
Fotografía 38. Control de la cantidad de caudal a tratar.....	107
Fotografía 39. Sistema de tuberías para el mantenimiento del tanque de almacenamiento.	108
Fotografía 40. Medición del ph del agua residual del efluente y afluente.	108
Fotografía 41. Control permanente en el funcionamiento del sistema de tratamiento del lombrifiltro.....	109
Fotografía 42. Muestreo del efluente proveniente del lombrifiltro.....	109
Fotografía 43. Adición de nutrientes para el análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) del agua residual doméstica.....	110
Fotografía 44. Frascos de color ámbar donde se llena la muestra a 90 ml para el análisis de dbo ₅	110
Fotografía 45. Colocación de las muestras en la incubadora velp por 5 días a una temperatura constante.....	111
Fotografía 46. Esterilización de materiales de laboratorio y calibración de equipos.....	111
Fotografía 47. Se establece la temperatura de 44 °C en la incubadora.....	112
Fotografía 48. Resultado del análisis bacteriológico de los coliformes termotolerantes.	112
Fotografía 49. Recuento de coliformes termotolerantes después de su crecimiento.....	113
Fotografía 50. Responsables de la ejecución del proyecto de investigación.....	113

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Mapa de ubicación de la planta de tratamiento de las aguas residuales (PTAR) de Huaylacucho.....	44
Gráfico 2. Ubicación geopolítica del centro poblado de Huaylacucho.....	45
Gráfico 3. Flujograma del sistema de tratamiento de aguas residuales implementando el lombrifiltro.....	46
Gráfico 4. Potencial de hidrogenoides (pH) del efluente y afluente.....	74
Gráfico 5. Variación de temperatura del efluente y afluente.....	75
Gráfico 6. Humedad del habitat del lombrifiltro.....	76
Gráfico 7. Diferencia de temperatura entre el habitat del lombrifiltro, la caceta y el ambiente exterior de la técnica de pared caliente.....	77
Gráfico 8. Variación de los valores de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) de ingreso y salida del agua residual.....	78
Gráfico 9. Variación de los valores de los coliformes termotolerantes (CT) de ingreso y salida del agua residual.....	79
Gráfico 10. Variación de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).....	82
Gráfico 11: normalidad de valores de DBO ₅	83
Gráfico 12. Variación de remoción de coliformes termotolerantes.....	84
Gráfico 13. Normalidad de valores de coliformes termotolerantes.....	85
Gráfico 14. Diagrama de distribución normal para DBO ₅	87
Gráfico 15. Diagrama de distribución normal para coliformes termotolerantes.....	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Usos de lombrifiltro.....	28
Tabla 2. Porcentaje de remoción de lombrifiltro.....	29
Tabla 3. Operacionalización de variables.....	37
Tabla 4. Requisitos para toma de muestras de agua residual y su preservación.....	42
Tabla 5. Técnicas, instrumentos y métodos de los indicadores.....	63
Tabla 6. Tabla de conversión de UFC a NMP.....	70
Tabla 7. Parámetros in situ del agua residual.....	80
Tabla 8. Parámetros in situ del lombrifiltro, caseta y medio ambiente.....	81
Tabla 9. Valores evaluados de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).....	82
Tabla 10. Evaluación del test de normalidad de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).	83
Tabla 11. Datos evaluados de la concentración de los coliformes termotolerantes.....	84
Tabla 12. Prueba de normalidad para los coliformes termotolerantes.....	85
Tabla 13. Test de posición para (DBO ₅).....	87
Tabla 14. Test de posición para coliformes termotolerantes.....	89
Tabla 15. Registro de parámetros de campo.....	101
Tabla 16. Registro de parámetros de laboratorio.....	102

INTRODUCCIÓN

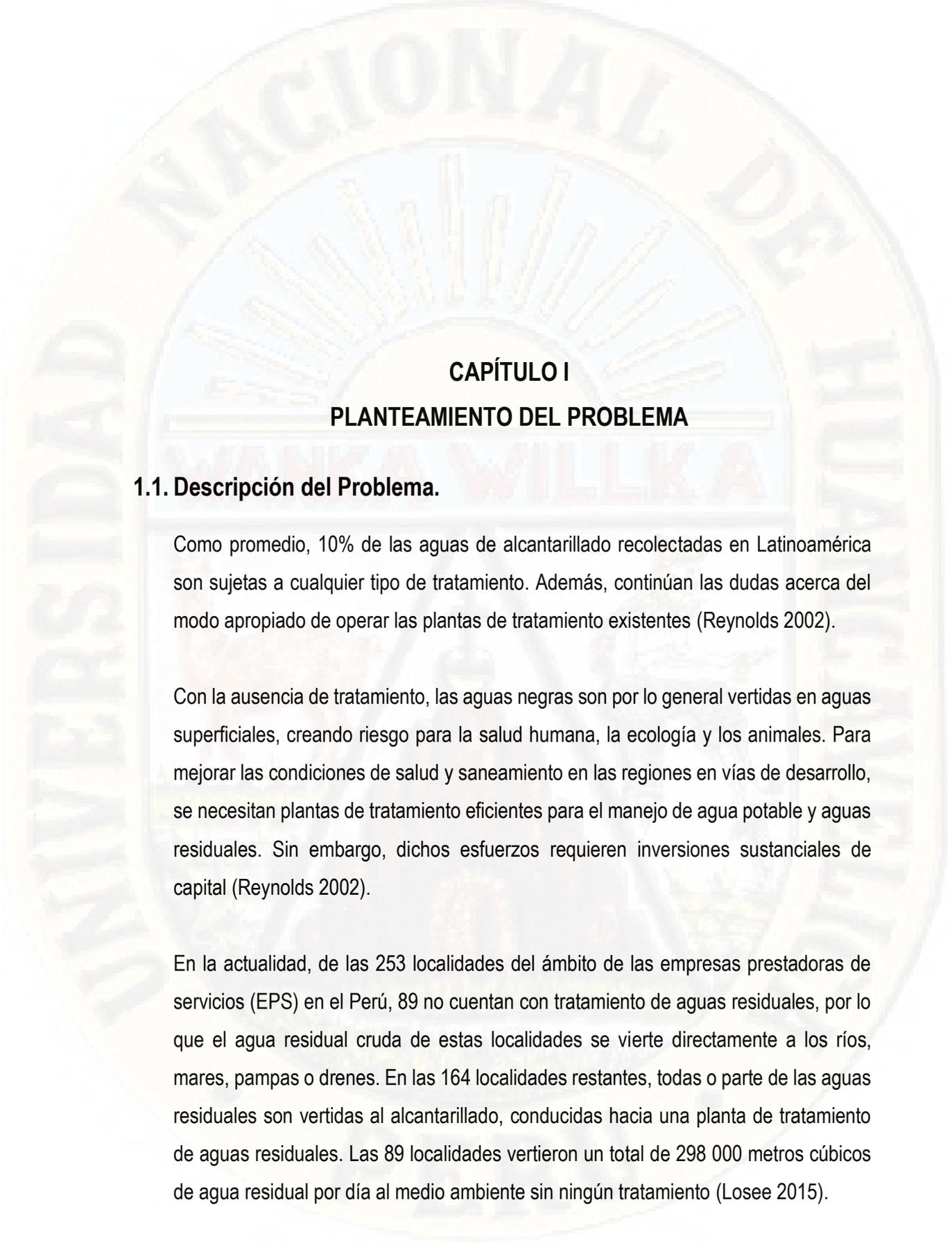
La insuficiente infraestructura que se cuenta, en el tratamiento de las aguas residuales, asimismo el inadecuado manejo representa un serio riesgo no solo a los habitantes por donde circulan estas aguas, sino al ecosistema. En la actualidad, aún no se puede controlar los vertimientos de aguas residuales y generalmente van contaminando fuentes superficiales.

Teniendo en consideración estos aspectos, la presente tesis de investigación implementó un tratamiento de agua residual, el cual ha tenido resultados óptimos. Se trata del lombrifiltro que consta de diferentes estratos, siendo el principal donde habitan las lombrices californianas, debido a que ellas consumen el agua residual que es distribuida en el medio filtrante; para mejorar este proceso se acondicionó la temperatura colocando la técnica de pared caliente (similar a un invernadero) el cual hizo que la temperatura en el lombrifiltro se incremente y permita el normal desarrollo de las lombrices de la especie *Eisenia foétida*.

Al implementar este tratamiento el objetivo fué determinar la eficiencia de remoción de ciertos parámetros como son: la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y los coliformes termotolerantes en el tratamiento de aguas residuales domésticas del centro poblado de Huaylacucho.

Se busca aportar a la sociedad mejores condiciones de vida, a través de la mejora de la calidad del agua del efluente doméstico, al implementar el lombrifiltro, se obtuvo impactos positivos en la mejora del agua residual de acuerdo a los análisis obtenidos.

Los Autores.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema.

Como promedio, 10% de las aguas de alcantarillado recolectadas en Latinoamérica son sujetas a cualquier tipo de tratamiento. Además, continúan las dudas acerca del modo apropiado de operar las plantas de tratamiento existentes (Reynolds 2002).

Con la ausencia de tratamiento, las aguas negras son por lo general vertidas en aguas superficiales, creando riesgo para la salud humana, la ecología y los animales. Para mejorar las condiciones de salud y saneamiento en las regiones en vías de desarrollo, se necesitan plantas de tratamiento eficientes para el manejo de agua potable y aguas residuales. Sin embargo, dichos esfuerzos requieren inversiones sustanciales de capital (Reynolds 2002).

En la actualidad, de las 253 localidades del ámbito de las empresas prestadoras de servicios (EPS) en el Perú, 89 no cuentan con tratamiento de aguas residuales, por lo que el agua residual cruda de estas localidades se vierte directamente a los ríos, mares, pampas o drenes. En las 164 localidades restantes, todas o parte de las aguas residuales son vertidas al alcantarillado, conducidas hacia una planta de tratamiento de aguas residuales. Las 89 localidades vertieron un total de 298 000 metros cúbicos de agua residual por día al medio ambiente sin ningún tratamiento (Losee 2015).

La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) visitó 204 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) hasta el 2013, de las que 163 estaban operativas, 32 en construcción y 9 paralizadas; se ha evidenciado que la tecnología del tratamiento secundario por lagunas facultativas es la más aplicada en el Perú (Losee 2015).

Las aguas residuales, están compuestas por materias orgánicas e inorgánicas que constituyen un elevado riesgo para la salud pública y para el ambiente (Méndez 2008).

El centro poblado de Huaylacucho tiene una geografía accidentada, además las casas se encuentran a diferentes altitudes. El 70% de los hogares cuentan con el sistema de alcantarillado mientras que el 30% de las personas utilizan otros medios para disponer sus aguas residuales domésticas.

La localidad tiene una planta de tratamiento de aguas residuales, en estado de paralización, por falta de mantenimiento y operación el pretratamiento se encuentra obstruido por residuos como: plásticos, cáscaras, etc. El agua residual rebalsa y se descarga al ecosistema, originando la formación de un cauce de flujo residual, contaminando el ambiente. Actualmente la fuente se utiliza para bebida de animales, al ser beneficiados, se expenden las carnes en los mercados de Huancavelica, lo que podría podrían generar enfermedades gastrointestinales quien los consume.

1.2. Formulación del Problema.

1.2.1. Problema General

¿Cuál será la eficiencia de remoción del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huaylacucho del distrito de Huancavelica - 2018?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál será la eficiencia del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huaylacucho del distrito de Huancavelica - 2018?
- ¿Cuál será la eficiencia del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en la remoción de coliformes termotolerantes en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huaylacucho del distrito de Huancavelica - 2018?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la eficiencia de remoción del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huaylacucho del distrito de Huancavelica – 2018.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar la eficiencia del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huaylacucho del distrito de Huancavelica - 2018.
- Determinar la eficiencia del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente, en la remoción de coliformes termotolerantes de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huaylacucho del distrito de Huancavelica - 2018.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación económica

La implementación del lombrifiltro es una tecnología ecológica, económica, sustentable y benéfica que no genera olores, lodos ni ruido. producto del tratamiento se obtiene como subproducto el abono natural (humus), que se podría utilizar para el mejoramiento de suelos. Este tratamiento es de simple operación y mantenimiento, aplicable a distintas condiciones climáticas (Tohá 2016).

1.4.2. Relevancia social

Con la implementación del lombrifiltro se obtuvo impactos positivos en la mejora de la calidad de agua residual. Beneficios en los temas de salud, como, por ejemplo: la disminución de las enfermedades producidas por patógenos presentes en el agua residual. Parte de la comunidad se dedica a la ganadería, al estar los animales en contacto con el foco infeccioso provoca enfermedades, lo que conlleva a generar gastos en los ganaderos para la salubridad de sus animales (Miranda 2005).

1.4.3. Ambiental

La presente investigación permitió tratar las aguas residuales domésticas generadas por el Centro Poblado de Huaylacucho del distrito de Huancavelica, mitigando la contaminación al remover la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y coliformes termotolerantes, además de contaminantes que la presente investigación no se evaluará pero que influenciará en la mejora de la calidad de agua.

Mejorará la calidad del agua de los efluentes domiciliarios de tal manera, que la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, no sea excedida y de esta manera no cause o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. (Arango 2003).

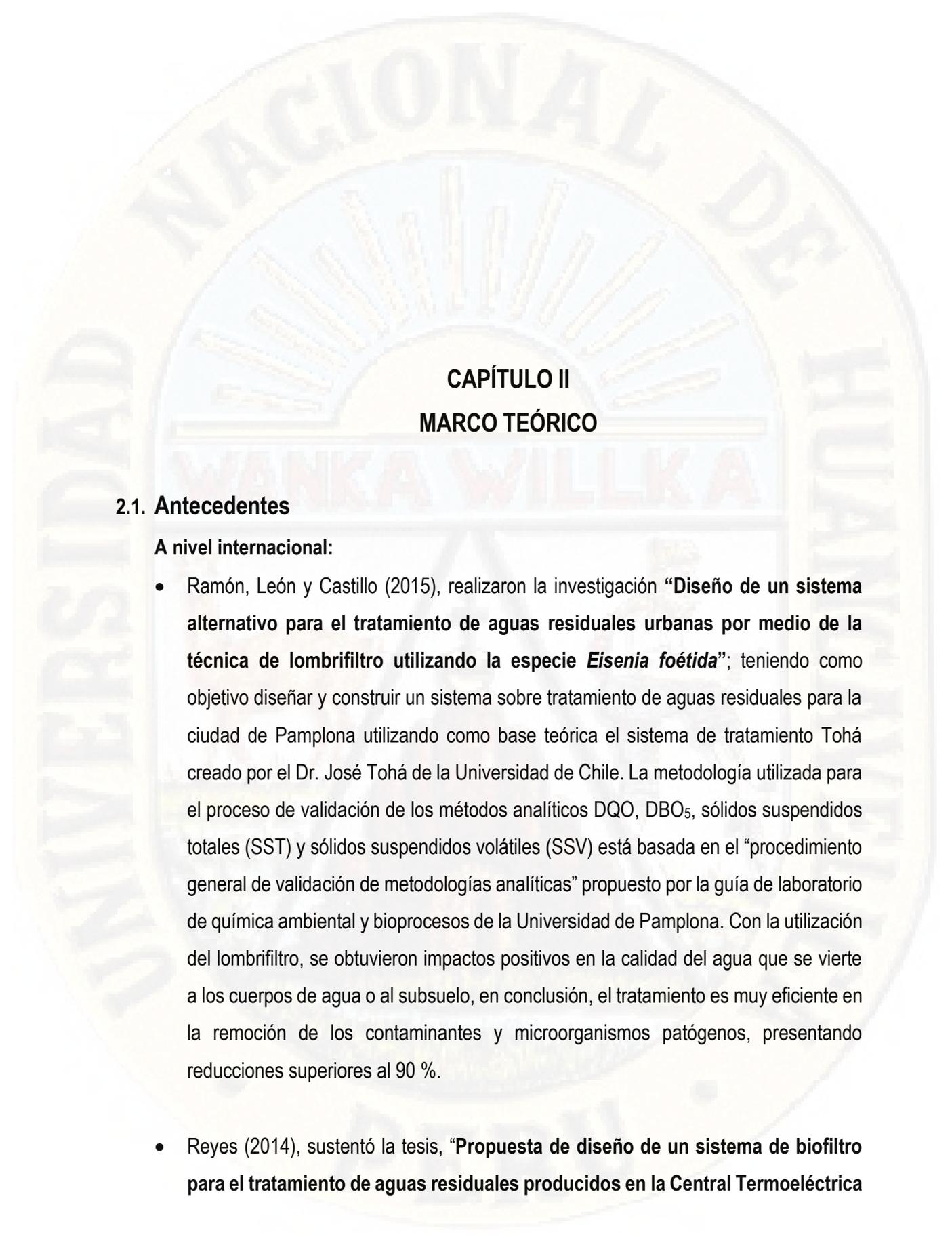
Al obtener resultados favorables en la investigación se podría magnificar a través de los programas de saneamiento en otras localidades, considerando las condiciones de construcción, operación y mantenimiento.

1.4.4. Valor teórico

La implementación del lombrifiltro, al ser evaluado, a través de un análisis de laboratorio, se determinó la eficiencia de remoción de contaminantes de las aguas residuales con el tratamiento aerobio. Para poder alcanzar los objetivos propuestos, se instalará la técnica de calentamiento que permitirá el desarrollo metabólico normal de los organismos y microorganismos que se van a desarrollar en este medio. La información obtenida podrá servir de fundamento para otras investigaciones sobre el tratamiento de aguas residuales aerobio.

1.4.5. Utilidad metodológica

La formación de la biopelícula ocurre cuando un ecosistema microbiano se adhiere a una superficie, formando una comunidad con características funcionales y estructuras complejas, donde las células establecen relaciones de dependencias: viven, cooperan y se comunican entre ellas a través de señales químicas. Para adaptarse a la biopelícula, las bacterias hacen cambios importantes en su estructura y metabolismo (El Peruano 2016).



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

A nivel internacional:

- Ramón, León y Castillo (2015), realizaron la investigación “**Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltro utilizando la especie *Eisenia foétida***”; teniendo como objetivo diseñar y construir un sistema sobre tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Pamplona utilizando como base teórica el sistema de tratamiento Tohá creado por el Dr. José Tohá de la Universidad de Chile. La metodología utilizada para el proceso de validación de los métodos analíticos DQO, DBO₅, sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos suspendidos volátiles (SSV) está basada en el “procedimiento general de validación de metodologías analíticas” propuesto por la guía de laboratorio de química ambiental y bioprocesos de la Universidad de Pamplona. Con la utilización del lombrifiltro, se obtuvieron impactos positivos en la calidad del agua que se vierte a los cuerpos de agua o al subsuelo, en conclusión, el tratamiento es muy eficiente en la remoción de los contaminantes y microorganismos patógenos, presentando reducciones superiores al 90 %.
- Reyes (2014), sustentó la tesis, “**Propuesta de diseño de un sistema de biofiltro para el tratamiento de aguas residuales producidos en la Central Termoeléctrica**

Sacha de la Unidad de Negocio Termopichincha – CELECEP”, tuvo como objetivo elaborar el diseño de un sistema de Biofiltro para el tratamiento de aguas residuales en la Central Termoeléctrica Sacha de la Unidad de Negocio Termopichincha - CELECEP. Metodología: Para realizar esta investigación fue necesario aplicar la técnica de recopilación bibliográfica, trabajo de campo (experimental) y exploratoria. El tratamiento de aguas residuales de uso social se realizó después de las etapas de aclimatación de las lombrices al sustrato orgánico y aguas residuales. El presente trabajo de investigación incluye los aspectos del diseño, realiza una descripción de los componentes del sistema de tratamiento, detalles de la operación y los planos del Biofiltro, sin embargo, no se detallan los procesos constructivos y tampoco realiza un diseño en detalle de la ingeniería de obras. Durante la realización de este trabajo de investigación con los biofiltros experimentales, se ha comprobado su eficiencia al reducir los principales contaminantes del efluente y devolviendo agua tratada al ambiente sin que represente riesgo de contaminación para la flora y fauna de la Central Sacha. El biofiltro ha demostrado que no genera olores debido a la dinámica de tratamiento del sistema, no genera lodos activos y se caracteriza por producir humus orgánico que se utiliza como fertilizante.

- Kusanovic (2009), en su investigación **“Planta de tratamiento de Riles”**, tuvo como objetivo disminuir la contaminación que generan al entorno los residuos orgánicos producidos por las labores propias de la planta Matadero Magallanes Ltda.; mediante la reutilización del agua utilizada en riego y además producir humus de lombriz para el abono de praderas, lo que en conjunto será usado para producir forraje de mejor calidad. Metodología: el Proyecto consiste en la construcción, instalación y operación de un Sistema de tratamiento de residuos industriales líquidos. A lo largo de la realización del trabajo se ha comprobado la eficiencia y el bajo costo de inversión del biofiltro a diferencia de otros sistemas, el biofiltro se caracteriza por no producir lodos, en cambio, genera humus orgánico que se utiliza como fertilizante.
- Miranda (2005), sustentó su investigación titulada **“Sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en Sectores Rurales”**, tuvo por objetivo proponer un sistema ecológico para tratamientos de aguas residuales en

sectores rurales en reemplazo del sistema séptico. El Sistema Tohá, es un método de tratamiento de aguas residuales que se está usando en sectores rurales chilenos, cuya aplicación ha sido de un 90% en reemplazo de los sistemas sépticos. Con la utilización del lombrifiltro, se obtienen impactos positivos en la calidad de las aguas que se vierten a los cuerpos de agua o al subsuelo, ya que este tratamiento es muy eficiente en la remoción de los contaminantes y microorganismos patógenos. Reducciones superiores al 90%. En conclusión, este sistema es una alternativa aplicable, para sectores rurales, con el cual se obtienen resultados positivos frente al medio ambiente y a la salud humana.

- Arango (2003), en su investigación **“Evaluación Ambiental del Sistema Tohá en la remoción de Salmonella en Aguas Servidas Domésticas”**, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia del Sistema Tohá en la remoción de Salmonella y determinar su sustentabilidad ambiental como alternativa para el tratamiento de aguas servidas. En la metodología a utilizar para determinar la eficiencia del Sistema Tohá, se realizó pruebas a las muestras antes del tratamiento y después de pasar por el biofiltro y por el biofiltro más la radiación ultra violeta. Se utilizó a la Salmonella como indicador para determinar la eficiencia del Sistema Tohá en la remoción de este organismo patógeno, a través del análisis de la calidad sanitaria de las aguas servidas tratadas con el mismo (metodología cualitativa). Se menciona como conclusión que la utilización del Sistema Tohá para el tratamiento de aguas servidas domésticas resultó ser efectivo en un 95% en la remoción de DBO5 y reducción de 6 unidades logarítmicas en coliformes fecales y totales, un 80% de eficiencia en sólidos suspendidos totales (SST) y un 70% en nitrógeno y fósforo, por lo que cumple con los parámetros de calidad de agua establecidos en la Norma Chilena CHN 1.333, para uso en riego de cultivos agrícolas.

A nivel Nacional:

- Chávez (2017), presentó su investigación titulada **“Eficiencia de un Biofiltro en la Reducción de Carga Orgánica de un Efluente Industrial en la Ciudad de Celendín”**, en el presente trabajo se ha realizado el tratamiento del efluente de una industria láctea en la

ciudad de Celendín para lo cual se ha construido un biofiltro tipo Tohá de un metro cúbico de capacidad. El volumen de muestra para cada análisis ha sido de acuerdo a los correspondientes protocolos, tomadas de cada muestra de sesenta litros de agua residual proveniente de una industria láctea, de las cuales previamente se ha hecho la caracterización, antes de ingresarlo al biofiltro, y después de pasar por el mismo. Así mismo confirma que la eficiencia de remoción del biofiltro es superior al 50% de la carga orgánica inicial del efluente industrial analizado. Y concluye que los resultados confirman la eficiencia del biofiltro como un sistema no convencional en el tratamiento de aguas residuales de la industria alimentaria.

- Revilla (2017), en su investigación **Sistema Tohá, para el Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad**, menciona que los resultados respecto a la reducción en el contenido de DBO de 1012.3 mg/l a 758 mg/l, representa una eficiencia de 25.12% en el tratamiento, considerando que de forma natural no se presentó una reducción significativa según el grupo control. Respecto al contenido de DQO mg/l se tiene una reducción de 1455 mg/l a 1125 mg/l, significan una eficiencia de 22.6%, si consideramos que según el control en forma natural se produce una reducción de 97 mg/l que equivale a 6.6%, entonces se tiene una reducción efectiva de 16%. Por otro lado, respecto al contenido de SST mg/l, una reducción de 0.77 mg/l a 0.42 mg/l equivale una eficiencia de 45.5% de las cuales en forma natural corresponde un 11.68%.
- Acuña (2017), realizó la investigación titulada **“Eficiencia Lumbricus Terrestris Y Eisenia foétida en el Tratamiento de las Aguas Residuales en la ciudad de Bagua-Amazonas 2015”**, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de *Lumbricus Terrestris* y *Eisenia foétida* en el tratamiento de las aguas residuales a condiciones ambientales, de la ciudad de Bagua – Amazonas, 2015. Metodología: Para el desarrollo de esta investigación se utilizó dos sistemas gemelos de tratamiento de flujo continuo; que constó de un estanque para cada sistema, el cual simula a una planta de tratamiento biológica pequeña con agua continua. Asegurando que la eficiencia de remoción de contaminantes de las aguas residuales de la ciudad de Bagua, fue comparada entre especies teniendo que *Eisenia foétida* obtuvo una remoción promedio del 73%, mientras que la *Lombriccus terrestris* lo hizo en un 63%, demostrándose en esta investigación que la especie *Eisenia foétida* es más eficiente para la remoción de contaminantes.

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Tratamiento de aguas residuales

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales son un conjunto integrado de operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos, que se utilizan con la finalidad de depurar las aguas residuales hasta un nivel tal que permita alcanzar la calidad requerida para su disposición final, o su aprovechamiento mediante el reúso (SINIA 2017).

2.2.1.1. Aguas residuales

Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA 2014).

2.2.1.2. Tipos de agua residual

- **Aguas residuales industriales**

Son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras (OEFA 2014).

- **Aguas residuales domesticas**

Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente (OEFA 2014).

- **Aguas residuales municipales**

Son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado (OEFA 2014).

2.2.1.3. Características de las aguas residuales domésticas

a) Características físicas

- **Temperatura**

Suele ser superior a la del agua de consumo, por el aporte de agua caliente procedente del aseo y las tareas domésticas. Oscila entre 10 °C y 21 °C, con un valor medio de 15 °C, aproximadamente. Esta mayor temperatura ejerce una acción perjudicial sobre las aguas receptoras, pudiendo modificar la flora y fauna de éstas, y dando lugar al crecimiento indeseable de algas, hongos, etc. También, el aumento de temperatura puede contribuir al agotamiento del oxígeno disuelto, ya que la solubilidad del oxígeno disminuye con la temperatura (Espigares 2015).

- **Turbidez**

Se debe a la cantidad de materias en suspensión que hay en las aguas residuales (limo, materia orgánica y microorganismos. Esta turbidez, en las masas de aguas receptoras, afecta a la penetración de la luz, lo que redundaría en una menor productividad primaria (Espigares 2015).

- **Color**

Suele ser gris o pardo, pero debido a los procesos biológicos anóxicos el color puede pasar a ser negro (Espigares 2015).

- **Sólidos**

Se pueden clasificar en:

Totales: residuos que quedan tras la evaporación y secado de la muestra a 130 °C durante 60 minutos.

Fijos: residuos remanentes después de la evaporación y carbonización a 600 °C, durante minutos. Volátiles: es la diferencia entre sólidos totales y fijos (Espigares 2015).

b) Características químicas

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)**

Es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en el agua. Esta prueba se realiza durante 5 días a 20 °C por lo que se expresa como DBO ó DBO₅, respectivamente (Espigares 2015).

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

Mide la cantidad de materia orgánica del agua, mediante la determinación del oxígeno necesario para oxidarla, pero en este caso proporcionado por un oxidante químico como el permanganato potásico o el dicromato potásico (Espigares 2015).

- **Carbono orgánico total (COT)**

Se mide mediante la introducción de una cantidad conocida de muestra en un horno a alta temperatura. El carbono orgánico se oxida a CO₂, en presencia de un catalizador, y se cuantifica mediante un analizador de infrarrojos. Pero como no se oxidan todos los componentes orgánicos presentes, los valores de COT dan una estimación de carbono orgánico inferior a la real (Espigares 2015).

- **Metales pesados**

Algunos de los siguientes se pueden encontrar en las aguas residuales confiriéndoles un carácter tóxico: cobre, cromo, boro, plomo (causante de saturnismo y acumulación en moluscos), plata (puede producir argüiria), arsénico (melanodermia del pie y acumulación en mariscos), antimonio (efecto cancerígeno), bario

(efectos sobre el corazón, vasos sanguíneos y nervios), flúor (fluorosis) y selenio produce cáncer y caries (Espigares 2015).

- **Oxígeno disuelto**

Es necesario para la vida y todos los organismos aerobios. Por ello, el crecimiento incontrolado de organismos y microorganismos en el seno de las aguas, puede conducir a su agotamiento (Espigares 2015).

c) Características biológicas

- **Bacterias**

Pueden ser de origen fecal o bacterias implicadas en procesos de biodegradación, tanto en la naturaleza como en las plantas de tratamiento (Espigares 2015).

- **Virus**

Proceden de la excreción, por parte de individuos infectados, ya sean humanos o animales. Poseen la capacidad de adsorberse a sólidos fecales y otras materias particuladas, favoreciendo de esta forma su supervivencia durante tiempos prolongados en las aguas residuales (Espigares 2015).

- **Algas**

Su crecimiento está favorecido por la presencia en las aguas residuales de distintas formas de fósforo y nitrógeno, así como de carbono y vestigios de elementos tales como hierro y cobalto, dando lugar a procesos de eutrofización. Este fenómeno esta producido principalmente por algas de los géneros Anacystis, Anabaena, Gleocystis, Spirogyra, Cladophora, Enteromorpha, Stigeoclonium2 Ulothrix, Chiorella, Euglena y Phormidium, etc (Espigares 2015).

- **Protozoos**

Los que se encuentran más frecuentemente en las aguas residuales son amebas, flagelados y los ciliados libres y fijos. Estos organismos juegan un papel muy importante en los procesos de tratamiento biológico, especialmente en filtros percoladores y fangos activados. Pueden eliminar bacterias suspendidas en el agua, ya que éstos no sedimentan, evitando la producción de efluentes con turbidez (Espigares 2015).

- **Hongos**

La mayoría son aerobios estrictos, pueden tolerar valores de pH relativamente bajos, y tienen baja demanda de nitrógeno. Esto les hace desempeñar una función importante en el tratamiento de aguas residuales industriales (Espigares, 2015).

2.2.2. Remoción de lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente

2.2.2.1. Lombrifiltro

Lombrifiltro o “Biofiltro Dinámico Aeróbico”, corresponde a un filtro percolador compuesto de diferentes estratos filtrantes y lombrices. El agua residual percola a través de los diferentes lechos filtrantes, quedando retenida la materia orgánica la que posteriormente es consumida por las lombrices (Tohá 2016).

2.2.2.2. Funcionamiento

El efluente, a través de un sistema de regadío, atraviesa por los lechos filtrantes quedando retenida la materia orgánica en estos. La materia orgánica es consumida por las lombrices convirtiéndose esta en humus y materia corporal de las mismas. Conjuntamente con las lombrices, se genera una rica flora bacteriana, que también consume materia orgánica.

El líquido percola continuamente de tal forma que no produce mal olor, y el agua sale limpia (COBEX 2012).

Tabla 1.

Usos de lombrifiltro.

PARA TRATAMIENTO CLOACAL	EN TRATAMIENTO DE RESIDUOS INDUSTRIALES LÍQUIDOS
Viviendas unipersonales.	Salmoneras, alimentos, confites y puestos sanitarios rurales.
Agroindustrias.	Levaduras avícolas.
Barrios (constituidos y carentes de tratamiento cloacal).	Campamentos petroleros, mineros.
Loteos sociales y/o privados.	Criaderos de cerdos.
Lácteos.	Complejos turísticos.
Poblaciones rurales.	Frigoríficos.
Bodegas vitivinícolas.	Mataderos.
Colegios y escuelas generando la conciencia de desarrollo ecológico / bio sustentable.	

Fuente: (COBEX 2012).

2.2.2.3. Eficiencia del lombrifiltro

En el medio filtrante se genera una amplia flora bacteriana que junto a las lombrices, permiten alcanzar las siguientes eficiencias de remoción de los parámetros contaminantes (COBEX 2012).

Tabla 2.

Porcentaje de remoción de lombrifiltro.

PARÁMETRO	% DE REMOCIÓN PROMEDIO
DBO5	95%
Sólidos suspendidos volátiles	93%
Sólidos volátiles	95%
Nitrógeno	60% a 70%
Fósforo	60% a 70%
Aceites y grasas	80%
Coliformes totales	99%

Fuente: (COBEX 2012).

2.2.2.4. Ventajas

El lombrifiltro presenta las siguientes ventajas:

- No produce lodos.
- El lecho filtrante no se impermeabiliza. Cuya característica se debe principalmente a la acción de las lombrices que, con su movimiento, crean túneles que aseguran en todo momento la alta permeabilidad del filtro.
- Los materiales sólidos orgánicos presentes en el agua residual, que colmatan o tapan otros filtros, en este caso son digeridos por las lombrices.
- Diseño modular, esto es debido a su facilidad de ser dimensionado a cualquier escala mediante módulos.
- El sistema es ecológico, ya que en el proceso no se usan aditivos químicos ni se producen residuos contaminantes (lodos), lo que redundará en muy poco consumo de energía.
- La operación del sistema es simple y semejante a prácticas agrícolas.
- No genera olores.
- Produce un excelente abono agrícola, cuyo uso incluso en forma excesiva no daña ni quema las plantas como es el caso de los

fertilizantes químicos (Quinchel 2015).

2.2.2.5. Descripción de la lombriz californiana *Eisenia foétida*

Entre las pocas especies de lombrices que pueden explotarse en cautividad está la lombriz roja de California, de la cual se han obtenido, por selección, varios tipos, que se pueden explotar en terrenos al aire libre de cualquier zona de clima mediterráneo sin necesidad de ningún tipo de alojamiento fijo. La selección de esta lombriz estuvo orientada inicialmente a aumentar la cantidad de comida ingerida, con el fin de incrementar la producción de humus, pero no se obtuvieron resultados positivos, por lo que la selección se encaminó a prolongar su vida y aumentar la frecuencia de la reproducción. La lombriz roja, cuando es adulta, mide de 5 a 6 centímetros, su diámetro oscila entre 3 y 5 milímetros, es de color rojo oscuro y pesa aproximadamente un gramo. Cuando las condiciones del medio son favorables, esta lombriz ingiere diariamente una cantidad de comida equivalente a su propio peso, del cual expele un 60 por 100 en forma de humus. La lombriz roja puede vivir hasta 16 años. Cuando la temperatura y la humedad del medio donde vive son adecuadas, se aparea cada 7 días. Las cápsulas se abren pasados entre 14 y 21 días de incubación, según sea la temperatura del medio, y de cada una de ellas sale un número de crías que oscila entre 2 y 20. Las lombrices recién nacidas son de color blanco, que se vuelve rosado a los 5 o 6 días y se convierte definitivamente en rojo oscuro a los 15 o 20 días. El tamaño de individuo adulto se alcanza a la edad de 7 meses. La actividad sexual disminuye en los meses fríos y en los calurosos, siendo mayor durante los meses templados. La máxima actividad sexual se logra cuando la temperatura del medio donde habita oscila alrededor de los 20 grados centígrados. A diferencia de la lombriz común, que tiende a alejarse del lugar donde inicialmente se ha instalado, la lombriz roja no se aleja de sus alojamientos, salvo en

el caso de que surjan unas condiciones muy desfavorables. La lombriz roja no deposita sus deyecciones sobre la superficie del suelo, con lo cual no existe la posibilidad de que una parte de éstas sea arrastrada por el viento o por el agua. En términos generales, al cabo de un año, un módulo inicial de lombriz roja se multiplica de 8 a 12 veces (Fuentes 1987).

a) Condiciones ideales y desfavorables de su hábitat

Las condiciones ideales del hábitat de la lombriz corresponden a una temperatura que oscile entre los 15° y 24° C, siendo óptima aquella que se acerque lo más posible a la de su propio cuerpo (aproximadamente 20° C); un pH neutro entre 6.5 y 7.5; oxígeno libre; materia orgánica; baja luminosidad ya que teme a la luz (pues los rayos ultravioletas las matan) y humedad disponible. Esta última es un factor de mucha importancia que influye en la reproducción, una humedad superior al 85% hace que las lombrices entren en un periodo de latencia, afectando en la producción de humus y en la reproducción de éstas. Las condiciones más favorables para la lombriz produzcan y se reproduzca se presentan a una humedad entre el 70% - 80%. Debajo de 70% de humedad es una condición desfavorable, por otro lado niveles de humedad inferiores al 55% son mortales para las lombrices (Miranda 2005).

2.2.2.6. Características de la tecnología “pared caliente”

a) Pared caliente

Sistema tipo invernadero para mantener y aumentar la temperatura al interior de las viviendas. Los agujeros puestos específicamente permiten que el aire calentado por el sol circule en la casa, mientras que el aire frío vuelve a entrar al recinto expuesto al sol (GRUPO-PUCP 2011).

b) Beneficios de pared caliente

- No utiliza combustible para calentar (energía del sol).
- Calienta el interior de las viviendas.
- No es muy costoso en materiales.
- Se pueden utilizar para criadero de animales.
- Evita enfermedades que provienen como consecuencia del frío.
- Puede Aumentar hasta 10°grados de temperatura con relación al exterior (GRUPO-PUCP 2011).

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis general

La eficiencia de remoción del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huaylacucho del distrito de Huancavelica, será significativamente alta.

2.3.2. Hipótesis específicas

- La eficiencia del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) será significativamente alta en el tratamiento de aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huaylacucho del distrito de Huancavelica.
- La eficiencia del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente, en la remoción de coliformes termotolerantes será significativamente alta en el tratamiento de aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huaylacucho del Distrito de Huancavelica.

2.4. Definición de términos

- **Abono natural u orgánico**

Son todos aquellos residuos de origen animal y vegetal de las que las plantas pueden obtener importantes cantidades de nutrimentos; el suelo, con la descomposición de los residuos, se ve enriquecido con abono orgánico y mejora sus características físicas, químicas y biológicas (Antonio 2002).

- **Aguas residuales**

También llamadas “aguas negras”. Son las contaminadas por la dispersión de desechos humanos, procedentes de los usos domésticos, comerciales o industriales. Llevan disueltas materias coloidales y sólidas en suspensión. Su tratamiento y depuración constituyen el gran reto ecológico de los últimos años por la contaminación de los ecosistemas (Ecoestrategia 2016).

- **Coliformes termotolerantes**

Bacterias que forman parte del grupo coliformes, bacilos Gram (-) negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a $44.5 \pm 0,2$ °C dentro de las 24 ± 2 horas.

La mayor especie en el grupo de coliformes termotolerantes es la *Escherichia Coli* (Vargas 2000).

- **Contaminación**

Cambio perjudicial en las características químicas, físicas y biológicas de un ambiente o entorno. Afecta o puede afectar la vida de los organismos y en especial la humana (Aguilar 2015).

- **Contaminante**

Un contaminante es cualquier sustancia o forma de energía que puede provocar algún daño o desequilibrio (irreversible o no) en un ecosistema, en el medio físico o en un ser vivo (Bermúdez 2010).

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)**

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), se define como la cantidad de oxígeno usado por los microorganismos no fotosintéticos a una temperatura de 20°C, para metabolizar los compuestos orgánicos degradables biológicamente (Cisterna 2012).

- **Eficiencia**

Eficiencia es definida como “virtud y facultad para lograr un efecto determinado” (Valdez 2010).

- **Efluente**
Agua que sale de un depósito o termina una etapa o el total de un proceso de tratamiento (El Peruano 2016).
- ***Eisenia foétida***
La lombriz *Eisenia foétida* es una especie Eurífaga, es decir, se alimenta con los más diversos desechos, especialmente, los de tipo orgánico, caracterizándose por su gran voracidad. En periodos cuando disminuye el aporte de nutrientes orgánicos, las lombrices pueden sobrevivir mejor en presencia de residuos carbónicos, independientemente de nutrientes orgánicos tales como nitrógeno, fósforo y potasio (Miranda 2005).
- **Estándares de calidad de agua**
Medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente (El Peruano 2015).
- **Ganadería**
Es un sistema de producción animal que asienta en un fuerte vínculo entre el ganado y el territorio, con alojamientos adecuados, alimentación obtenida preferentemente en la propia explotación, sanidad orientada a la prevención de enfermedades (Moreno 2013).
- **Humus**
Está formado por todas las sustancias orgánicas que están tanto en el suelo como encima de él, y que se han formado por la descomposición de plantas muertas. Tiene una gran cantidad de componentes que son esenciales para el desarrollo de las plantas y que ellas absorben por las raíces (Ecoestrategia 2016).
- **Límites máximos permisibles**
Medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros

físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o a una emisión que al ser excedido, causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente (MINAM 2010).

- **Lodos**

Los lodos o fangos vienen a ser aquellos subproductos resultantes de los procesos de tratamiento de las estaciones depuradoras de aguas residuales (Torres 2016).

- **Lombrifiltro**

El lombrifiltro es un biofiltro que contiene lombrices, a través del cual se hace pasar el agua servida. Este biofiltro comprende cuatro capas de diversos materiales. La capa superior consiste en material orgánico con un gran número de microorganismos y lombrices (*Eisenia foétida*) principalmente, las cuales absorben y digieren la materia orgánica dejando el agua sin su principal contaminante (Arango 2003).

- **Mantenimiento**

Conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos, con el fin de corregir o prevenir fallas, buscando que estos continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados (Cuartas 2008).

- **Materia orgánica**

Involucra micro y meso-organismos que habitan el suelo, raíces de las plantas, todo material proveniente de organismos muertos y sus productos de transformación, descomposición y resíntesis sobre y en el suelo (Corbella 2012).

- **Residuos sólidos**

Los desechos sólidos se denominan comúnmente “Basura” y representan una amenaza por su producción excesiva e incontrolada, ya que, contribuyen a la contaminación de las aguas, la tierra, el aire, y también afean el paisaje (Rosario 2016).

- **Riesgo**

Probabilidad de que ocurra algún hecho indeseable. El riesgo está interrelacionado con factores: Culturales, históricos, políticos, socioeconómicos y ambientales (Soldano 2009).

- **Sólidos en suspensión**

Son partículas sólidas pequeñas, inmersas en un fluido en flujo turbulento que actúa sobre la partícula con fuerzas en direcciones aleatorias, que contrarrestan la fuerza de gravedad, impidiendo así que el sólido se deposite en el fondo.

Los factores que influyen para que una partícula no decante en el fondo son: tamaño, densidad, forma de la partícula y la velocidad del agua (García 2013).

- **Sólidos totales**

Los sólidos totales se definen como la materia que permanecen como residuos después de evaporación y secado a 103°C. El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto (UTP 2006).

2.5. Definición operativa de variables

2.5.1. Variables independientes

Eficiencia de remoción del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente.

Indicadores:

- Caudal.
- Temperatura.
- Humedad.
- Potencial de hidrogenoides (pH).

2.5.2. Variables dependientes

Tratamiento de aguas residuales.

Indicadores:

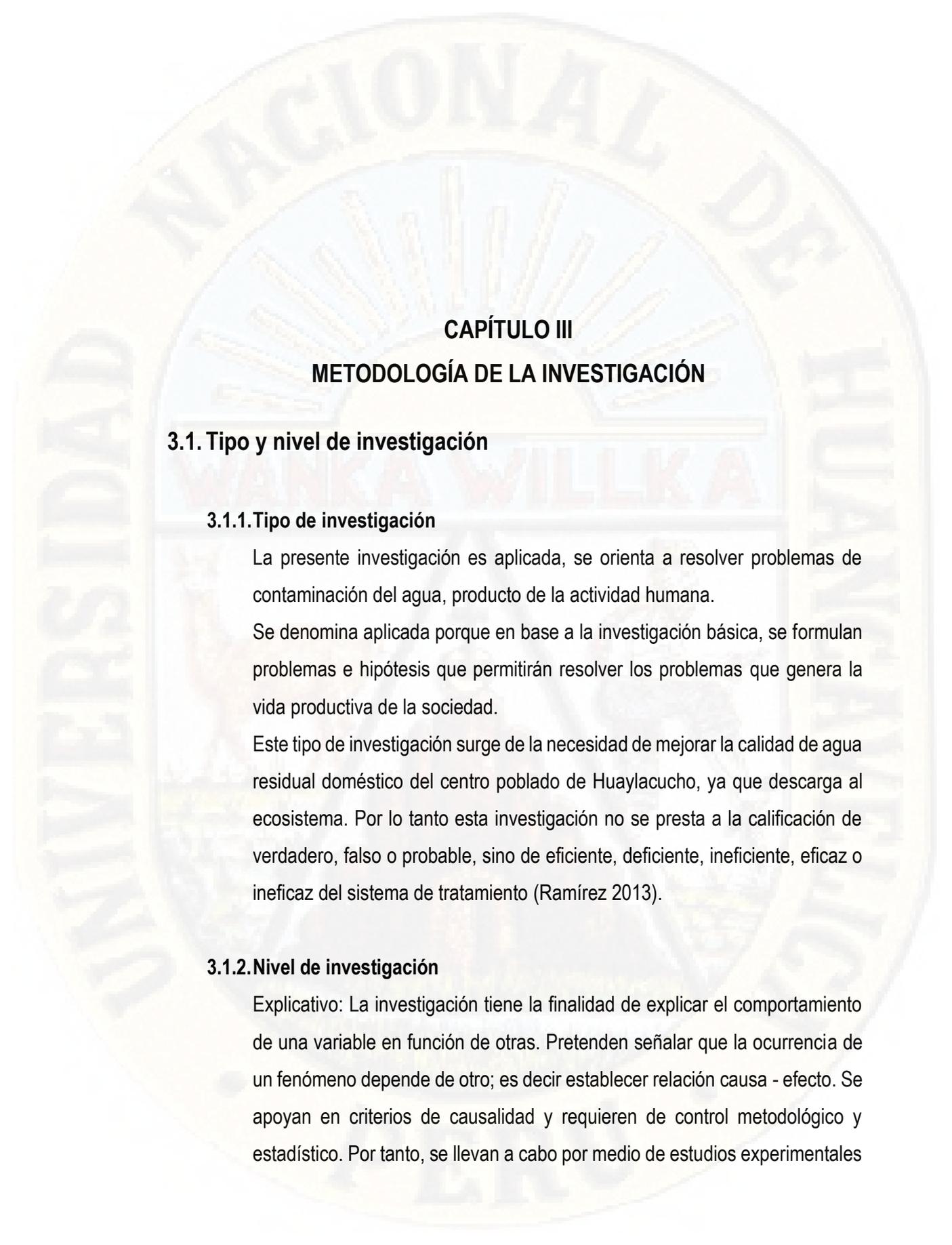
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).
- Coliformes termotolerantes.

2.5.3. Operacionalización de Variables

Tabla 3.

Operacionalización de variables.

Variable dependiente	Tratamiento de aguas residuales domésticas.	Parte de las aguas descargadas a la red de alcantarillado es derivada a las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para su tratamiento, empleando diversas tecnologías, estas aguas tratadas son empleadas para reuso como el riego de cultivos, áreas verdes, piscicultura o vertidas a cuerpos de agua natural (OEFA 2014).	Es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico - químico o biológico cuya finalidad es la reducción de la contaminación en el agua (Aguilar, 2015).	Parámetro Biológico.	DBO5	mg/l	Sensor (DBO ₅)	Método de DBO por respirométrico
				Parámetros Microbiológico	Coliformes Termotolerantes	UFC	Incubadora y Placas Petrifilm 3M	AFNOR método validado 3M 01/2-09/89C
Variable independiente	Eficiencia de remoción del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente.	El lombrifiltro, se basa en la combinación de biomasa microbiana fija y una alta densidad de lombrices californianas, que utiliza el material celulósico y la materia orgánica del agua residual (Bornhardt 2003).	Estimación del rendimiento de la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno y coliformes termotolerantes. (AGUILAR, 2015)	Eficiencia de Remoción del Lombrifiltro.	Caudal	Litros por segundo.	Cronómetro mas probeta.	Método Volumétrico
					Temperatura.	Grados Centígrados	Termómetro Bimetálico.	Método Mecánico.
					Humedad.	Porcentaje de Humedad.	Tensiómetro	Método directo
					Potencial de Hidrogenoides (pH).	Adimensional	pH metro digital.	Método Mecánico.
				Pared Caliente.	Temperatura.	Grados Centígrados	Termómetro Bimetálico.	Método Mecánico.



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación es aplicada, se orienta a resolver problemas de contaminación del agua, producto de la actividad humana.

Se denomina aplicada porque en base a la investigación básica, se formulan problemas e hipótesis que permitirán resolver los problemas que genera la vida productiva de la sociedad.

Este tipo de investigación surge de la necesidad de mejorar la calidad de agua residual doméstico del centro poblado de Huaylacucho, ya que descarga al ecosistema. Por lo tanto esta investigación no se presta a la calificación de verdadero, falso o probable, sino de eficiente, deficiente, ineficiente, eficaz o ineficaz del sistema de tratamiento (Ramírez 2013).

3.1.2. Nivel de investigación

Explicativo: La investigación tiene la finalidad de explicar el comportamiento de una variable en función de otras. Pretenden señalar que la ocurrencia de un fenómeno depende de otro; es decir establecer relación causa - efecto. Se apoyan en criterios de causalidad y requieren de control metodológico y estadístico. Por tanto, se llevan a cabo por medio de estudios experimentales

y su estadística es multivariada. Se la aplica para descartar asociaciones casuales, aleatorias, entre variables (Ramírez 2013).

3.2. Método de investigación

Método Científico: Procedimiento para descubrir las condiciones en las que se presentan los sucesos específicos, caracterizados generalmente por ser: tentativo, verificable, de razonamiento riguroso y observación empírica (Ferrer 2010).

El método específico es hipotético deductivo debido a que se aplicará la deducción para llegar a una conclusión según los antecedentes. Esta se realizará a través de la experimentación de variables (Puebla 2013).

3.3. Diseño de investigación

El diseño general es pre experimental, incluyendo el diseño específico de pretest - posttest de un solo grupo. En este diseño se efectúa una observación antes de introducir la variable independiente (O1) y otra después de su aplicación (O2).

La fórmula a utilizar es la siguiente (Ramírez 2013):

$$G \quad O1-----X-----O2$$

Donde G, representa al grupo de muestra de las aguas residuales domésticas del centro poblado de Huaylacucho, siendo O1 la concentración inicial del agente contaminante que ingresa al lombrifiltro después de pasar el sistema de tratamiento existente y O2 la concentración final del agente contaminante después de pasar el lombrifiltro (Hernandez 2016).

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población de la investigación es el agua residual doméstico generado por el Centro Poblado de Huaylacucho del distrito de Huancavelica.

Según los datos recopilados en campo, se determinó que el caudal de aguas residuales domésticas generadas por el Centro Poblado de Huaylacucho es

de 0.572 l/s. (litros por segundo), dato promedio obtenido en el punto de descarga del sistema de alcantarillado del Centro Poblado.



Fotografía 1. Contratación de datos en campo



Fotografía 2. Diagnóstico situacional del Centro Poblado.

La cantidad de lotes que cuenta la comunidad es de 140, con una población de 693 habitantes donde la densidad poblacional haciende a 4.9 hab./lote (Huancavelica, 2014).

La contribución al sistema de alcantarillado es el 80% del agua que se usa en las viviendas según datos proporcionados por el proyecto: "Mejoramiento del sistema de agua potable y construcción del sistema de alcantarillado del centro poblado de Huaylacucho Región Huancavelica - 2010".

3.4.2. Muestra

El caudal a tratar por el lombrifiltro es de 250 litros por día, se asume este caudal, porque el estudio es a escala piloto, la tasa máxima de riego de agua residual que puede soportar el lecho para evitar la muerte de lombrices por falta de oxígeno corresponde a $1m^3/m^2/dia$, superada el límite, de sobrepasar las lombrices morirán por asfixia (Quinchel 2015).

El volumen se obtuvo previo calculo, siendo dos horas. el tiempo de retención hidráulico por el lombrifiltro.

El contacto del agua residual con los estratos, da condiciones para la formación de biopelículas o capa zoogelal. (CONAMA, 2018)

El alcantarillado sanitario del Centro Poblado de Huaylacucho cuenta con un solo punto de descarga, del cual se obtuvo la muestra antes de ingresar (afluente) y después de la salida (efluente) del lombrifiltro.

3.4.3. Muestreo

Será no probabilística e intencional, porque las muestras serán tomas de manera deliberada, debido a la dificultad de conocer la concentración de contaminantes de las aguas residuales del centro poblado, con ello se pretende que los datos sean estadísticamente representativos de la población (Ramirez 2013).

Las muestras para el análisis son tomadas en el punto de entrada y salida del sistema de tratamiento durante el cronograma establecido, para ello se recolectó el volumen de 2 Litros (1 Litro para afluente y 1 Litro para efluente), ambas rotuladas para su adecuada identificación y análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), por otro lado se recolectó el volumen de 0.5 litros (0.25 litros para afluente y 0.25 litros para efluente) para el análisis de los coliformes termotolerantes, muestras que fueron trasladados lo más pronto posible al laboratorio central de la Universidad Nacional de Huancavelica para realizar su análisis correspondiente.



Fotografía 3. Extracción de muestras del lombrifiltro.

Las muestras son trasladadas de manera que se garantice su preservación, para ello se utiliza el cooler (DIGESA 2013).

Se realizaron en total:

- 40 muestras de DBO_5 antes del ingreso al lombrifiltro.
- 40 muestras de DBO_5 después de la salida del lombrifiltro.
- 40 muestras de coliformes termotolerantes antes del ingreso al lombrifiltro.
- 40 muestras de coliformes termotolerantes después de la salida del lombrifiltro.

Tabla 4.

Requisitos para toma de muestras de agua residual y su preservación.

Parámetro	Recipiente	Volumen mínimo de muestra	Preservación y concentración	Tiempo máximo de duración
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)	Plástico o vidrio	1000 ml	Refrigerar a 4°C	48 horas
Coliformes termotolerantes	Plástico o vidrio	250 ml	Refrigerar a 4°C,	6 horas

Fuente: (DIGESA 2013).

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de recolección de datos ha sido la observación, a través de instrumentos y equipos de medición, obteniendo información de campo como de laboratorio, se registra en una ficha (Carrillo 2011).

3.5.1. Técnicas para las pruebas experimentales

Siendo la presente investigación pre experimental, busca comprobar la hipótesis alterna planteada, es decir, recolectar datos que se generen antes y después del tratamiento, para demostrar la eficiencia de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y coliformes termotolerantes (CT) de las aguas residuales domésticas durante el funcionamiento del lombrifiltro (Baca 2012).



Fotografía 4. Punto de descarga del agua residual.

El sistema de alcantarillado del centro poblado de Huaylacucho, recolecta las aguas residuales, conducidos por acción de la gravedad hacia el punto de descarga que se encuentra a una altitud de 3704 msnm. Siendo las siguientes coordenadas UTM WGS84:

Coordenada Norte : 8585880.15

Coordenada Este : 506264.41



Gráfico 1. Mapa de ubicación de la planta de tratamiento de las aguas residuales (PTAR) de Huaylacucho.

Ubicación geopolítica

Anexo : Centro poblado de Huaylacucho.

Área geográfica : Rural.

Distrito : Huancavelica.

Provincia : Huancavelica.

Región : Huancavelica.

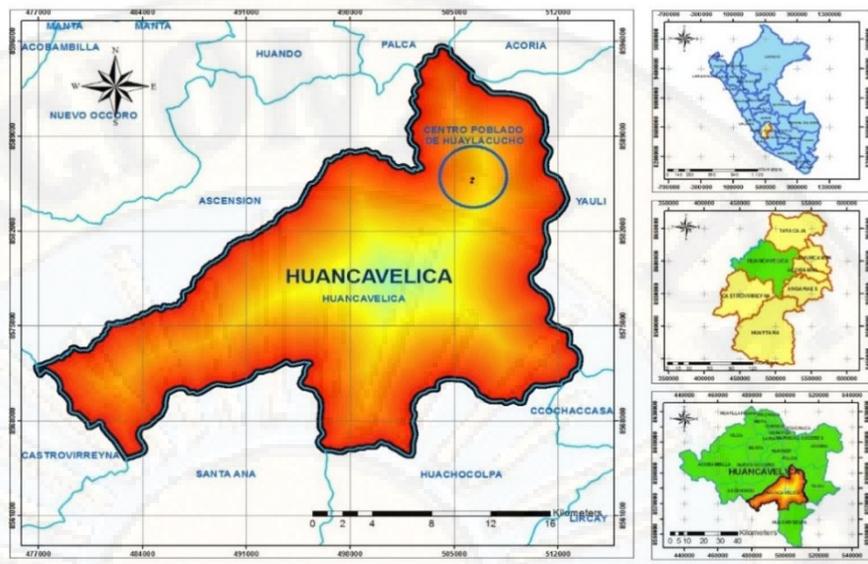


Gráfico 2. Ubicación geopolítica del Centro Poblado de Huaylacucho.

Ubicación geográfica.

La Centro Poblado de Huaylacucho se encuentra a 5 kilómetros de la ciudad de Huancavelica a una altitud de 3783 msnm, con las siguientes coordenadas UTM: longitud 506177.63 y latitud: 8585583.03 en la zona 18 sur (MPH 2010).

Clima

El clima de la región es variado: de templado a frío, característico de la sierra central peruana, durante el día se registran temperaturas medias de 16°C máximo (día) y 5°C (noche); la época de verano está comprendida entre los meses de junio – octubre, así mismo se tiene fuertes heladas entre los meses de junio – septiembre; la época de invierno se inicia en el mes de noviembre y se prolonga hasta el mes de abril, en donde se aprecia precipitaciones pluviales (MPH 2010).

Relieve

El relieve del área urbana está definido por la conformación geomorfológica ubicado al pie del cerro Santa Ana del tipo accidentado se aprecia pendientes fuertes del orden de 50% de sur a norte, los mismos que culminan en la quebrada del río Huaylacucho (MPH 2010).

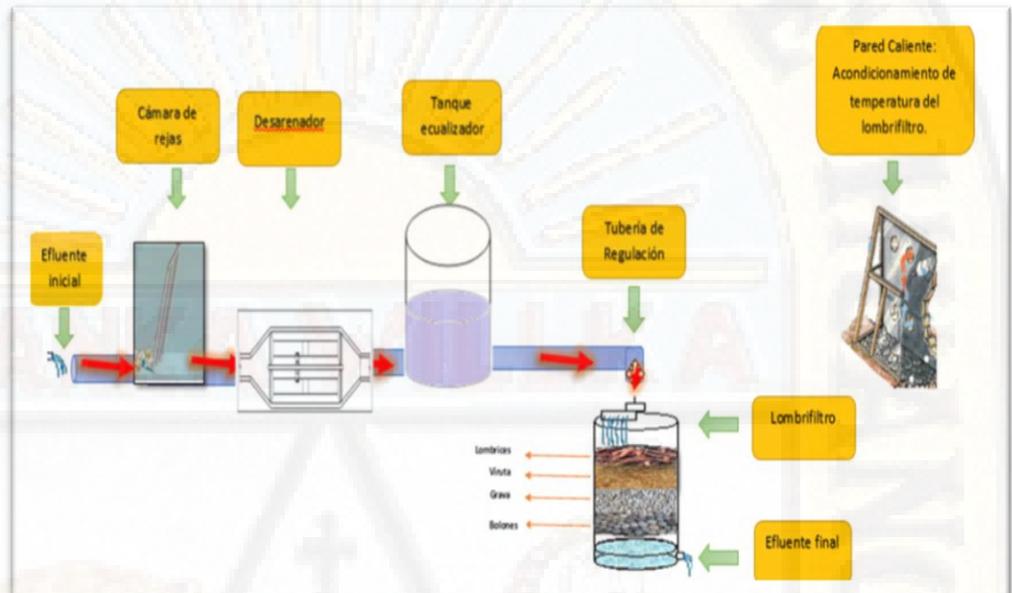


Gráfico 3. Flujograma del sistema de tratamiento de aguas residuales implementando el lombrifiltro.

La finalidad de la presente tesis es implementar el lombrifiltro, para amortiguar los cambios bruscos de la temperatura se instala alrededor de ello la caseta tipo invernadero (técnica de pared caliente).



Fotografía 5. Técnica de pared caliente.

En el año 2010 se ejecuta el proyecto “Mejoramiento del sistema de agua potable y construcción del sistema de alcantarillado del Centro Poblado de Huaylacucho región Huancavelica” a través de la Municipalidad Provincial de Huancavelica, que entre sus componentes tiene la planta de tratamiento de aguas residuales que está conformado por la cámara de rejillas; desarenador; tanque Imhoff y lecho de secado.



Fotografía 6. Planta de tratamiento de aguas residuales del Centro Poblado de Huaylacucho.

A. Zona de transición

Área que permite que el flujo en el punto de descarga del sistema de alcantarillado tenga velocidad entre 0.3 a 0.6 m/s, para dar condiciones de retención de los sólidos que sobrepasen el espaciamiento de las rejas (El Peruano 2016).



Fotografía 7. Zona de transición del pretratamiento.

B. Cámara de rejas

Tratamiento preliminar formado por barras metálicas paralelas, de mismo espesor e igualmente separadas. Se finalidad es retener cuerpos de gran tamaño, además, cuenta con bypass, en caso que el caudal sobrepase los límites de tratamiento del desbaste, con ello se reduciría la probabilidad de colapso (Mercado 2013).

Para el pretratamiento se cuenta con rejas de 60° de inclinación, con 50% de probabilidad de obstrucción, de manera que facilite su limpieza y mantenimiento (El Peruano 2016).



Fotografía 8. Proceso de desbaste de la PTAR de Huaylacucho.

C. Desarenador

Estructura diseñada para retener la arena que traen las aguas servidas a fin de evitar que ingresen a posteriores procesos y/o obstaculice, creando serios problemas y evitar sobrecargas en los procesos posteriores de tratamiento. El desarenado se refiere normalmente a la remoción de las partículas superiores a 0,2 mm de diámetro (CEPIS-2005).



Fotografía 9. Desarenador de la PTAR del Centro Poblado de Huaylacucho.

D. Tanque imhoff

Es un tipo de estructura de doble función: recepción y procesamiento, para aguas residuales. El tanque Imhoff es de forma rectangular, dispone de una cámara que pasan las aguas negras para dar condiciones de sedimentación, además de otra cámara inferior donde la materia recibida por gravedad permanece en condiciones tranquilas para su digestión anaeróbica, los sólidos sedimentables alcanzan la cámara inferior en menor tiempo; la forma de la ranura y de las paredes inclinadas que tiene la cámara acanalada de sedimentación, fuerza a los gases de la digestión a tomar un camino hacia arriba que no perturba la acción sedimentadora (MPH 2010).



Fotografía 10. Tanque imhoff de la Planta de tratamiento de aguas residuales del centro poblado de Huaylacucho.

Una vez realizado el diagnóstico situacional de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del centro poblado de Huaylacucho, se llega a las siguientes conclusiones:

- Carece de diseños técnicos.
- Colmatación del pretratamiento.
- Falta de mantenimiento.

- Dificultad de realizar el mantenimiento.
- Los pobladores desconocen el funcionamiento y operación del sistema de tratamiento.
- Déficit capacitación.
- Accesorios en mal estado.
- Ausencia de cerco perimétrico.
- Los pobladores desconocen los efectos sobre el ecosistema.

Para el presente proyecto del lombrifiltro, se implementa los siguientes procesos.

A. Bomba sumergible

Se adquiere una bomba de sumergible de 1HP de “Marca León” con regulador de nivel de agua; puede impulsar agua residual hasta 12 metros de altura y hasta con un caudal de 5 l/s. (litros por segundo).

La bomba sumergible impulsa agua residual desde la pantalla deflectora hacia el tanque homogenizador.

Para suministrar energía eléctrica a la bomba, se adquirió un generador de 220 voltios.



Fotografía 11. Bomba sumergible.

B. Almacenamiento

Las aguas residuales captadas son acumuladas en el tanque Rotoplas de 1100 Litros para 4 días con los siguientes propósitos:

- Amortiguar las variaciones de caudal.
- Permite suministrar cargas orgánicas con menor cantidad de sólidos totales.
- Actúa como sedimentador secundario.
- Homogenizar las características de calidad físico-química de las aguas provenientes del tanque Imhoff.
- Proveer un flujo continuo para las operaciones posteriores (Compañía Buenaventura 2016).



Fotografía 12. Tanque rotoplas y generador de energía.

C. Técnica de pared caliente

Para construir la técnica de pared caliente, se ubicó en una zona estable, de alta infiltración para evitar inundabilidad, ubicación próxima a la planta de tratamiento de aguas y de considerable pendiente para facilitar el tránsito del flujo.

La inclinación de las paredes es 60° , para asimilar mayor radiación solar durante el día.

Está ubicado, de tal manera que las paredes entren en mayor contacto con la radiación solar y así facilitar el funcionamiento del invernadero.



Fotografía 13. Técnica de pared caliente.

C.1 Dimensionamiento interno de la pared caliente

Se colocan piedras planas previamente pintadas con esmalte de color negro, tapadas con plástico de 3 milímetros de espesor, con la final de reducir la variación de temperatura durante los días nublados o horarios nocturnos.



Fotografía 14. Pintado de las piedras planas.

Se hicieron huecos de 30 centímetros de diámetro en las paredes de triplay, con el objetivo de intercambiar masas de aire que se caliente (en el exterior de la caceta) y se masas de aire que se enfría (en el interior de la caceta) facilitando de esta manera el intercambio de masas de aire (aireación).



Fotografía 15. El aire caliente ingresa y el aire frío sale, por el principio de densidades de gases.

C.2 Dimensionamiento externo de la Pared Caliente

Se instaló techo traslucido de color amarillo para facilitar el ingreso de iluminación solar y debajo se colocó la malla rachell N°12 para asegurar la sombra.



Fotografía 16. Cobertura para generar sombra para la sobrevivencia de las lombrices.

C.3 Ventilación de la pared caliente

Se instaló tuberías de PVC de 2" (pulgadas) en sentido vertical, para airear el filtro biológico.



Fotografía 17. Muros del lombrifiltro.

D. Diseño del lombrifiltro

El lombrifiltro está compuesto de medios filtrantes, medios de soporte y accesorios.

D.1. Solado y soportes laterales del lombrifiltro

La base del lombrifiltro se construyeron con concreto, mientras que las paredes son de muros de concreto y ladrillo en soga.

Se coloca vidrio de 8 milímetros de espesor entre las paredes para visualizar el proceso de desarrollo, evolución y adaptabilidad de las lombrices, así como de biopelículas.

En la base del lombrifiltro atraviesa el canal circular de 2 pulgadas de radio, presenta una leve inclinación del 2% para recolectar el agua residual tratado y así fluya hacia una poza.

En la poza se puede apreciar la existencia de organismos como anfibios, insectos, etc. Siendo un indicador de la mejora de la calidad de agua.



Fotografía 18. Presencia de organismos en la poza.

D.2. Estratos del lombrifiltro

Primer estrato

Una vez construido el lombrifiltro, se procede a colocar en la parte inferior los bolones con dimensión de 3" y 4" (pulgadas), la altura del primer estrato es de 20 cm de altura.

El primer estrato actúa como primer medio de soporte, así como medio de filtro para evitar que se obstruya el canal de recolección.



Fotografía 19. Primer estrato del lombrifiltro.

Segundo estrato

Seguidamente se coloca gravas de 2" (pulgadas) hasta 20cm de altura, para que los microorganismos puedan adherirse.

Promueve el contacto entre el agua residual y las biopelículas.

En el presente estrato se forma la flora bacteriana que metaboliza la materia orgánica del agua que entra en contacto (Quinchel 2015)

Tercer estrato

La tercera capa son las chapas, debido a su forma, tienen mayor área superficial para entrar en contacto con el agua residual, entonces se forman biopelículas, interacciones entre bacterias, etc. La altura del tercer filtro es 15 cm, las chapas fueron lavadas previa colocación en el lombrifiltro.



Fotografía 20. Formación de biopelículas en el estrato de chapas.

Cuarto estrato

La cuarta capa consta de aserrín, hasta una altura de 15 cm, éste estrato entre sus funciones:

- Mantiene la humedad.
- Alimento orgánico.
- Zona donde la lombriz *Eisenia foétida* se desarrolla.
- Éstrato aireado por el movimiento continuo de las lombrices.



Fotografía 21. Presencia de lombrices de especie *Eisenia foétida* aireando el estrato.

Quinto estrato

La quinta capa está formada por tierra orgánica para adaptar las lombrices, se agregó hasta una altura de 5 cm.



Fotografía 22. Tierra orgánica en el lombrifiltro.

Sexto estrato

El sexto estrato, está conformado por las lombrices californianas, las variaciones climáticas bruscan su muerte, por lo que se dispersa el humus en la que se encuentran, con sumo cuidado sobre la superficie hasta cubrir un área la $\frac{1}{4}$ parte del área del lombrifiltro.

Al inicio se alimentaron de residuos vegetales, hojas o similares con el fin de superar el estrés del viaje.



Fotografía 23. Aireación de las primeras capas del lombrifiltro.

Cada 15 días se realizó la aireación entre el quinto y sexto estrato, para aumentar la aireación de los estratos y con ello:

- Mejorar las condiciones de vida de las lombrices.
- Promover el contacto entre los nutrientes orgánicos del agua residual y las lombrices.
- Homogenizar la humedad.

Séptimo estrato

El riego del agua residual sobre el lombrifiltro es constante, para proteger los estratos por la caída de las gotas se coloca corteza del Quinual.



Fotografía 24. Colocación de la corteza del Quinual.

D.3. Sistema de riego con agua residual al lombrifiltro

El diseño del lombrifiltro se basa en el caudal a tratar, el balance de masas considera: el número de lombrices que puede habitar en unidad de área (Quinchel 2015).

Para la distribución del caudal sobre el área del lombrifiltro, se utiliza la manguera de media pulgada ($\frac{1}{2}$ ") de 8 metros de longitud, perforado con aguja de coser cada 10 cm. y espaciamiento entre y manguera cada 10 cm.



Fotografía 25. Distribución de caudal sobre el lombrifiltro.

La limpieza de la manguera se realizó cada 2 semanas con la finalidad de evitar que los orificios se obstruyan.



Fotografía 26. Limpieza de la manguera que distribuye el caudal.

Caudal de diseño del lombrifiltro

La tasa máxima de riego que puede soportar el lecho para evitar la muerte de lombrices por falta de oxígeno corresponde a $1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ (Quinchel 2015).

Siendo los parámetros de diseño:

$$\text{Caudal (Q)} = 0.25 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Velocidad (V)} = 10 \text{ cm/s}$$

$$\text{TRH} = 6220 \text{ seg.} = 2 \text{ horas}$$

Dimensionamiento del lombrifiltro

Lado: 1 metro.

Ancho: 1 metro.

Altura del estrato: 65 cm.

Altura del muro: 80 cm.



Fotografía 27. Dimensionamiento del lombrifiltro.

3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

Las técnicas para la recolección de datos, son específicas para los datos de campo, así como para los parámetros de laboratorio, siendo los instrumentos de recolección que se detalla a continuación.

Tabla 5.

Técnicas, instrumentos y métodos de los indicadores.

PARÁMETROS	TÉCNICA	INSTRUMENTO	MÉTODO
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)	Manométrica	Sensor DBO ₅	Método de DBO por autocontrol
Coliformes termotolerantes	Conteo de UFC	Incubadora y placas Petrifilm 3M	AFNOR método validado 3M 01/2-09/89C
Caudal	Estándar	Probeta y cronómetro	Método Volumétrico
Temperatura	Estándar	Termómetro bimetálico	Método mecánico
Humedad	Tensiométrica	Tensiómetro	Método directo
Potencial de hidrogenoides	Potenciométrica	pH metro digital.	Método mecánico

3.5.2.1. Procedimiento de recolección

Para caracterizar los efluentes domésticos generados por el centro poblado de Huaylacucho se utilizó el protocolo de monitoreo de la calidad de efluentes para las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (OMA 2013).

3.5.2.2. Descripción del proceso de muestreo

Para analizar la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) se necesita el volumen de 1000 ml (mililitros) por muestra, además de frascos de plástico o vidrio, para luego refrigerar a $4^{\circ}C$, siendo el tiempo máximo de duración de 48 horas (DIGESA 2013).

El método que se utilizará para medir la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) Método de DBO_5 por respirométrico (Slevog 2016).

Para analizar los coliformes termotolerantes se necesita un volumen de 250 ml por muestra, se utiliza un frasco de plástico o frasco de vidrio de color ambar, refrigerar a $4^{\circ}C$, siendo el tiempo máximo de duración de 6 horas (DIGESA 2013).

El método que se utilizará para medir los coliformes termotolerantes es el AFNOR método validado 3M 01/2-09/89C.



Fotografía 28. Muestras preservadas en cooler durante el traslado al laboratorio.

3.5.2.2.1. Descripción para la determinación de los parámetros de laboratorio.

a) Procedimiento para el análisis para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Se utiliza el equipo VELP CIENTIFIC 6 posiciones DBO y incubadora que mantenga la temperatura de 20°C durante el análisis (Slevogt 2016):

Materiales de laboratorio

- Cooler: 1 unidad.
- Botellas de vidrio: 2 unidades - 500ml.
- Guantes latex: 1 par.
- Marcador: 1 unidad.
- pH metro – calibrado.
- Hojas de registro de datos.
- Matraz: 3 unidad – 1000 ml.
- 1 litro de agua destilada.
- Hidróxido de potasio (granallas).
- Espátula.
- Vaso precipitado: 3 unidades.
- Probeta: 1 unidad de 100 ml.
- Pipetas esterilizadas de 1 a 2 ml: 4 unidades.
- Bombeador de aire.
- Botellas de color ambar para DBO₅: 6 unidades.
- Nutrientes “a” “b” “c” y “d”.
- Agitador: 6 unidades.
- Vibrador magnético: para colocar las muestras.
- Incubadora.

Muestreo para el análisis

- Utilizar frascos de plástico o vidrio con tapa, esterilizados y limpios.
- Llenar completamente el frasco e inmediatamente tapar.
- Mantener la muestra en el cooler, a temperatura de 4°C. para trasladar hacia el laboratorio central de la Universidad Nacional de Huancavelica, no debe exceder las 24 horas.
- Rotular con fecha, hora, persona encargada y observaciones que se pudiera distinguir.
- Volumen de muestra: 1000 ml.

Procedimiento para el análisis

- Para el presente análisis se utilizará 2 recipientes de color ámbar (Viene con el equipo Velp Cientific DBO 6 posiciones), siendo uno para el efluente y el otro para el afluente.
- Se llena en cada uno el volumen de 500 ml. de efluente y en el otro el mismo volumen.
- Se añade la varilla agitadora a cada uno.
- Se añade nutrientes A, B, C, y D, a cada uno, el volumen 1 ml, con pipetas esterilizadas y distintas, para no ser contaminadas.
- Se agrega 0.8 ml de inhibidor nitrificante, a cada recipiente, para reducir inhibir el consumo de oxígeno por parte de las bacterias nitrificantes utilizando una pipeta previamente esterilizada.
- Se agrega 10 granallas en los depósitos de CO₂ (Dióxido de Carbono).

- Se tapa el frasco con el sensor manométrico, cerrar bien para evitar fugas ya la vez, evitar ajustes demasiados, que puedan dañar la rosca del sensor.
- Se coloca el rango en SET, hacer tantas veces posibles hasta encontrar el rango 0-90 para luego marcar START, con este procedimiento el equipo da inicio de lectura.
- Llevar los frascos hacia la incubadora a una temperatura de 20 °C por 5 días.
- Rotular indicando la hora, fecha de inicio y fin del periodo de lectura, siendo 5 días. (Efluente o Afluente).
- Al quinto día se procede a hacer clic prolongadamente la letra START y luego SET, STAR Y SET, así consecutivamente hasta tener el ciclo de lectura del quinto día, anotar en un reporte y enviar la información al Grupo de investigación.

Mantenimiento del equipo

Una vez terminada la prueba se procede a lavar los frascos solo con agua tibia.

No utilizar ningún detergente o similar ya que puede influir en las lecturas.

Los sensores serán reiniciados haciendo clic en SET y START de manera simultánea y prologada.

b) Procedimiento de análisis para los coliformes termotolerantes.

Materiales de laboratorio

- Tubos de ensayo.
- Pipeta graduada de 1ml.
- Pera de succión.
- Mechero.

- Ron de quemar.
- Algodón.
- 02 placas petrifilm 3M.
- 01 homogenizador.
- 2 vasos precipitados.
- Par de guantes quirúrgicos.

Muestreo para el análisis

- Enjuagar los frascos con el agua residual.
- Utilizar frascos de plástico o vidrio de color ámbar, con tapa.
- Llenar el volumen de 250 ml. e inmediatamente tapar.
- Mantener las muestras en contenedores, refrigerando a 4°C hasta el inicio del análisis, no debe exceder las 24 horas.
- Rotular la fecha, hora, persona encargada y observaciones.

Análisis de coliformes termotolerantes

- Preparar tres tubos de ensayos, donde se llenará de agua destilada, siendo el volumen de 9ml en cada uno.
- Se procede a separar, siendo 1 tubo de ensayo para el efluente y 2 tubos de ensayo para el afluente.
- En el tubo de ensayo del efluente se siembra 1 ml de agua residual, se agita para homogenizar, luego se procede a tomar 1ml de esta mezcla para colocar en las placas Petri film 3M. la siembra se hará perpendicularmente, lo más próxima posible a la placa, y lentamente, sin tocar el agar. El riego se hará iniciando desde arriba hacia abajo, una vez abriendo la cubierta de protección del agar, no dejar burbujas. Luego se tapa la cubierta para poner la tapa homogeneizadora, aplastando suavemente sobre la placa

para completar el riego sobre todo el agar. Recuerde que la dilución de este procedimiento debe ser 10^{-2} .

- En el primer tubo de ensayo del afluente se siembra 1 ml de agua residual del mismo, se agita para homogenizar, luego se procede a tomar 1ml de la mezcla y se procede a sembrar en el segundo tubo de ensayo del efluente, luego mezclar y homogenizar, para finalmente realizar la siembra de 1 ml de esta mezcla y colocar en las placas Petri film 3M. la siembra se hará perpendicularmente, lo más próxima posible a la placa, y lentamente, sin tocar el agar. El riego se hará iniciando desde arriba hacia abajo, una vez abriendo la cubierta de protección del agar, no dejar ninguna burbuja. Luego se tapa la cubierta para poner la tapa homogeneizadora, aplastando suavemente sobre la placa para completar el riego sobre todo el agar. Recuerde que la dilución de este procedimiento debe ser 10^{-1} .
- Se rotula con la fecha y hora de siembra, nombre y apellido del responsable.
- Se coloca en la incubadora por 24h +/-2h y a 44 °C
- Para el crecimiento de los coliformes termotolerantes se deberá dar condiciones de ambiente húmedo, por lo que se coloca un vaso precipitado de 500ml con contenido de 250 ml de agua destilada.
- Transcurrido las 24 horas, se realiza el recuento, por lo que tendrá que dibujar la placa Petrifilm con sus respectivos cuadrantes y cantidad de colonias que se llegaron a formar. Nota, se cuenta la colonia que solo ha generado gas.
- Se procede a tomar foto las placas Petri film, seguidas de la cantidad de recuento.
- Luego de la información obtenida se transforma de NMP a UFC según cuadro.

Tabla 6.

Tabla de conversión de UFC a NMP.

MPN Sequence			MPN index (starting at 1:10 dilution)	Petrifilm EC Count Plate result
0	0	0	<3.0	<6.0
0	0	1	3.01	6
0	1	0	3.05	6
0	1	1	6.11	12
0	2	0	6.19	12
0	3	0	9.44	18
1	0	0	3.57	7
1	0	1	7.23	14
1	1	0	11	20
1	1	1	7.36	14
1	1	2	11.2	21
1	2	0	11.4	21
1	2	1	15.4	27
1	3	0	15.7	28
2	0	0	9.18	17
2	0	1	14.3	26
2	0	2	19.9	35
2	1	0	14.7	26
2	1	1	20.5	36
2	1	2	26.8	45
2	2	0	21.1	36
2	2	1	27.6	46
2	2	2	34.8	57
2	3	0	28.6	48
2	3	1	36	59
3	0	0	23.1	40
3	0	1	38.5	63
3	0	2	63.6	98
3	1	0	42.7	69
3	1	1	74.9	114
3	1	2	115	168
3	2	0	159	225
3	2	1	93.3	139
3	2	2	149	212
3	2	3	215	295
3	3	0	292	388
3	3	1	240	325
3	3	2	462	586
3	3	3	1100	1280
3	3	3	>1100	>1280

Note: MPN results based on a 3 tube MPN starting at a 1:10 dilution (i.e., 3 tubes at 1:10, 3 tubes at 1:100 and 3 tubes at 1:1000).

Fuente: (Laboratorio MICROLABS, 2004).

Materiales para esterilizar

- Papel graphe.
- Hilo pavilo.
- Alcohol.
- Guantes.
- Secador.
- Alcohol.
- Franela.
- Marcador.
- Ron de quemar.
- Algodón.
- Cubierta para cabello.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento de datos consiste en la recolección de los datos primarios de entrada y salida, que son evaluados y ordenados, para obtener la información útil, que luego serán analizados para tomar decisiones y realizar las acciones correspondientes.

Se utilizó el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System), para procesar los datos y contrastar la hipótesis propuesta en la presente investigación.

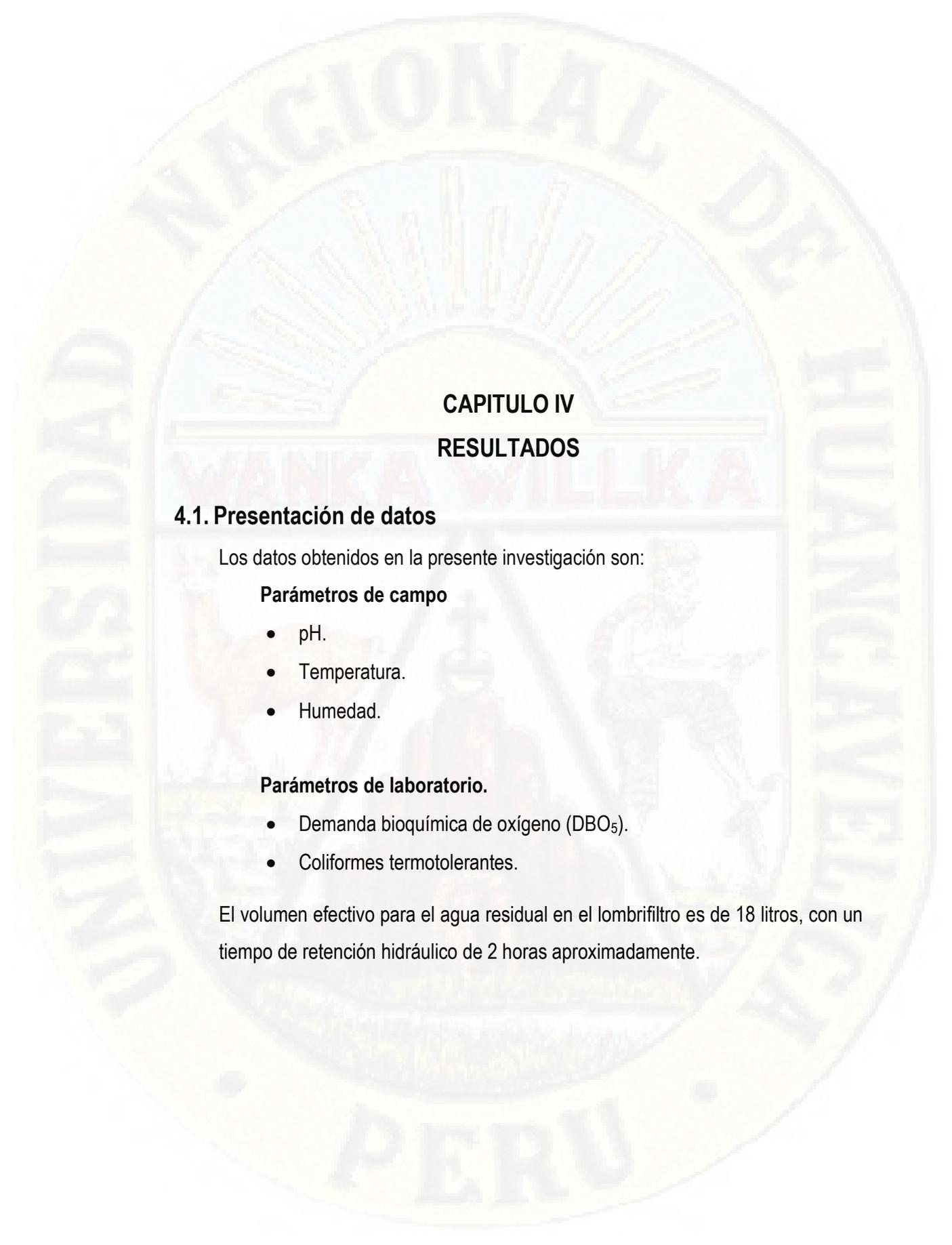
La información que se obtuvo del monitoreo es para cada una de las variables de la investigación.

En la presente investigación se utilizó la estadística inferencial, porque busca aprobar la hipótesis o determinar la significatividad (Ramírez 2013).

Es necesario recurrir a la estadística inferencial porque buscar inferir, generalizar las cualidades observadas en una muestra a toda una población (agua residual doméstico), mediante modelos matemáticos y estadísticos. Sirve para probar la hipótesis en base a la distribución de la muestra (Ramírez 2013).

La prueba de hipótesis se efectuó mediante el análisis paramétrico, ya que se efectúa mediante un conjunto de técnicas estadísticas como: coeficiente de correlación, análisis de variancia, prueba de Z. Para la presente investigación se utilizará la prueba de Z al 5%, ello porque no interviene el ser humano en la experimentación (Ramírez 2013).

La prueba de Z ayudará al investigador a encontrar la significatividad de los resultados (Ramírez 2013).

The logo of the Universidad Nacional de Huancavelica, Peru, is a large, circular emblem in the background. It features a sun with rays at the top, a central shield with a figure, and the text 'UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA PERU' around the perimeter.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Presentación de datos

Los datos obtenidos en la presente investigación son:

Parámetros de campo

- pH.
- Temperatura.
- Humedad.

Parámetros de laboratorio.

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).
- Coliformes termotolerantes.

El volumen efectivo para el agua residual en el lombrifiltro es de 18 litros, con un tiempo de retención hidráulico de 2 horas aproximadamente.

4.1.1. Descripción de los resultados

Los parámetros de campo son registrados desde el mes de febrero, hasta la culminación del proyecto, mientras que los parámetros de laboratorio desde el mes de julio, con el objetivo de optimizar el tratamiento biológico, a través del:

- Contacto y adherencia de bacterias sobre la superficie de los estratos.
- Formación de microcolonias entre los estratos.
- Comunicación entre moléculas y producción de la matriz extracelular.
- Maduración del biofilm.

Los instrumentos utilizados, fueron previamente calibrados para la veracidad de los resultados.

Se cuenta con el registro de 64 datos por parámetros de campo in situ y 40 datos por parámetro de laboratorio (DBO₅ y coliformes Termotolerantes).

4.1.2. Resultados obtenidos por parámetro

Para la presente se detalla los resultados obtenidos durante el funcionamiento del lombrifiltro.

4.1.2.1. Evaluación de parámetros de campo

4.1.2.1.1. Potencial de hidrogenoides (pH) del afluente y efluente

El pH se determinó instantáneamente con el equipo pH/Temp Meter de Marca Milwaukee, previamente calibrado y que contiene solución de mantenimiento para asegurar de que el bulbo esté en buen estado.

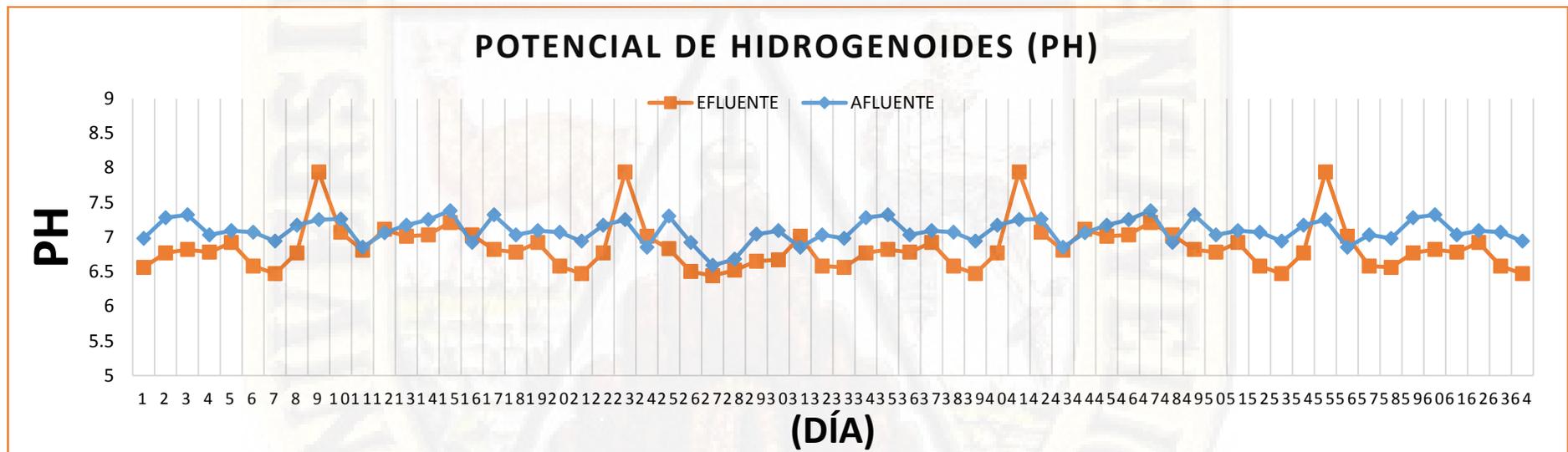


Gráfico 4. Potencial de hidrogenoides (pH) del efluente y afluente.

4.1.2.1.2. Temperatura del afluente y efluente del agua residual doméstico

La temperatura se determinó con el equipo termómetro bimetalico de marca HANNA de 10 cm de longitud que tiene un rango de medición entre -50°C a 300°C.

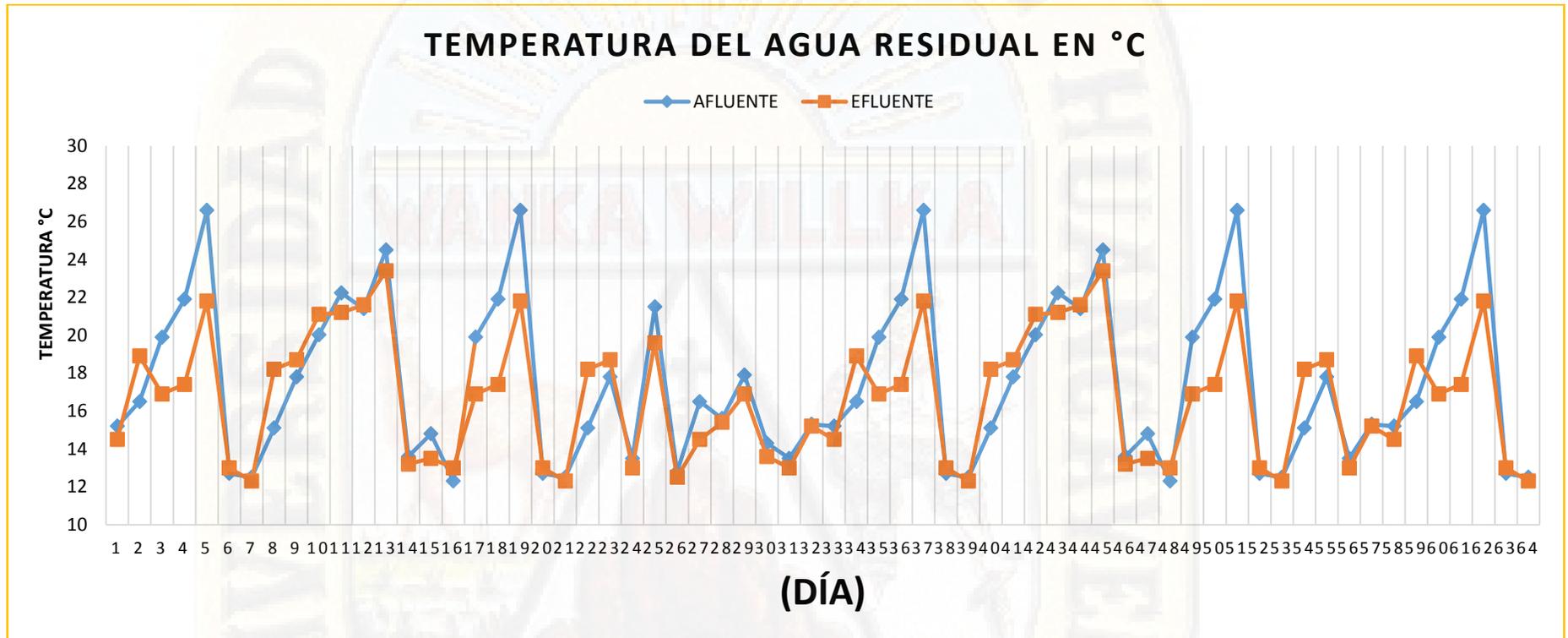


Gráfico 5. Variación de temperatura del efluente y afluente.

4.1.2.1.3. Caudal del afluente y efluente del agua residual doméstico

El caudal es constante, se mide con el cronómetro y una probeta volumétrica.

4.1.2.1.4. Humedad del lombrifiltro

La humedad se mide con el tensiómetro de 30 cm. de longitud, uno de los indicadores importante para el normal desarrollo, siendo la humedad constante en el estrato donde habitan las lombrices permanezcan.

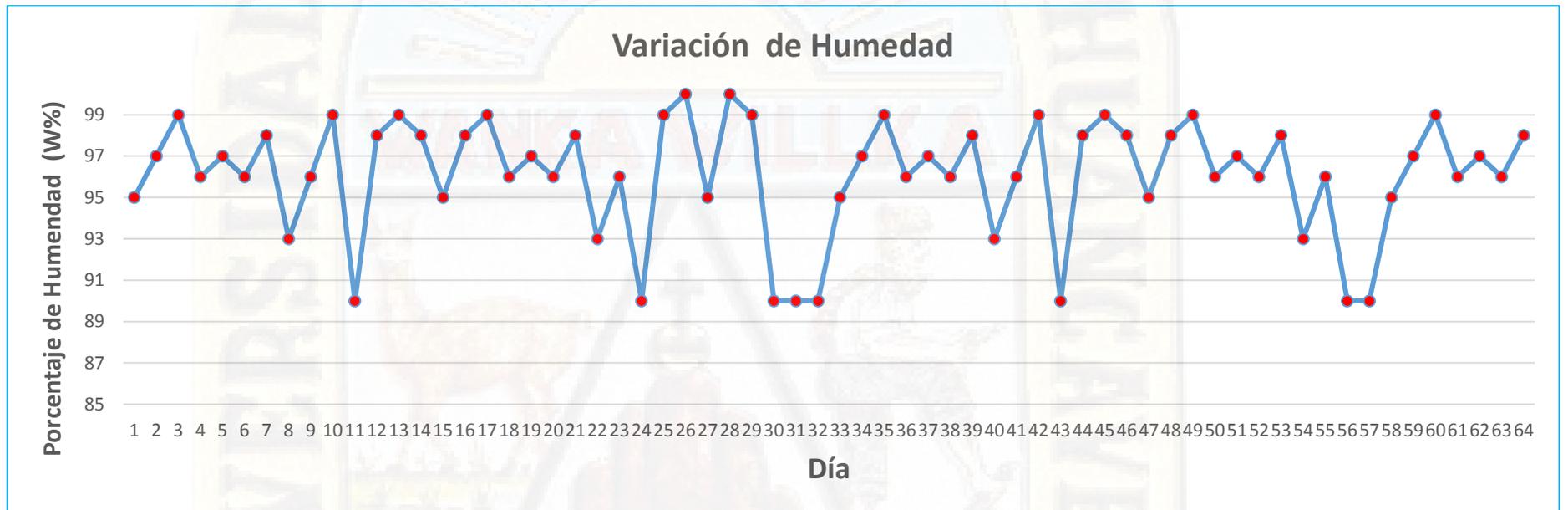


Gráfico 6. Humedad del habitat del lombrifiltro.

4.1.2.1.5. Temperatura del habitat del lombrifiltro, la caceta y el ambiente de la técnica de pared caliente

Se evalúa la temperatura ambiente del lombrifiltro, la caceta y el ambiente, para ello, se determinó con el equipo termómetro bimetalico de marca HANNA de 30 cm de longitud, que tiene un rango de medición entre -50°C a 300°C. previa calibración del equipo.

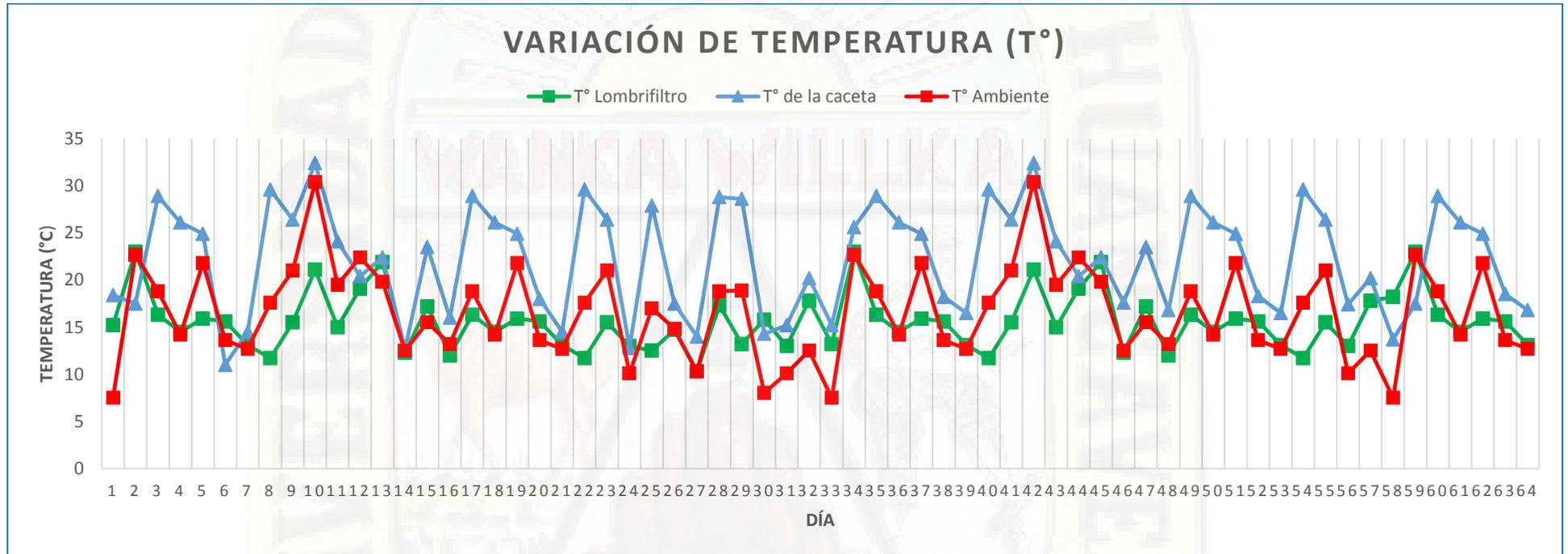


Gráfico 7. Diferencia de temperatura entre el habitad del lombrifiltro, la caceta y el ambiente exterior de la técnica de pared caliente.

4.1.2.2. Parámetros evaluados de laboratorio.

El análisis realizado para los parámetros de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y coliformes termotolerantes se detalla a continuación.

4.1.2.2.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

El análisis realizado para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) se detalla en el siguiente gráfico, en donde se detalla la diferencia de remoción.

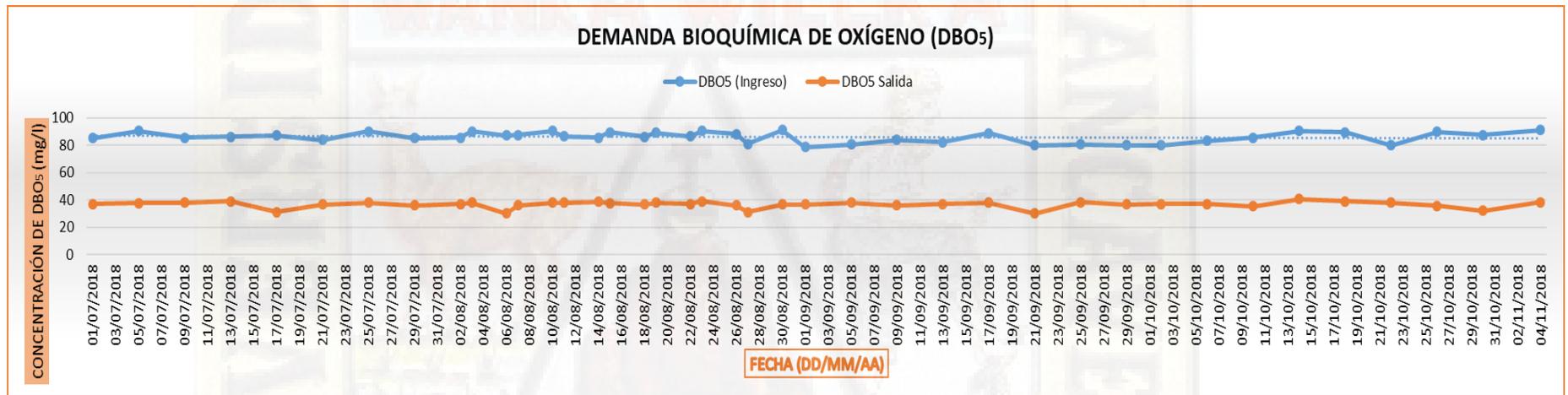


Gráfico 8. Variación de los valores de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) de ingreso y salida del agua residual.

4.1.2.2. Coliformes termotolerantes

El análisis realizado para el DBO₅ se detalla en el siguiente gráfico, en donde se detalla la diferencia de remoción.

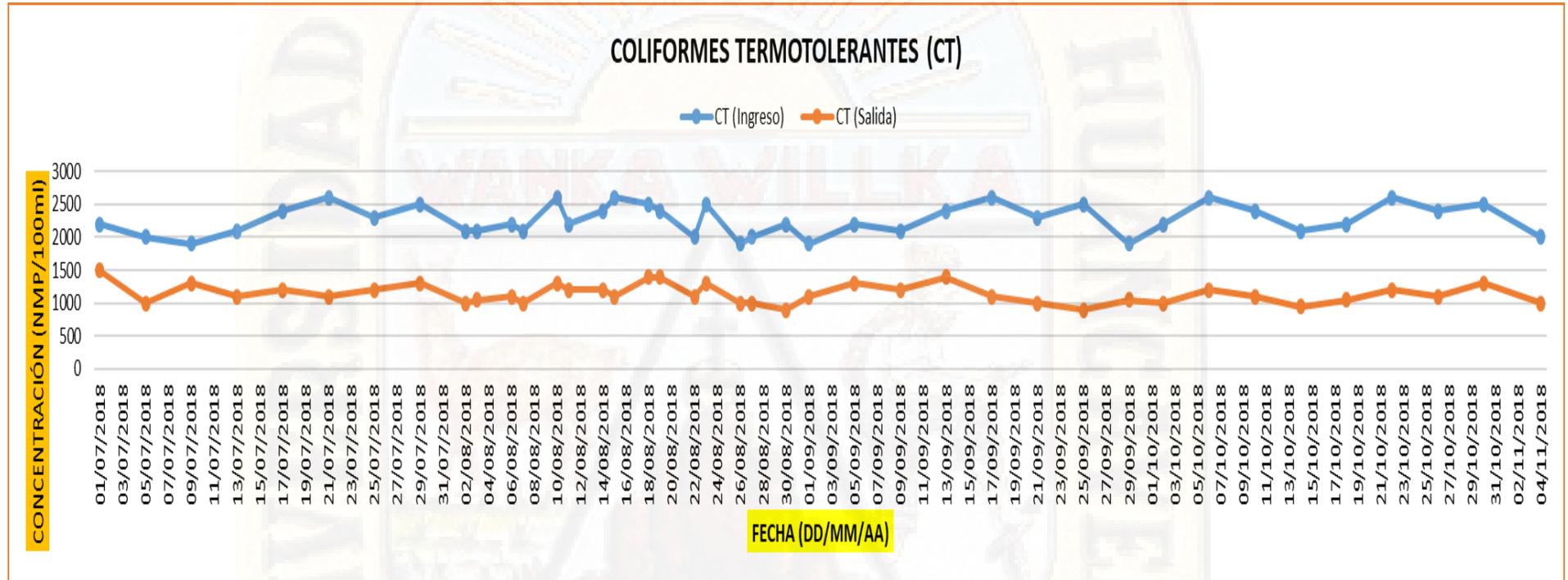


Gráfico 9. Variación de los valores de los coliformes termotolerantes (CT) de ingreso y salida del agua residual.

4.2 Análisis de datos

4.2.2 Interpretación de los resultados de los parámetros analizados

4.2.2.1 Parámetros in situ

Los parámetros de campo en estudio son la:

- Temperatura ambiente.
- Humedad.
- Temperatura en el lombrifiltro.

Éstos son los parámetros que garantizan el normal desarrollo de las lombrices de la especie *Esenia foétida* y así validarán la eficiencia de remoción. En la presente tabla se detalla los parámetros en estudio.

Tabla 7.

Parámetros in situ del agua residual.

Ubicación	Parámetro	Unid	Cantidad muestras	Media	Mediana	Moda	Valor Max	Valor Min
Efluente	PH	Ph	64	7.089	7.07	7.03	7.38	6.59
	Temperatura	C°	64	17.53	16.5	12.5	26.6	12.3
	Caudal	l/s	64	0.0028	0.0028	0.0028	.	.
Afluente	PH	Ph	64	6.859	6.795	6.58	7.94	6.44
	Temperatura	C°	64	16.72	16.9	13	23.4	12.3
	Caudal	l/s	64	0.0028	0.0028	0.0028	.	.

Según la tabla 9 se muestra que el promedio de pH del afluente es de 7.089, y la temperatura es de 17.53 °C. Mientras el promedio de pH del efluente es de 6.859, con una temperatura de 16.72°C.

El caudal de ingreso y de salida es constante.

El pH tanto el afluente y efluente están dentro del rango permisible del D.S. N°003-MINAM-2010.

Tabla 8.

Parámetros in situ del lombrifiltro, caseta y medio ambiente.

	Parámetro	Unid.	Cantidad muestras	Media	Mediana	Moda	Cuantil Max.	Cuantil Min.
LOMBRIFILTRO	Humedad	%	64	82.03	82	82	86	78
	Temperatura	C°	64	15.57	15.5	13.1	23	10.3
CASETA	Temperatura	C°	64	22.18	23.5	24.9	32.4	11
AMBIENTE	Temperatura	C°	64	16.56	16.25	18.8	30.4	7.5

Se acondicionó la técnica de pared caliente para prever al lombrifiltro condiciones adecuadas de temperatura y humedad.

El registro de temperatura ambiente en el exterior de la caseta en el día es en promedio 16°C y durante la noche de 5°C, el cual desfavorece el de las lombrices.

Al instalar la caseta tipo invernadero, la temperatura mínima en el interior es de 10.3°C y la máxima de 23°C; con respecto al porcentaje promedio de humedad es de en 82.03 % el cual está en el rango para el normal desarrollo de las lombrices de la especie *Eisenia foétida*.

4.2.2.2 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

La concentración promedio en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) del afluente es 85.95 mg/l, el mayor valor fue de 91.20 mg/l y el menor valor resulto ser 78.50 mg/l. Respecto a la concentración promedio en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) del efluente es 36.55 mg/l, el valor máximo es de 40.50 mg/l y el valor mínimo es de 30 mg/l.

La eficiencia de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) es 49.9 mg/l, lo que equivale a un 58% de remoción respecto al ingreso.

Tabla 9.

Valores evaluados de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

Parámetro	Unid.	Número de Muestras	Media	mediana	Moda	cuantil max	cuantil min
DBO ₅ Afluente	mg/l	40	85.957	86.25	90.5	91.2	78.5
DBO ₅ Efluente	mg/l	40	36.55	37	38	40.5	30
DBO ₅ Remocion	mg/l	40	49.4	49.9	47	57	41.8

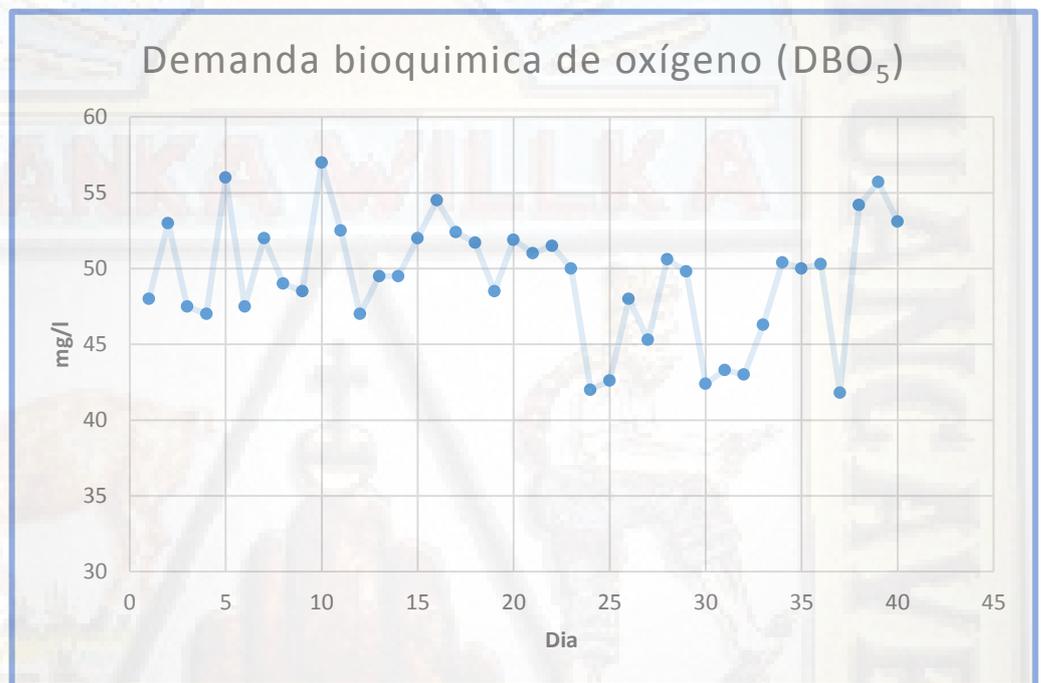


Gráfico 10. Variación de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

El gráfico N° 11 detalla la variación de la concentración de la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), teniendo en cuenta que el máximo porcentaje de remoción resulta ser 62.5% y el mínimo porcentaje es 53.25%.

Tabla 10.

Evaluación del test de normalidad de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

TEST'S PARA NORMALIDAD				
Test	Estadístico			p valor
Shapiro-Wilk	W	0.966051	Pr < W	0.268
Kolmogorov-Smirnov	D	0.089004	Pr > D	>0.1500
Cramer-von Mises	W-Sq	0.05187	Pr > W-Sq	>0.2500
Anderson-Darling	A-Sq	0.408426	Pr > A-Sq	>0.2500

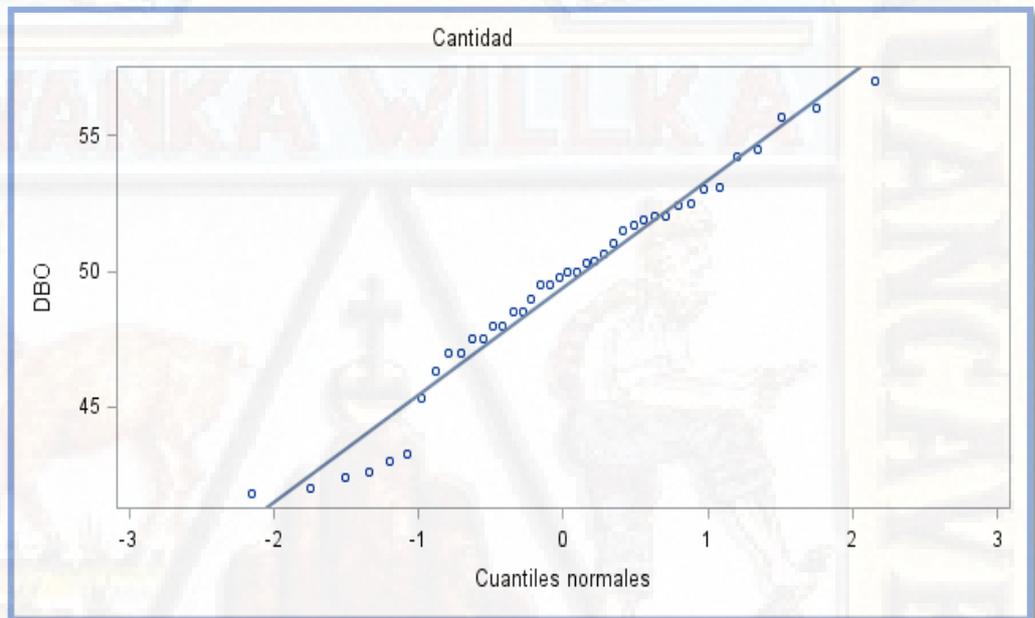


Gráfico 11: Normalidad de valores de DBO₅.

En el cuadro se muestra la prueba de normalidad representa ser mayor a 0.05 en los test realizados, además, garantiza la confiabilidad obtenida referente a la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

4.2.2.3 Coliformes termotolerantes

El resultado promedio del afluente referente a los coliformes termotolerantes es 2267.5 NMP/100ml, mientras que el efluente es

de 1142.5 NMP/ 100ml. La remoción obtenida en promedio es de 1125 NMP/100ml.

Como resultado se obtiene una eficiencia de remoción del 50% de coliformes termotolerantes.

Tabla 11.
Datos evaluados de la concentración de los coliformes termotolerantes.

Parámetro	Unidad	# Muestras	Media	Mediana	Moda	Valor máx	Valor mín
Coliformes (Afluente)	NMP	40	2267.5	2200	2200	2600	1900
Coliformes (Efluente)	NMP	40	1142.5	1100	1100	1500	900
Coliformes Remoción	NMP	40	1125	1100	1000	1600	600

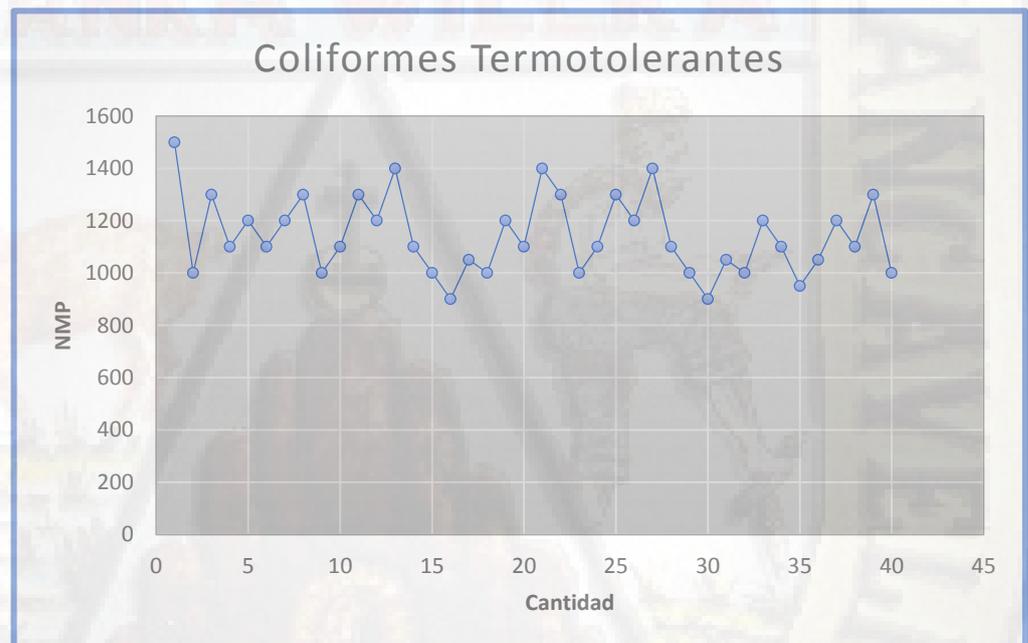


Gráfico 12. Variación de remoción de coliformes termotolerantes.

El gráfico muestra la variación de la concentración respecto al tiempo.

El porcentaje de mayor remoción es 61.50% y el de menor remoción es 32%.

Tabla 12.

Prueba de normalidad para los coliformes termotolerantes.

TESTs PARA NORMALIDAD				
TEST	ESTADÍSTICO		P VALOR	
Shapiro-Wilk	W	0.982326	Pr < W	0.7748
Kolmogorov-Smirnov	D	0.093495	Pr > D	>0.1500
Cramer-von Mises	W-Sq	0.052966	Pr > W-Sq	>0.2500
Anderson-Darling	A-Sq	0.318422	Pr > A-Sq	>0.2500

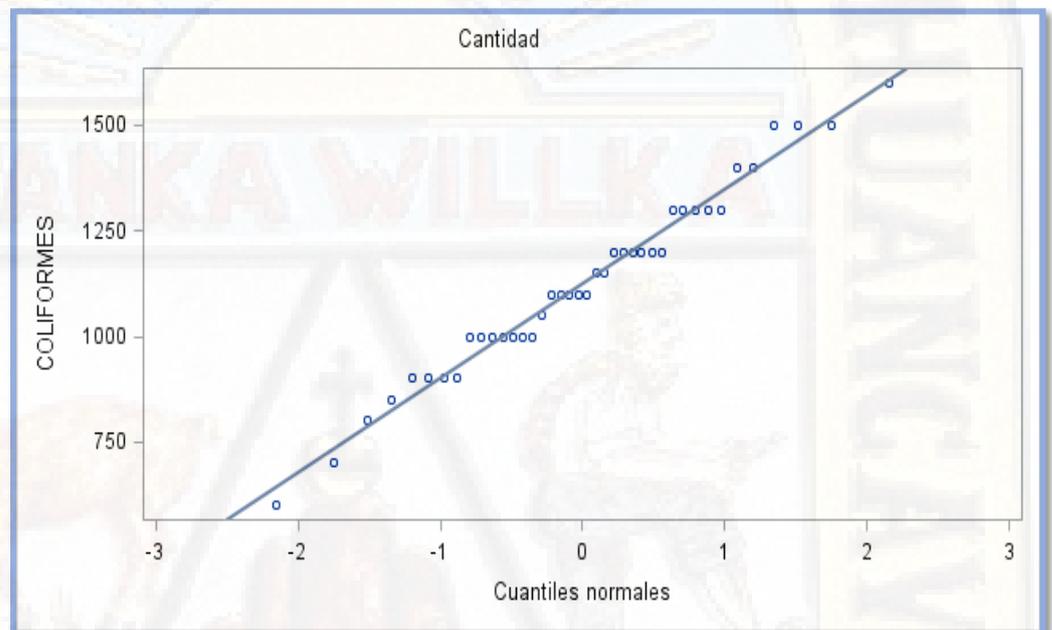


Gráfico 13. Normalidad de valores de coliformes termotolerantes.

En el cuadro se muestra la prueba de normalidad, el cual es mayor a 0.05, en los test realizados, garantizando la confiabilidad de los resultados obtenidos en la remoción de la los coliformes termotolerantes.

4.2.3 Contratación de la hipótesis con los resultados

4.2.3.1 DBO₅

Prueba de hipótesis

Ha: La eficiencia de remoción del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huaylacucho del distrito de Huancavelica, será significativamente alta.

Ho: La eficiencia de remoción del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huaylacucho del distrito de Huancavelica, será significativamente baja.

Niveles de significación.

Nivel de significación alfa = 0.05 %

Ha: $u < 100$ mg/l (La eficiencia de remoción del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huaylacucho del distrito de Huancavelica, será significativamente alta).

Ho: $u \geq 100$ mg/l (La eficiencia de remoción del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huaylacucho del distrito de Huancavelica, será significativamente baja).

Estadística de prueba

Se utilizó la prueba de Z y se obtuvo un p – valor:

Tabla 13.

Test de posición para (DBO₅).

Tests para posición: $\mu_0=0$				
Test	Estadístico			p valor
Z	t	79.12262	$\Pr > t $	1.2630
Signo	M	20	$\Pr \geq M $	<.0001
Puntuación con signo	S	410	$\Pr \geq S $	<.0001

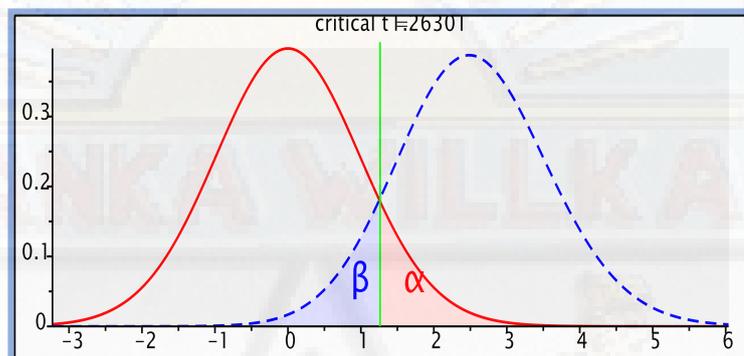


Gráfico 14. Diagrama de distribución normal para DBO₅.

Del gráfico se describe lo siguiente:

El valor de p 1.26301 cae fuera de la región crítica, por tanto, se rechaza la H_0 y acepto la hipótesis alterna “La eficiencia de remoción del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huaylacucho de distrito de Huancavelica, es significativamente alta.

Por lo tanto, se demostró la existencia de eficiencia en la remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) el cual valida el estudio de la variable con un grado de significancia estadística de 0.05.

4.2.3.2 COLIFORMES TERMOTOLERANTES

Prueba de hipótesis

Ha: La eficiencia de remoción del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huaylacucho del distrito de Huancavelica, será significativamente alta.

Ho: La eficiencia de remoción del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huaylacucho del distrito de Huancavelica, será significativamente baja.

Niveles de significación.

Nivel de significación alfa = 0.05 %

Ha: $\mu < 10,000$ NMP/100 ml (La eficiencia de remoción del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huaylacucho del distrito de Huancavelica, será significativamente alta).

Ho: $\mu \geq 10,000$ NMP/100 ml (La eficiencia de remoción del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huaylacucho del distrito de Huancavelica, será significativamente baja).

Estadística de prueba

Se utilizó la prueba de Z y se obtuvo un p – valor:

Tabla 14.

Test de posición para coliformes termotolerantes.

Tests para posición: $\mu_0=0$				
Test	Estadístico		p valor	
Z	t	31.86068	$Pr > t $	1.32042
Signo	M	20	$Pr \geq M $	<.0001
Puntuación con signo	S	410	$Pr \geq S $	<.0001

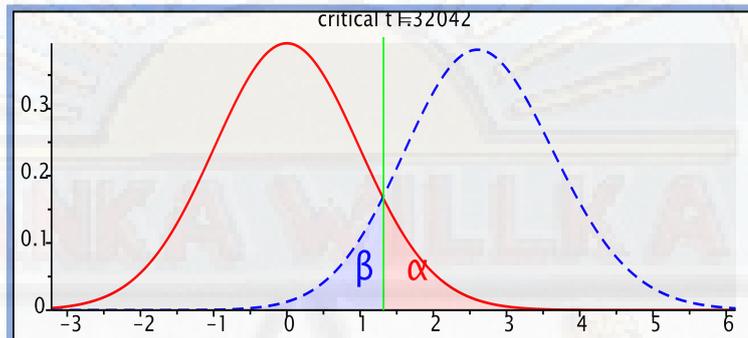


Gráfico 15. Diagrama de distribución normal para coliformes termotolerantes.

El gráfico describe lo siguiente:

El valor de $p=1.32042$, cae fuera de la región crítica, por tanto, rechazo el H_0 y acepto la hipótesis alterna, la media de la eficiencia de remoción del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huaylacucho del Distrito de Huancavelica, es significativamente alta.

Por tanto, se demostró la existencia de eficiencia en la remoción de coliformes termotolerantes por el lombrifiltro el cual valida el estudio de la variable con un grado de significancia estadística de 0.05.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- En la presente tesis los resultados de la eficiencia de remoción del lombrifiltro fueron superior al 50% de la concentración en los parámetros de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y de coliformes termotolerantes, el cual es similar a la conclusión de Chávez (2017), en su investigación "Eficiencia de un Biofiltro en la Reducción de Carga Orgánica de un Efluente Industrial en la Ciudad de Celendín" en el que confirma que la eficiencia de remoción es superior al 50% de la carga orgánica inicial, sin embargo en las investigaciones de Arango y Miranda se tuvo mayor eficiencia de remoción al implementar el lombrifiltro como un proceso biológico en el tratamiento de aguas residuales; la variación de los porcentajes de remoción se debe a las distintas condiciones climáticas y estratos considerados en el lombrifiltro. En la investigación se colocó un estrato distinto al de los antecedentes el cual fue "las chapas de plástico", también se acondicionó la temperatura del lombrifiltro con la implementación de la pared caliente, lo cual hizo posible el aumento de temperatura en el ambiente del lombrifiltro en $6^{\circ}C$, lo que se trajo consigo que la temperatura mínima sea $10^{\circ}C$ en el lombrifiltro, siendo de condición habitable para las lombrices californianas más no adecuada.
- Confirmamos la conclusión de kusanovic (2009) donde hace mención que el lombrifiltro no genera olores debido a la dinámica de tratamiento del sistema (aerobio), no genera lodos activos y se caracteriza por producir humus orgánico que se utiliza como fertilizante. En el tiempo de funcionamiento del lombrifiltro se comprobó su eficiencia y consideramos que la instalación y funcionamiento es de bajo costo de inversión, por ello afirmamos su aplicación en el tratamiento de aguas residuales en zona rural.
- Con la aplicación del lombrifiltro en el tratamiento de aguas residuales domesticas se obtuvo impactos positivos en la calidad del agua que se vierte al subsuelo o cuerpos de agua según Ramón, León y Castillo (2015) , en la presente tesis lo comprobamos y verificamos con la fotografía N° 18 en la cual se puede apreciar la existencia de organismos como anfibios, insectos, etc. Siendo ello un indicador de la mejora de la calidad de agua.

- En la tesis se aplicó el trabajo de campo donde se instaló y tomamos datos del lombrifiltro, seguido del trabajo de gabinete y laboratorio donde se procesó los datos y se analizaron las muestras de agua residual y según ambos trabajos obtener los resultados mostrados en la investigación. Esta aplicación también lo realizó Reyes (2014) en su tesis “Propuesta de diseño de un sistema de biofiltro para el tratamiento de aguas residuales producidos en la Central Termoeléctrica Sacha de la Unidad de Negocio Termopichincha – CELECEP”.
- La metodología para determinar la eficiencia de remoción del lombrifiltro fue realizar el análisis del agua del efluente y afluente del lombrifiltro lo cual representa un antes y un después del tratamiento de aguas residuales, por ello el diseño de investigación aplicado fue pre experimental. Considerando los parámetros de DBO y coliformes Termotolerantes como indicadores para mostrar cualitativamente los resultados de eficiencia de remoción del lombrifiltro.

CONCLUSIONES

- Se evaluó que la eficiencia de remoción del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en el tratamiento de las aguas residuales domesticas del Centro Poblado de Huaylacucho del distrito de Huancavelica es significativamente alto.
- Se determinó que eficiencia de remoción del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en el tratamiento de las aguas residuales domesticas del Centro Poblado de Huaylacucho del distrito de Huancavelica es alto, debido a que permitió reducir la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) de las aguas residuales domésticas en un 58% en promedio.
- Se determinó que eficiencia de remoción del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en el tratamiento de las aguas residuales domesticas del Centro Poblado de Huaylacucho del distrito de Huancavelica es alto, debido a que permitió reducir la concentración de coliformes termotolerantes de las aguas residuales domésticas en un 50% en promedio. También cabe mencionar que la técnica de pared caliente permitió que la temperatura ambiental en promedio aumente $6^{\circ}C$ en el lombrifiltro, la humedad en el lombrifiltro se mantuvo en un promedio de 80%, el pH del afluente y efluente se encontró dentro del rango de 6,5 - 8,5.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda contar con un dispersor de agua residual automático, que sea sencillo para su fácil mantenimiento.
- Las tuberías de ventilación, todas deberían ser hacia afuera para obtener una mejor aireación en el lombrifiltro.
- Es importante realizar la limpieza de la planta de tratamiento de aguas residuales del centro poblado de Huaylacucho debido a que la cámara de rejillas no es eficiente y llega a causar obstrucción en los siguientes procesos.
- Tener en consideración la protección de las lombrices respecto a la luz solar, siempre deben ser cubiertas con algún tipo de material para generar sombra y evitar que mueran.
- Es adecuado que cada 15 días se realice la remoción del estrato donde se encuentran las lombrices para evitar compactación.
- Considerar un material de mayor resistencia a la intemperie respecto a la implementación del plástico de la técnica de pared caliente.
- Se debe cubrir por completo las paredes del lombrifiltro, para evitar el crecimiento de algas ante un mínimo de presencia de radiación solar.
- El ingreso de caudal debe ser constante para mantener la humedad durante todo el día.
- Siempre se debe verificar la cantidad de caudal de ingreso y la distribución uniforme del mismo caudal en el lombrifiltro.
- La caca aumentará de calor si el orificio de la pared caliente se reduce, en su diámetro, lo que mejoraría el sistema de calefacción.
- Se requiere la poda de los pastos cada dos semanas, ya que influyen en la captación de la radiación solar.
- Para el presente trabajo de investigación se requiere tener pendiente en la geomorfología donde se instalaría el lombrifiltro.
- Si en casos se quisiera magnificar este sistema, se requiere de 2 plantas modulares, para poder compensar la variación de cargas, regular la humedad del estrato y que el agua residual sea solo doméstica, ya que cualquier tóxico industrial, inhibiría el desarrollo de los microorganismos y organismos que contiene el lombrifiltro.

- Se requiere que la estructura del lombrifiltro sea circular para que el dispersor de flujo encaje, y de esta manera aumentara la homogeneidad de riego.
- Se requiere la colocación de un material más tupido para colocar entre estrato y estrato, y así no atravesese sus componentes de nivel en nivel.
- Requiere de grandes espacios para la instalación del sistema.
- Deberá contar con un pretratamiento eficiente y eficaz para que el flujo final de este tratamiento preliminar no contenga solidos que produzcan la obstrucción.
- Se debe tener en cuenta que las lombrices producen humus no en la parte superficial sino entre el estrato que habita, para poder obtenerlo se deberá aislar las lombrices en puntos específicos, colocando alimentos orgánicos como rastros de vegetales, después de dos días se verá que las lombrices se ubicarán en esas áreas, lo que facilita la extracción del humus sin lombrices.
- Se necesita de un operador para la operación y mantenimiento del tratamiento preliminar, así como para el sistema de lombrifiltro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3M Microbiology. (2016). *PetrifilmRecuentoAerobios.qxd, 6.

Alvarado Mercado (2013). Tratamientos preliminares.

Acuña, José(2017).“Eficiencia Lumbricus Terrestris y Eisenia foétida en el tratamiento de las aguas residuales en la ciudad de Bagua-Amazonas.

ANSAM. (2016). Analizador de DBO e incubadora.

Antonio Trinidad. (2002). Abonos orgánicos. SAGARPA.

Arango, Jessica. (2003). Evaluación ambiental del sistema tohá en la remoción de salmonella en aguas servidas domésticas.

Baca, Máximo. (2012). Tratamiento de efluentes domesticos mediante humedales artificiales para el riego de areas verdes en el distrito de san juan de marcona. Callao- Perú.

Bornhardt, Cristian. (2003). Tratamiento de riles mediante lombrifiltro. Chile.

Carmen Vargas. (2000). Curso sobre métodos bacteriológicos para el análisis de agua potable.

Carrillo Nelsy. (2011). Técnicas e instrumentos de recolección de datos. Venezuela.

Castillo, Nelson. (2015). Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie Eisenia foétida.

CEPIS. (2005). Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores.

Chávez, Julio César. (2017). "Eficiencia de un Biofiltro en la Reducción de Carga Orgánica de un Efluente Industrial en la Ciudad de Celendín".

COBEX. (2012). Sistema Tohá tratamiento de residuos líquidos cloacales e industriales.

Compañía Buenaventura. (2016). Planta de tratamiento de aguas de mina.

DIGESA - MINSA. Listado de requisitos para la recepción de muestras de aguas superficiales, agua de consumo, aguas residuales y agua de mar (2013).

Dueñas, Raisa. (2015). Evaluación y propuestas de mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales en el centro poblado de Quimina, distrito de Quiquijana, provincia de Quispicanchis, región Cusco. Universidad Católica de Santa María - UCSM.

Eduardo Torres. (2016) Reutilización de aguas y lodos residuales.

El Peruano. (2010). Aprueba límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

El Peruano. (2016). Reglamento nacional de edificaciones para obras en saneamiento.

Fuentes Jose. (1987). La crianza de la lombriz roja. ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Madrid, España.

GRUPO-PUCP. (2011). Pared caliente - grupo de apoyo al sector rural.

Karl Slevogt. (2016). Medición de DBO/Agotamiento.

Losee, Dirk. (2015). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el

ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento.

M. Espigares. (2015). Aguas residuales.

Margarita Valdez, H. C. (2010). Eficiencia y eficacia.

Mariano Kusanovic. (2009). Planta de tratamiento de riles. Punta Arenas- Chile.

Martha Garcia. (2013). Protocolo sólidos suspendidos totales a 103-105°C.

Mauricio Bermúdez. (2010). Contaminación y turismo sostenible.

Méndez, Juan, M., Johnny. (2008). Diagnostico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las EPS del Perú y propuesta de solución.

MINAM.D.S.N°0142010MINAMLMP. [-para-las-Emisiones-Gaseosas-y-de-Part%C3%ADculas-de-las-Actividades-del-Sub-Sector-Hidrocarburos.pdf](#).

MPH. Mejoramiento del sistema de agua potable y construcción del sistema de alcantarillado del centro poblado de Huaylacucho Región Huancavelica. 2010.

Miranda, Patricia. (2005). Sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales. Recuperado de Austral-de-Chile.pdf

OEFA. (2014). Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales.

OMA - MVCS. (2013). "Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes en las plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales.

Orlando Velásquez. (2009). Método para la determinación de bacterias coliformes, coliformes fecales y Escherichia coli por la técnica de diluciones en tubo múltiple

(Número más Probable o NMP). 2009.

Pedro Cisterna, D. P. (2012). Determinación de la relación DQO/DBO.

Puebla Claudio. (2013). Método hipotético deductivo pdf.

Quinchel, José. (2015). Plan de gestión de manejo de sistema sanitario de aguas servidas por sistema Tohá, Putre. (p. 36). Putre-Chile.

Ramírez Eliana. (2013). Metodología de la investigación científica y elaboración de tesis.

Reyes Jimmy. (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. Quito-Ecuador.

Reynolds Kelly. (2002). Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica. Latinoamérica, 48–49.

Revilla, Deyvis. (2017). Sistema Tohá, para el tratamiento de aguas residuales de la universidad.

Roberto Corbella. (2012). Materia orgánica del suelo.

SINIA. (2017). Tratamiento y rehusó de aguas residuales. Perú.

Tohá, José. (2016). Tecnología sistema Tohá.

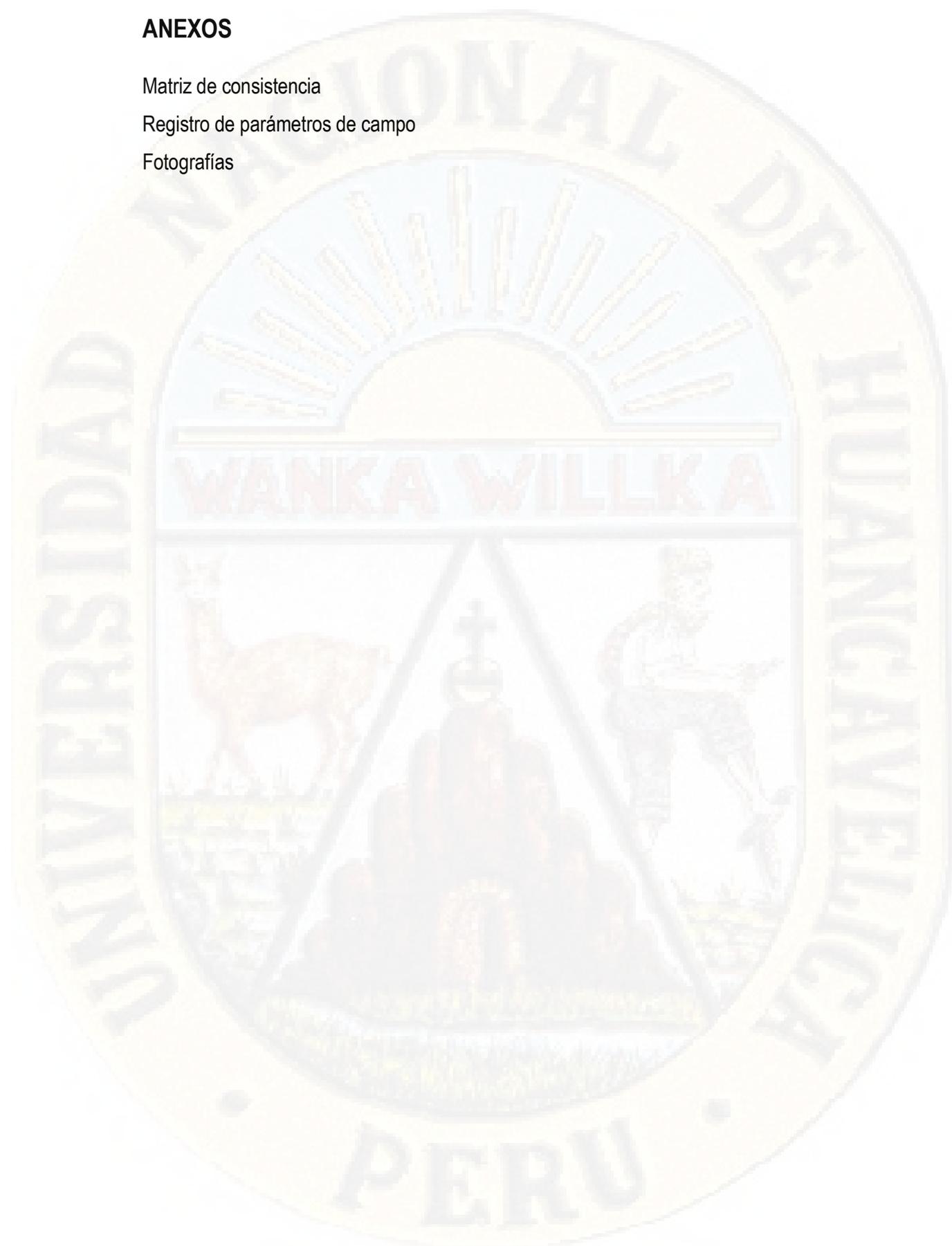
Universidad Tecnológica de Panamá. (2006). Procedimiento para la medición de sólidos totales.

ANEXOS

Matriz de consistencia

Registro de parámetros de campo

Fotografías



“EFICIENCIA DE LOMBRIFILTRO IMPLEMENTANDO LA TÉCNICA DE PARED CALIENTE EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DEL CENTRO POBLADO DE HUAYLACUCHO DEL DISTRITO DE HUANCVELICA-2018”

Problema	Objetivos	Marco teórico	Hipótesis	Variables y dimensiones	Metodología
<p>Problema general: ¿Cuál será la eficiencia de remoción del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huaylacucho del Distrito de Huancavelica?</p> <p>Problemas específicos: ¿Cuál será la eficiencia del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huaylacucho del Distrito de Huancavelica? ¿Cuál será la eficiencia del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en la remoción de coliformes termotolerantes en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huaylacucho del Distrito de Huancavelica?</p>	<p>Objetivo general: Evaluar la eficiencia de remoción del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huaylacucho del Distrito de Huancavelica.</p> <p>Objetivos específicos: Determinar la eficiencia del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huaylacucho del Distrito de Huancavelica. Determinar la eficiencia del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente, en la remoción de coliformes termotolerantes de las aguas residuales domésticas del centro Poblado de Huaylacucho del Distrito de Huancavelica.</p>	<p>Arango (2003). "EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL SISTEMA TOHÁ EN LA REMOCIÓN DE SALMONELLA DE AGUAS SERVIDAS DOMÉSTICAS". Santiago de Chile, Chile.</p> <p>Bornhart., Bobadilla., & Monje, F. (2003). TRATAMIENTO DE RILES MEDIANTE LOMBRIFILTRO. Concepción, Chile.</p> <p>JIMÉNEZ (2016). ESTUDIO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DE UNA FÁBRICA DE EMBUTIDOS. QUITO.</p> <p>Kusanovic,(2009).PLANTASDE TRATAMIENTO DE RILES. PUNTA ARENAS.</p> <p>REYES (2014) PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE BIOFILTRO. Quito- Ecuador.</p> <p>MIRANDA (2005) EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL SISTEMA TOHÁ EN LA REMOCIÓN DE Salmonella EN AGUAS SERVIDAS DOMÉSTICAS. Chile.</p>	<p>Hipótesis General: La eficiencia de remoción del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del centro poblado de Huaylacucho del distrito de Huancavelica, será significativamente alta.</p> <p>Hipótesis Específicas: La eficiencia del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) será significativamente alta en el tratamiento de aguas residuales domésticas del centro poblado de Huaylacucho del distrito de Huancavelica. La eficiencia del lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente, en la remoción de coliformes termotolerantes será significativamente alta en el tratamiento de aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huaylacucho del Distrito de Huancavelica.</p>	<p>Variable independiente: Eficiencia de remoción del lombrifiltro aplicando la técnica de pared caliente.</p> <p>Indicadores: - Caudal. - Temperatura. - Humedad. Potencial de Hidrogenoides.</p> <p>Variable dependiente: Tratamiento de las aguas residuales.</p> <p>Indicadores1: Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). Coliformes Termo tolerantes.</p>	<p>Tipo de investigación: Aplicada. Nivel de investigación: Explicativo. Método de Investigación: Científico. Diseño de Investigación: Pre - Experimental. Población, Muestra y Muestreo: Población Efluentes domésticos generados por el Centro Poblado de Huaylacucho del Distrito de Huancavelica.</p> <p>Muestra El caudal a tratar por el sistema de tratamiento, durante el día será de 250 litros. Muestreo Es no probabilístico e intencional.</p> <p>Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos La técnica de recolección de datos será la observación experimental, a través de instrumentos y equipos de medición especializada.</p>

Tabla 15.
Registro de parámetros de campo.

Dia	FECHA	HORA	AFLUENTE			EFLUENTE			LOMBRIFILTRO	CASETA	AMBIENTE	
			pH	°C	l/s	pH	°C	l/s	W%	°C	°C	
1	26/03/2018	3:35 p. m.	6.98	15.2	0.0028	6.56	14.5	0.0028	95	15.2	18.4	7.5
2	30/03/2018	3.17 p.m	7.28	16.5	0.0028	6.77	18.9	0.0028	97	23	17.5	22.7
3	04/04/2018	11:45 a.m	7.32	19.9	0.0028	6.82	16.9	0.0028	99	16.3	28.9	18.8
4	08/04/2018	9:30 a.m	7.03	21.9	0.0028	6.78	17.4	0.0028	96	14.5	26.1	14.2
5	12/04/2018	13:00 p.m	7.09	26.6	0.0028	6.92	21.8	0.0028	97	15.9	24.9	21.8
6	16/04/2018	8:00 a.m	7.07	12.7	0.0028	6.58	13	0.0028	96	15.6	11	13.6
7	20/04/2018	4:00 p.m	6.94	12.5	0.0028	6.47	12.3	0.0028	98	13.1	14.5	12.7
8	24/04/2018	9:30 a.m	7.17	15.1	0.0028	6.77	18.2	0.0028	93	11.7	29.6	17.6
9	28/04/2018	10:30 a.m	7.25	17.8	0.0028	7.94	18.7	0.0028	96	15.5	26.4	21
10	01/05/2018	15:00 p.m	7.26	20.02	0.0028	7.07	21.1	0.0028	99	21.1	32.4	30.4
11	05/05/2018	8:00 a.m	6.85	22.24	0.0028	6.81	21.2	0.0028	90	15	24.1	19.5
12	09/05/2018	11:00 a.m	7.06	21.4	0.0028	7.11	21.6	0.0028	98	19.1	20.4	22.4
13	13/05/2018	13:00 p.m	7.17	24.5	0.0028	7.01	23.4	0.0028	99	21.9	22.4	19.8
14	17/05/2018	11:50 a.m	7.25	13.6	0.0028	7.03	13.2	0.0028	98	12.3	12.7	12.5
15	21/05/2018	12.17 p.m	7.38	14.8	0.0028	7.21	13.5	0.0028	95	17.2	23.5	15.5
16	25/05/2018	4:00 p.m	6.92	12.3	0.0028	7.03	13	0.0028	98	12	16	13.2
17	29/05/2018	11:45 a.m	7.32	19.9	0.0028	6.82	16.9	0.0028	99	16.3	28.9	18.8
18	03/06/2018	9:30 a.m	7.03	21.9	0.0028	6.78	17.4	0.0028	96	14.5	26.1	14.2
19	07/06/2018	13:00 p.m	7.09	26.6	0.0028	6.92	21.8	0.0028	97	15.9	24.9	21.8
20	11/06/2018	8:00 a.m	7.07	12.7	0.0028	6.58	13	0.0028	96	15.6	18	13.6
21	15/06/2018	4:00 p.m	6.94	12.5	0.0028	6.47	12.3	0.0028	98	13.1	14.5	12.7
22	19/06/2018	9:30 a.m	7.17	15.1	0.0028	6.77	18.2	0.0028	93	11.7	29.6	17.6
23	23/06/2018	10:30 a.m	7.25	17.8	0.0028	7.94	18.7	0.0028	96	15.5	26.4	21
24	27/06/2018	9:00 a. m.	6.85	13.5	0.0028	7.01	13	0.0028	90	13	12.8	10.1
25	01/07/2018	09:55 a.m	7.3	21.5	0.0028	6.83	19.6	0.0028	99	12.5	27.9	17
26	05/07/2018	03:05 p.m	6.92	12.8	0.0028	6.5	12.5	0.0028	100	14.7	17.5	14.8
27	09/07/2018	08:30 a.m	6.59	16.5	0.0028	6.44	14.5	0.0028	95	10.3	14	10.3
28	13/07/2018	12:20 p.m	6.68	15.6	0.0028	6.52	15.4	0.0028	100	17.3	28.8	18.8
29	17/07/2018	11:33 a.m	7.04	17.9	0.0028	6.65	16.9	0.0028	99	13.2	28.6	18.9
30	21/07/2018	3:00 p.m	7.09	14.3	0.0028	6.67	13.6	0.0028	90	15.8	14.3	8
31	25/07/2018	9:00 a. m.	6.85	13.5	0.0028	7.01	13	0.0028	90	13	15.2	10.1
32	29/07/2018	5:00 a. m.	7.03	15.3	0.0028	6.58	15.2	0.0028	90	17.8	20.2	12.5
33	02/08/2018	3:35 p. m.	6.98	15.2	0.0028	6.56	14.5	0.0028	95	13.2	15.2	7.5
34	06/08/2018	3.17 p.m	7.28	16.5	0.0028	6.77	18.9	0.0028	97	23	25.6	22.7
35	10/08/2018	11:45 a.m	7.32	19.9	0.0028	6.82	16.9	0.0028	99	16.3	28.9	18.8
36	14/08/2018	9:30 a.m	7.03	21.9	0.0028	6.78	17.4	0.0028	96	14.5	26.1	14.2
37	18/08/2018	13:00 p.m	7.09	26.6	0.0028	6.92	21.8	0.0028	97	15.9	24.9	21.8
38	22/08/2018	8:00 a.m	7.07	12.7	0.0028	6.58	13	0.0028	96	15.6	18.2	13.6
39	26/08/2018	4:00 p.m	6.94	12.5	0.0028	6.47	12.3	0.0028	98	13.1	16.5	12.7
40	30/08/2018	9:30 a.m	7.17	15.1	0.0028	6.77	18.2	0.0028	93	11.7	29.6	17.6
41	03/08/2018	10:30 a.m	7.25	17.8	0.0028	7.94	18.7	0.0028	96	15.5	26.4	21
42	07/08/2018	15:00 p.m	7.26	20.02	0.0028	7.07	21.1	0.0028	99	21.1	32.4	30.4
43	11/08/2018	8:00 a.m	6.85	22.24	0.0028	6.81	21.2	0.0028	90	15	24.1	19.5
44	15/08/2018	11:00 a.m	7.06	21.4	0.0028	7.11	21.6	0.0028	98	19.1	20.4	22.4
45	19/08/2018	13:00 p.m	7.17	24.5	0.0028	7.01	23.4	0.0028	99	21.9	22.4	19.8
46	23/08/2018	11:50 a.m	7.25	13.6	0.0028	7.03	13.2	0.0028	98	12.3	17.6	12.5
47	27/08/2018	12.17 p.m	7.38	14.8	0.0028	7.21	13.5	0.0028	95	17.2	23.5	15.5
48	01/09/2018	4:00 p.m	6.92	12.3	0.0028	7.03	13	0.0028	98	12	16.8	13.2
49	05/09/2018	11:45 a.m	7.32	19.9	0.0028	6.82	16.9	0.0028	99	16.3	28.9	18.8
50	09/09/2018	9:30 a.m	7.03	21.9	0.0028	6.78	17.4	0.0028	96	14.5	26.1	14.2
51	13/09/2018	13:00 p.m	7.09	26.6	0.0028	6.92	21.8	0.0028	97	15.9	24.9	21.8
52	17/09/2018	8:00 a.m	7.07	12.7	0.0028	6.58	13	0.0028	96	15.6	18.3	13.6
53	21/09/2018	4:00 p.m	6.94	12.5	0.0028	6.47	12.3	0.0028	98	13.1	16.5	12.7
54	25/09/2018	9:30 a.m	7.17	15.1	0.0028	6.77	18.2	0.0028	93	11.7	29.6	17.6
55	29/09/2018	10:30 a.m	7.25	17.8	0.0028	7.94	18.7	0.0028	96	15.5	26.4	21
56	02/10/2018	9:00 a. m.	6.85	13.5	0.0028	7.01	13	0.0028	90	13	17.4	10.1
57	06/10/2018	5:00 a. m.	7.03	15.3	0.0028	6.58	15.2	0.0028	90	17.8	20.2	12.5
58	10/10/2018	3:35 p. m.	6.98	15.2	0.0028	6.56	14.5	0.0028	95	18.2	13.7	7.5
59	14/10/2018	3.17 p.m	7.28	16.5	0.0028	6.77	18.9	0.0028	97	23	17.5	22.7
60	18/10/2018	11:45 a.m	7.32	19.9	0.0028	6.82	16.9	0.0028	99	16.3	28.9	18.8
61	22/10/2018	9:30 a.m	7.03	21.9	0.0028	6.78	17.4	0.0028	96	14.5	26.1	14.2
62	26/10/2018	13:00 p.m	7.09	26.6	0.0028	6.92	21.8	0.0028	97	15.9	24.9	21.8
63	30/10/2018	8:00 a.m	7.07	12.7	0.0028	6.58	13	0.0028	96	15.6	18.5	13.6
64	04/11/2018	4:00 p.m	6.94	12.5	0.0028	6.47	12.3	0.0028	98	13.1	16.8	12.7

Tabla 16.
Registro de parámetros de laboratorio.

N°	FECHA / UBIC.	DBO5		CT (NMP/100 ml)	
		(mg/100ml)	(mg/100ml)	ingreso	salida
1	01/07/2018	85	37	2200	1500
2	05/07/2018	90.5	37.5	2000	1000
3	09/07/2018	85.5	38	1900	1300
4	13/07/2018	86	39	2100	1100
5	17/07/2018	87	31	2400	1200
6	21/07/2018	84	36.5	2600	1100
7	25/07/2018	90	38	2300	1200
8	29/07/2018	85	36	2500	1300
9	02/08/2018	85.5	37	2100	1000
10	06/08/2018	87	30	2200	1100
11	10/08/2018	90.5	38	2600	1300
12	14/08/2018	85.5	38.5	2400	1200
13	18/08/2018	86	36.5	2500	1400
14	22/08/2018	86.5	37	2000	1100
15	26/08/2018	88	36	1900	1000
16	30/08/2018	91	36.5	2200	900
17	03/08/2018	90.2	37.8	2100	1050
18	07/08/2018	87.6	35.9	2100	1000
19	11/08/2018	86.5	38	2200	1200
20	15/08/2018	89.5	37.6	2600	1100
21	19/08/2018	89	38	2400	1400
22	23/08/2018	90.5	39	2500	1300
23	27/08/2018	81	31	2000	1000
24	01/09/2018	78.5	36.5	1900	1100
25	05/09/2018	80.4	37.8	2200	1300
26	09/09/2018	84	36	2100	1200
27	13/09/2018	82.3	37	2400	1400
28	17/09/2018	88.6	38	2600	1100
29	21/09/2018	79.8	30	2300	1000
30	25/09/2018	80.6	38.2	2500	900
31	29/09/2018	79.8	36.5	1900	1050
32	02/10/2018	80	37	2200	1000
33	06/10/2018	83.2	36.9	2600	1200
34	10/10/2018	85.6	35.2	2400	1100
35	14/10/2018	90.5	40.5	2100	950
36	18/10/2018	89.3	39	2200	1050
37	22/10/2018	79.8	38	2600	1200
38	26/10/2018	89.8	35.6	2400	1100
39	30/10/2018	87.6	31.9	2500	1300
40	04/11/2018	91.2	38.1	2000	1000

PANEL FOTOGRÁFICO



Fotografía 29. Construcción de la caceta para instalar en el interior al lombrifiltro.



Fotografía 30. Transferencia de masas de aire por variación de las densidades.



Fotografía 31. Sistema de riego por goteo para mantener la humedad y continuidad del caudal.



Fotografía 32. Sistema de riego por goteo para mantener la humedad y continuidad del caudal.



Fotografía 33. Aireación para mejorar la circulación de las lombrices, así como el tratamiento.



Fotografía 34. Desarrollo de las lombrices en los estratos.



Fotografía 35. Demostración de las etapas de desarrollo de las lombrices californianas de la especie *Eisenia Foétida*.



Fotografía 36. Toma de datos de campo de temperatura y humedad en el Lombrifiltro.



Fotografía 37. Frascos esterilizados para la toma de muestra en el efluente del tanque Imhoff.



Fotografía 38. Control de la cantidad de caudal a tratar.



Fotografía 39. Sistema de tuberías para el mantenimiento del tanque de almacenamiento.



Fotografía 40. Medición del pH del agua residual del efluente y afluente.



Fotografía 41. Control permanente en el funcionamiento del sistema de tratamiento del lombrifiltro.



Fotografía 42. Muestreo del efluente proveniente del lombrifiltro.



Fotografía 43. Adición de nutrientes para el análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) del agua residual doméstica.



Fotografía 44. Frascos de color ámbar donde se llena la muestra a 90 ml para el análisis de DBO_5 .



Fotografía 45. Colocación de las muestras en la incubadora VELP por 5 días a una temperatura constante.



Fotografía 46. Esterilización de materiales de laboratorio y calibración de equipos.



Fotografía 47. Se establece la temperatura de 44 °C en la incubadora.



Fotografía 48. Resultado del análisis bacteriológico de los coliformes termotolerantes.



Fotografía 49. Recuento de coliformes termotolerantes después de su crecimiento.



Fotografía 50. Responsables de la ejecución del proyecto de investigación.