

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Influencia del lombrifiltro en la remoción de la DBO5 y  
DQO de las aguas residuales domésticas para zonas  
rurales de la provincia de Cusco,  
departamento Cusco**

Haysen Juvenal Arana Llashag

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Cusco, 2022

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**ASESOR:**

PhD. JOSÉ VLADIMIR CORNEJO TUEROS

## AGRADECIMIENTO

Mi mayor agradecimiento a Dios por su amor incondicional, por las fuerzas, valentía, habilidades e inteligencia que me ha entregado para conducir mi vida por un camino próspero. Con la ayuda de Él, estoy seguro de que lograré los objetivos trazados.

A mis padres, su existencia, me motiva a seguir adelante. Sé que en sus humildes corazones existe el deseo de ver grandes logros. Por todo el sacrificio que hicieron para ayudarme a llegar a esta etapa de mi vida, por todo el amor real e incondicional que me brindaron en todas las etapas de mi vida.

A Margareth, por llegar a mi vida para brindarme el apoyo moral, académico y económico que necesitaba, sin su ayuda no hubiera sido posible concluir este camino.

A mis hermanos y amistades, quienes me animaron a seguir adelante y lograr mis objetivos.

A mi asesor de tesis; PhD. José Vladimir Cornejo Tueros, por su tiempo y por compartir sus conocimientos y guiar el desarrollo de la tesis. Sobre todo, por la paciencia demostrada.

A la Universidad Continental, por acogerme en sus aulas y haber contribuido en mi formación profesional, permitiéndome cumplir una meta anhelada.

## DEDICATORIA

A mis padres, Ariovisto Arana Ramos y Adela Llashag Salís, a quienes debo mi existencia y formaron la persona que soy.

A Margareth Uscapi, por haber llegado a mi vida para llenarla de mucho amor y felicidad.

A mis diez hermanos, por el apoyo y los consejos que me brindaron en innumerables oportunidades y en especial en esta etapa.

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTO .....	i
DEDICATORIA .....	iii
RESUMEN .....	x
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN .....	xiii
CAPÍTULO I: .....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	1
1.1 Planteamiento y Formulación del Problema .....	1
1.1.1 Planteamiento del Problema .....	1
1.1.2 Formulación del Problema.....	5
1.2 Objetivos.....	6
1.2.1 Objetivo General .....	6
1.2.2 Objetivos Específicos.....	6
1.3 Justificación e Importancia .....	7
1.3.1 Justificación Social.....	7
1.3.2 Justificación ambiental.....	7
1.3.3 Justificación económica .....	8
1.3.4 Justificación teórica .....	8
1.3.5 Justificación metodológica .....	8
1.3.6 Justificación práctica .....	8

1.4	Hipótesis y Variables .....	9
1.4.1	<i>Hipótesis general</i> .....	9
1.4.2	<i>Hipótesis específicas</i> .....	9
1.4.3	<i>Operacionalización de variables</i> .....	10
CAPÍTULO II: .....		12
2.	MARCO TEÓRICO.....	12
2.1	Antecedentes del Problema.....	12
2.1.1	<i>Antecedentes Internacionales</i> .....	12
2.1.2	<i>Antecedentes Nacionales</i> .....	17
2.2	Bases Teóricas .....	19
2.2.1	<i>Aguas Residuales</i> .....	19
2.2.2	<i>Clasificación de las Aguas Residuales</i> .....	21
2.2.3	<i>Características de las Aguas Residuales Domésticas</i> .....	25
2.2.4	<i>Medida del Contenido Orgánico de las Aguas Residuales</i> .....	35
2.2.5	Demanda química de oxígeno (DQO) .....	36
2.2.6	<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</i> .....	37
2.2.7	<i>Contaminación por Aguas Residuales Domésticas</i> .....	39
2.2.8	<i>Tecnología para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas</i> .....	43
2.2.9	<i>Lombrifiltro</i> .....	43
2.3	Definición de Términos Básicos .....	48
CAPÍTULO III:.....		51

3. METODOLOGÍA.....	51
3.1 Método, y Alcance de la Investigación .....	51
3.1.1 <i>Método de la Investigación</i> .....	51
3.1.2 <i>Delimitaciones</i> .....	51
3.1.3 <i>Alcances de la Investigación</i> .....	52
3.2 Diseño de la Investigación .....	52
3.3 Procedimiento Experimental .....	53
3.3.1 <i>Determinación del Caudal que Influye en la Remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO del Agua Residual Doméstica a Través del Lombrifiltro</i> .....	53
3.3.2 <i>Influencia de las Temperaturas Diurna y Nocturna en la Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de Aguas Residuales Domésticas a Través del Lombrifiltro</i> . ....	58
3.3.3 <i>Determinación del Porcentaje de Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO a Través del Lombrifiltro</i> . ....	60
3.4 Población y Muestra.....	61
3.4.1 <i>Población</i> .....	61
3.4.2 <i>Muestra</i> .....	61
3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos. ....	61
3.5.1 <i>Técnicas de Recolección de Datos</i> .....	61
3.5.2 <i>Instrumentos de Recolección de Datos</i> .....	61
CAPÍTULO IV: .....	64
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	64
4.1 Resultados del Tratamiento y Análisis de la Información .....	64



4.1.1	<i>Caudal que Influye en la Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de Aguas Residuales Domésticas a Través del Lombrifiltro</i> .....	64
4.1.2	<i>Influencia de las Temperaturas Diurna y Nocturna en la Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de Aguas Residuales Domésticas a Través del Lombrifiltro</i> .....	70
4.1.3	<i>Porcentaje de Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO a Través del Lombrifiltro en las Zonas Rurales de la Provincia de Cusco</i> .....	74
4.2	Discusión de Resultados.....	76
4.2.1	<i>Influencia del Caudal en la Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de Aguas Residuales Doméstica a Través del Lombrifiltro</i> .....	76
4.2.2	<i>Influencia de la Temperatura Diurna y Nocturna en la Remoción DBO<sub>5</sub> y DQO de Aguas Residuales Domésticas a Través del Lombrifiltro</i> .....	78
4.2.3	<i>Porcentaje de Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO a Través del Lombrifiltro en las Zonas rurales de la Provincia de Cusco</i> .....	79
4.3	CONCLUSIONES .....	81
4.4	RECOMENDACIONES .....	82
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
	ANEXOS .....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS

<i>Figura 1</i> Descarga de aguas residuales a cuerpo natural .....	19
<i>Figura 2</i> Aguas residuales industriales .....	20
<i>Figura 3</i> Imagen referencial de aguas residuales municipales .....	21
<i>Figura 4</i> Fuente de generación de aguas residuales .....	22
<i>Figura 5</i> Imagen referencial de generación de aguas residuales domésticas de aseo personal .....	22
<i>Figura 6</i> Variación típica mensual de la temperatura de las aguas residuales .....	24
<i>Figura 7</i> Flujograma de trabajo de investigación .....	58
<i>Figura 8</i> Gráfico en la remoción de la $BDO_5$ .....	66
<i>Figura 9</i> Gráfico en la remoción de la $DQO$ .....	67
<i>Figura 10</i> Gráfico de comparación en la remoción de la $DBO_5$ y $DQO$ .....	68
<i>Figura 11</i> Gráfica de influencia del caudal en la remoción de la $DBO_5$ y $DQO$ .....	69
<i>Figura 12</i> Efectos de las temperaturas diurna y nocturna en la remoción de la $DBO_5$ y $DQO$ . .....	72
<i>Figura 13</i> Gráfico de interacción de las temperaturas y Caudal en la remoción de la $DBO_5$ y $DQO$ . .....	72
<i>Figura 14</i> Gráfico del porcentaje en la remoción de la $DBO_5$ y $DQO$ .....	74

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1</b> <i>Operacionalización de variables</i> .....	12
<b>Tabla 2</b> <i>Relación entre algunos constituyentes inorgánicos y el agua residual</i> .....	33
<b>Tabla 3</b> <i>Cuadro referencial del nivel de la DBO</i> .....	40
<b>Tabla 4</b> <i>Tratamiento del diseño de investigación</i> .....	58
<b>Tabla 5</b> <i>Muestreo y recolección de datos</i> .....	54
<b>Tabla 6</b> <i>Cuadro para el monitoreo de las temperaturas diurna y nocturna</i> .....	54
<b>Tabla 7</b> <i>Resultado de análisis de los parámetros fisicoquímicas de la muestra de aguas residuales domésticas</i> .....	65
<b>Tabla 8</b> <i>Cuadro de resultados en la Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO</i> .....	64
<b>Tabla 9</b> <i>Análisis de varianza para determinar la influencia del caudal y las temperaturas en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO.</i> .....	69
<b>Tabla 10</b> <i>Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO por efectos de la temperatura</i> .....	70
<b>Tabla 11</b> <i>Cantidad en mg/L y porcentaje en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO</i> .....	73

## RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar la influencia del lombrifiltro en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de las aguas residuales domésticas en las zonas rurales de la provincia de Cusco; para lo cual se valió del diseño experimental 2<sup>2</sup> (Caudal y Temperatura) con cuatro tratamientos. Se empleó 2 caudales (50mL/min y 150mL/min) y dos temperaturas extremas (7°C y 21°C). Se realizó la adaptación de las lombrices al agua residual doméstica por un periodo de 7 días, posteriormente se ejecutó el primer muestreo de agua en la salida del lombrifiltro a 21°C y 50mL/min, el segundo muestreo se realizó a 7°C y 50mL/min. Pasado los 5 días, se volvió a tomar la tercera muestra a 21°C y 150mL/min; finalmente se tomó la última muestra a 7°C y 150mL/min. El lombrifiltro estaba conformado por 4 estratos filtrantes por medio del cual pasó el agua residual doméstica en forma vertical. Los estratos filtrantes se conformaron como se describe a continuación:

Piedra chancada de río, con una altura de 15 cm; grava, con una altura de 25 cm; carbón de madera, con una altura de 25 cm y aserrín, con una altura de 25 cm, en el cuál habitan las 200 lombrices de la especie *Eisenia Foetida*. El área del lombrifiltro tenía 0,08m<sup>2</sup>, diseñada en forma rectangular con medidas de 0,4m x 0,2 m. Como resultado se obtuvo que a 50mL/min, la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de las aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro fue mayor que a 150mL/min; la temperatura diurna y nocturna no presentó efectos relevantes en la remoción de los parámetros de estudio; cuando el caudal fue de 50mL/min y temperatura diurna 21°C, se alcanzó el mayor porcentaje en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO. Asimismo, se concluyó que el caudal que influye de manera significativa fue 50mL/min. Por su parte, la temperatura diurna y nocturna no influyen de manera significativa en la remoción. Del mismo modo, se determinó que el porcentaje en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de las aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco, alcanzó a

73,36% y 84,38% respectivamente. La evaluación se realizó en los meses de octubre y noviembre del año dos mil y veintiuno.

Palabras clave: aguas residuales domésticas, lombrifiltro, caudal, temperatura, remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO.

## ABSTRACT

The objective of the research was to decide the influence of the lombrifiltro in the removal of BOD<sub>5</sub> and COD from domestic wastewater in rural areas of the province of Cusco; It was decided through the 2<sup>2</sup> experimental design (Flow and Temperature) with four treatments. Two flow rates were used (50mL / min and 150mL / min) and two extreme temperatures (7 ° C and 21 ° C). The adaptation of the worms to domestic wastewater was carried out for a period of 7 days, later we carried out the first water sampling at the outlet of the lombrifiltro at 21 ° C and 50mL / min, the second sampling was carried out at 7°C and 50mL / min. After 5 days, the third sample was taken again at 21°C and 150mL / min; finally the last sample was taken at 7 ° C and 150mL / min. The lombrifiltro was made up of 4 filter layers through which domestic wastewater passed vertically. The filtering strata were formed as described: river chacada stone, with a height of 15 cm; gravel, with a height of 25 cm; wood charcoal, with a height of 25 cm and sawdust, with a height of 25 cm, in which the 200 worms of the *Eisenia Foetida* species live. The lombrifiltro area was 0,08m<sup>2</sup>, designed in a rectangular shape with measurements of 0,4m x 0,2m. As a result, it was obtained that at 21 ° C and 50mL / min the influence is significant in the removal of BOD<sub>5</sub> and COD from domestic wastewater through the lombrifiltro. Likewise, it was determined that daytime and nighttime temperatures do not significantly influence removal. In the same way, it was determined that the percentage in the removal of BOD<sub>5</sub> and COD from domestic wastewater through the worm filter in rural areas of the province of Cusco, reached 73,36% and 84,38% respectively. The evaluation was carried out in the months of October and November of the year two thousand and twenty-one.

Keywords: domestic wastewater, lombrifiltro, flow, temperature, removal of BOD<sub>5</sub> and COD.

## INTRODUCCIÓN

El tratamiento de las aguas residuales domésticas debe ser considerada una prioridad para la sociedad en general, sobre todo para los tres niveles de gobierno de nuestro país.

Las consecuencias de no tratar las aguas residuales domésticas son graves, puesto que los efluentes llegan a las fuentes de agua naturales y ríos sin previo tratamiento, generando contaminación, degradación de la calidad y cantidad de este recurso. En los últimos años la contaminación del agua aumentó debido al manejo inadecuado de estas, lo que ha contribuido al desequilibrio de los diferentes ecosistemas, en especial, de las actuales fuentes naturales de agua, sean superficiales o subterráneas, poniendo en riesgo la salud de la población.

De acuerdo al plan regional de saneamiento 2021-2025 (6) de la región Cusco, más del 70% de las aguas residuales domésticas de las poblaciones de zonas rurales en la provincia de Cusco no tienen tratamiento primario para la disposición final adecuada y sólo el 30% pasa por sistemas de tratamiento que se encuentran colapsados, lo que no garantiza la reducción de restos inorgánicos y orgánicos de las aguas residuales domésticas.

Otro agravante, es que la gestión para la disposición final de las aguas residuales domésticas se asignó a las organizaciones comunales, pero estas, no cuentan ni con los recursos financieros ni con los equipos técnicos necesarios, mucho menos con los conocimientos adecuados para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, por tanto, la disposición final de las aguas residuales domésticas llega a cuerpos receptores con alta concentración de contaminantes.

Con el avance de la ciencia y la tecnología, específicamente en la rama de la ingeniería de tratamiento de aguas residuales, se han propuesto métodos y procesos para la remoción de la mayoría de los contaminantes. Sin embargo, muchos de ellos tienen elevados costos de implementación, operación y mantenimiento.

El lombrifiltro, conocido también como sistema Tohá, es una de las tecnologías que sirve para reducir contaminantes de aguas residuales que posea diferentes características; este sistema fue investigado ampliamente en la Universidad de Chile por el doctor José Tohá (7).

El lombrifiltro es un sistema de tratamiento aeróbico dinámico, para su elaboración se necesita de materiales inertes y organismos vivos. La estructura del sistema consiste en estratos de filtros que está conformado por aserrín, grava y piedra de río que son colocados de forma vertical y por donde pasa el agua residual para retener los contaminantes en los diferentes estratos filtrantes. En la capa de aserrín habitan lombrices para aprovechar los restos orgánicos como fuente de alimentación y transformarlos en humus y biomasa.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo determinar la influencia del lombrifiltro en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de las aguas residuales domésticas en las zonas rurales de la provincia de Cusco, con la finalidad de contribuir en la búsqueda y aplicación de nuevas tecnologías de bajo costo para la implementación en el tratamiento de aguas residuales domésticas en las zonas rurales de la provincia de Cusco y así mitigar las consecuencias del vertimiento de aguas residuales domésticas a entornos naturales.

La investigación se divide en cuatro capítulos: el capítulo I describe la realidad problemática de las aguas residuales domésticas a nivel nacional y local, asimismo, se define el problema principal de la investigación y los objetivos. También se describe la justificación, las hipótesis y las variables. En el capítulo II se desarrolla el marco teórico abordando conceptos de las aguas residuales domésticas, DBO<sub>5</sub> y DQO, los conceptos del lombrifiltro y definiciones de términos más usados en la investigación. En el Capítulo III y IV se explica la metodología, diseño de la investigación y los resultados que se obtuvieron al finalizar el presente trabajo.



## CAPÍTULO I:

### 1. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

#### 1.1 Planteamiento y Formulación del Problema

##### 1.1.1 *Planteamiento del Problema*

El agua es uno de los recursos naturales más importantes para el pleno desarrollo de la vida de todos los seres vivos en el mundo, en especial para el ser humano, porque usa este recurso para satisfacer sus necesidades en diferentes actividades domésticas, industriales y agrícolas **(1)**. Cuando el hombre realiza diferentes actividades utilizando el agua, modifica las características naturales del mismo provocando que el recurso se convierta en residuo líquido inaprovechable y perjudicial para el hombre y el ambiente.

Para el tratamiento de este recurso y su reaprovechamiento se necesita de tecnologías eficientes y de bajo costo de implementación y operación. Sin embargo, las tecnologías que son eficientes generalmente tienen altos costos de implementación, operación y mantenimiento, lo que limita a los países con bajos recursos económicos. En los países con altos ingresos, el tratamiento de aguas residuales es cerca al 70%, en países con ingreso medio es de 38%, en los países con ingresos medio-bajos es de 28% y en los países con ingresos bajos el porcentaje es de tan sólo el 8%. Estos porcentajes permitieron realizar cálculos aproximados para todo el mundo, determinando que más del 80% de las aguas residuales llegan a los cuerpos naturales sin tratamiento previo **(1)**.

En el Perú, hasta el año 2007, el 12% del agua era destinado al uso doméstico de la población, lo que significa que se generaba aproximadamente el mismo porcentaje de aguas residuales domésticas.

De la misma manera, sólo el 29.1% de las aguas residuales domésticas, a través de 143 sistemas, eran tratadas, el resto se vertía a los ríos, lagos y el mar **(2)**.

Para el año 2014, cuando se actualizó la información sobre las infraestructuras de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, se dio a conocer que las dificultades en la operación de los sistemas de tratamiento persistían, sobre todo cuando había variación en el caudal de afluentes.

Por otro lado, las tecnologías empleadas tienen elevados costos de operación y mantenimiento, motivo por el cual solamente en el 50% de afluentes es posible realizar el tratamiento. Además, en algunos sistemas de tratamiento se generan malos olores de los residuos sólidos y lodos extraídos de las operaciones y procesos de tratamiento de aguas residuales **(3)**.

Se dice que, en las dos últimas décadas, aumentó la contaminación de las fuentes naturales de agua debido a la incorporación de las aguas residuales domésticas sin tratamiento alguno. El manejo inadecuado de las aguas residuales domésticas genera descargas directas a los entornos naturales (ríos, lagos y mar) e incrementa la degradación de diversos ecosistemas, impactando de manera negativa en el medio ambiente y también en la salud de la población **(3)**, ocasionando enfermedades como: el cólera, filariasis linfática, dengue, dracunculiasis, helmintos y esquistosomiasis **(1)**.

Este proceso empieza cuando el efluente es usado en el riego de campos de cultivos. Asimismo, las enfermedades se propagan cuando el agua es usada con fines recreacionales y está en contacto con las personas **(1)**, y en algunas

circunstancias por desconocimiento o falta de información, muchas personas consumen el agua directamente del río, lo que provoca enfermedades.

La materia orgánica conforma la parte más importante de la contaminación de aguas residuales porque agota el oxígeno disuelto (4), asimismo, aproximadamente el 75 % de los sólidos en suspensión y 40 % de los sólidos filtrables son de característica orgánica y provenientes de los restos de vegetales y animales como también de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos (5).

En la región del Cusco, existen cuatro empresas prestadoras de servicio de saneamiento que abarcan gran parte de la población urbana. Una de las empresas prestadoras de servicio (EPS) más importantes de la región es SEDACUSCO S.A. quien brinda su servicio al 92,19% con la red de alcantarillado del total de población de su jurisdicción (6). Sin embargo, cuando se realizó la visita a la planta de tratamiento se observó que, del total de afluentes sólo en el 30% se realiza el tratamiento y el resto se vierte directamente a la microcuenca del río Huatanay. Las otras empresas que prestan el servicio de saneamiento en el ámbito urbano son: EPS EMAQ S.R.L., EPS EMPSSAPAL S.A. y EPS EMSAPA CALCA S.A., quienes brindan sus servicios de red de alcantarillado al 81,20%, 77,4% y 85,2% respectivamente del total de la población en las jurisdicciones correspondientes (6). Cabe mencionar que ninguna de las empresas prestadoras de saneamiento mencionadas, tratan en su totalidad a las aguas residuales.

En las zonas periurbanas y centros poblados rurales de la provincia de Cusco, la disposición de las aguas residuales domésticas es aún más

preocupante, ya que los afluentes llegan a pozos de oxidación colapsados y pasan directamente a los ríos afectando los ecosistemas de la zona.

Según el Plan Regional de Saneamiento 2021 – 2025 **(6)**, los 202 centros poblados rurales en la provincia cuentan con 74 comités de Juntas Administradoras de Servicio de Saneamiento encargados de realizar la operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas y están distribuidas de la siguiente manera: un comité por centro poblado sin abarcar en su totalidad. Esto quiere decir que sólo el 37% es atendido, pero no cuentan con presupuesto, capacidad técnica y administrativa para el tratamiento de las aguas residuales domésticas. Asimismo, el 63% de afluentes son vertidos directamente a los ríos y lagunas más cercanas con concentraciones elevadas de materia orgánica.

En la actualidad se cuenta con diferentes tecnologías para reducir los contaminantes orgánicos de las aguas residuales domésticas, sobre todo en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) y demanda química de oxígeno (DQO) que son de bajo costo de implementación, operación y mantenimiento, y que son a su vez, compatibles con el ambiente.

Una de las tecnologías consiste en un sistema biológico y aeróbico, conocido como lombrifiltro o sistema Tohá, fue investigado ampliamente en la Universidad de Chile por el doctor José Tohá y es patente del autor mencionado **(7)**. La dinámica del proceso consiste: el agua residual doméstica ingresa por estratos de filtros conformado por aserrín, grava de diferentes diámetros y piedra de río dispuestos en forma vertical. En el primer estrato habitan lombrices de

tierra que se alimentan de la materia orgánica del agua residual doméstica y realizan movimientos ayudando a que el sistema sea aeróbico.

La actividad de las lombrices es muy importante para la efectividad en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de aguas residuales domésticas lo que también depende de las condiciones ambientales en las que se encuentran, sobre todo de la temperatura y humedad (7). Por otra parte, la composición del agua residual importa mucho, ya que las lombrices aprovechan como fuente de nutrientes los restos orgánicos existentes en ella.

A pesar de contar con esta tecnología de bajo costo de implementación, mantenimiento y operación, y que es a su vez amigable con el ambiente y no requiere de productos químicos; no se ha investigado sobre la influencia del lombrifiltro en la remoción de contaminantes en las zonas rurales de la provincia de Cusco para su posible implementación. No existen investigaciones previas sobre la influencia del caudal y las temperaturas diurna y nocturna en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de las aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco.

Por todo lo descrito antes, se puede afirmar que existe la necesidad de investigar sobre la influencia del lombrifiltro en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y de la DQO de las aguas residuales domésticas en las zonas rurales de la provincia de Cusco, y este es el motivo del presente trabajo.

## **1.1.2 *Formulación del Problema***

### **1.1.2.1 Problema General**

- ¿De qué manera influye el lombrifiltro en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de las aguas residuales domésticas en las zonas rurales de la provincia de Cusco?

### 1.1.2.2 Problemas Específicos

- ¿Cuál es el caudal que influye en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en zonas rurales de la provincia de Cusco?
- ¿Cuál es la influencia de las temperaturas diurna y nocturna en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en zonas rurales de la provincia de Cusco?
- ¿Cuál es el porcentaje de remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de las aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco?

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 *Objetivo General*

- Determinar la influencia del lombrifiltro en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de aguas residuales domésticas en las zonas rurales de la provincia de Cusco.

### 1.2.2 *Objetivos Específicos*

- Determinar el caudal que influye en la remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO del agua residual doméstica a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco.
- Evaluar la influencia de las temperaturas diurna y nocturna en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco.
- Determinar el porcentaje de remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco.

## **1.3 Justificación e Importancia**

### **1.3.1 *Justificación Social***

El presente trabajo de investigación busca contribuir en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco, y de esta forma reducir la carga orgánica y malos olores que no permiten disfrutar de una buena calidad de vida. Asimismo, el tratamiento de las aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro, disminuye la posibilidad de contraer diferentes enfermedades. Todo lo mencionado sirve como una propuesta de solución a la problemática planteada con miras de beneficiar a la sociedad.

### **1.3.2 *Justificación Ambiental***

En los centros poblados rurales de la provincia de Cusco, las aguas residuales domésticas llegan a los ríos más cercanos de manera directa o indirecta. Se dice que es directa cuando es conducido mediante una red de alcantarillado a cuerpos naturales y cuando es a través de pozos de oxidación colapsados, se dice que son indirectas. Ante esta situación, las instituciones responsables del servicio de saneamiento en el ámbito rural no han intervenido de manera adecuada para controlar la contaminación de los ríos por el vertido de aguas residuales domésticas.

Por todo lo mencionado en la descripción de la realidad problemática, la investigación contribuye como una alternativa en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco, para mitigar la contaminación de los ríos y lagos, dando paso el desarrollo de la biodiversidad en los ecosistemas.

### **1.3.3 Justificación Económica**

La investigación se realizó a escala piloto y con materiales que existen en la zona. Así mismo, el análisis de la DBO<sub>5</sub> y DQO se realizó en el laboratorio privado ubicado en la capital de la región Cusco. La remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro, no requiere productos químicos para la operación del sistema. Es de fácil mantenimiento y la implementación es de bajo costo económico.

### **1.3.4 Justificación Teórica**

Sobre la base teórica del lombrifiltro e investigaciones existentes, la presente investigación aporta datos sobre la influencia del lombrifiltro en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de las aguas residuales domésticas en las zonas rurales de la provincia de Cusco.

### **1.3.5 Justificación Metodológica**

La construcción del lombrifiltro a escala piloto contribuye al diseño de ingeniería el cual será eficiente no solamente para evaluar la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO, sino de otros parámetros de las aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco.

### **1.3.6 Justificación Práctica**

Existe la necesidad de evaluar tecnologías con bajo costo de implementación y operación en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de aguas residuales domésticas en las zonas rurales de la provincia de Cusco para mitigar el vertimiento a los ríos y lagos más cercanos. Por lo tanto, en la investigación



se determina la influencia del lombrifiltro en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de las aguas residuales domésticas en las zonas rurales de la provincia de Cusco.

Por otro lado, no hay investigaciones en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro que se hayan determinado para las zonas rurales de la provincia de Cusco, razón por la cual, la investigación se realizó a escala piloto.

Así mismo, la experiencia adquirida en la universidad y en el campo laboral sobre saneamiento básico en centros poblados rurales, permite desarrollar la investigación con facilidad y confianza.

## **1.4 Hipótesis y Variables**

### ***1.4.1 Hipótesis General***

- El lombrifiltro influye de manera significativa en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de aguas residuales domésticas en las zonas rurales de la provincia de Cusco.

### ***1.4.2 Hipótesis Específicas***

- El caudal que influye de manera significativa en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro, es 50mL/minuto.
- La temperatura diurna incrementa en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO y la temperatura nocturna disminuye en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco.
- El porcentaje de remoción de la DBO<sub>5</sub> es de 90% y el de la DQO es de 95% de las aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro a las zonas rurales de la provincia de Cusco.

### **1.4.3 Operacionalización de Variables**

#### **1.4.3.1 Variable Independiente**

➤ **Parámetros del lombrifiltro**

- **Definición:** caudal, es la cantidad de agua residual doméstica que ingresa al lombrifiltro y pasa por los estratos colocados en forma vertical.

**Dimensión:** caudal de entrada al lombrifiltro.

**Indicador:** mililitros/minuto

- **Definición:** temperatura del proceso, es la temperatura promedio diurna y la temperatura promedio nocturna que influye en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de aguas residuales domésticas

**Dimensión:** factor de evaluación, Temperatura.

**Indicador:** °C

#### **1.4.3.2 Variable Dependiente**

➤ **Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO**

- **Definición:** DQO, es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar químicamente la materia orgánica del agua residual doméstica. DBO<sub>5</sub>, es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica en un periodo de 5 días.

**Dimensión:** factor de evaluación en la remoción

**Indicador:** mg/L, porcentaje.

**Tabla 1***Operacionalización de variables.*

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	SUB DIMENSIONES	INDICADOR
Variable Independiente (V.I.)				
Parámetros del lombrifiltro	<b>Caudal</b> , es la cantidad de agua residual doméstica que ingresa al lombrifiltro y pasa por los estratos colocados en forma vertical.	Caudal (Q)	Caudal mínimo y caudal máximo	Mililitros/minuto
	<b>Temperatura del proceso</b> , temperatura promedio diurna y temperatura promedio nocturna que influye en la remoción de la DBO <sub>5</sub> y DQO de aguas residuales domésticas	Temperaturas	Factor de evaluación. T1 y T2	°C
Variable Dependiente (V.D.)				
Remoción de la DBO <sub>5</sub> y DQO	<b>DQO</b> , es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar químicamente la materia orgánica del agua residual doméstica.	condiciones de determinación	Nocturna	DQO (mg/L)
			Diurna	
	<b>DBO<sub>5</sub></b> , es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica.	condiciones de determinación	Nocturna	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
			Diurna	

Fuente: elaboración propia

## CAPÍTULO II:

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes del Problema

##### 2.1.1 *Antecedentes Internacionales*

El trabajo de investigación titulado “Sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales” (7), se plantea como objetivo proponer un sistema ecológico para el tratamiento de aguas residuales domésticas en sectores rurales en remplazo de sistemas sépticos, explicando los procesos de remoción asociados al sistema Tohá. El trabajo consiste en recopilar y describir los antecedentes, desventajas y ventajas del sistema Tohá y del sistema séptico para de esta manera disponer del marco teórico que ayuda a entender el funcionamiento del sistema. En este trabajo se llega a la conclusión de que la utilización del sistema Tohá o lombrifiltro es eficiente en el tratamiento de las aguas residuales, ya que la remoción supera los 90%. Este trabajo sirve de base teórica para el presente trabajo de investigación y se toma en cuenta los parámetros de diseño para la construcción del lombrifiltro y el caudal recomendado.

En el artículo científico titulado “Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie *Eisenia foetida*” (8), se establece como objetivo: diseñar y construir un sistema sobre tratamiento de aguas residuales utilizando como base teórica el sistema de tratamiento Tohá creado por el Dr. José Tohá de la Universidad de Chile. Según la investigación, para el diseño se consideraron los siguientes parámetros: caudal, velocidad, TRH, profundidad,

ancho, largo de la caja, y altura del sistema; factores que forman parte del diseño para disminuir los parámetros de contaminación de las aguas residuales urbanas. Los estratos filtrantes se clasificaron como se describe a continuación: aserrín, en el cual habitan lombrices (dos estratos), luego de una capa con antracita, posteriormente pasa por un estrato de piedra chancada con mínimos diámetros y finalmente colocar un estrato de piedra de río con mayor diámetro; dando paso a la filtración y oxigenación del agua evitando la generación de malos olores. El proceso se caracteriza por ser aerobio, asimismo, después de la filtración del agua residual a través de todos los estratos se recoge en unos envases y se lleva al laboratorio para determinar las respectivas características. Cada estrato filtrante presenta una altura de 10 cm de material inerte (grava, aserrín y antracita), a excepción de los bolones de río que presenta una altura de 7 cm ya que el tamaño y peso de las piedras podría dañar la estructura del sistema del lombrifiltro. La alimentación inicial del lombrifiltro fue con un caudal de 0,05 L/min a través del cual se calculó el volumen necesario para la suministración continuo durante 12 horas, con la finalidad de obtener eficiencia en la operación del sistema.

Como resultado se observó que la carga contaminante en la entrada fue superior en comparación con la salida, logrando una eficiencia del 92,06 % de remoción de carga orgánica en el sistema de lombrifiltro. Este artículo aporta datos de las dimensiones y caudal del lombrifiltro para la construcción a escala piloto, lo cual es relevante para la presente investigación.

En el artículo titulado “Determinación de la eficiencia del aserrín y la fibra de coco utilizados como empaques para la remoción de contaminantes en

Biofiltros para el tratamiento de aguas residuales” (9), el objetivo fue: proponer una alternativa ecológica de tratamiento de aguas residuales domésticas llamada biofiltro que se construye de material vivo (lombrices) e inerte (viruta y grava). El estudio de campo se desarrolló mediante filtros biológicos en forma experimental, se realizó la variación en la estructura de los materiales inertes para lograr mejores condiciones en la operación. Se construyeron dos Biofiltros a escala piloto, el primero estaba conformado con empaque de aserrín y el segundo con empaque de fibra de coco a través del cual se realizó el tratamiento de agua residual doméstica. Para determinar los resultados se realizó el muestreo en el efluente de cada reactor y fueron llevados al laboratorio para las pruebas respectivas. Después del análisis, los resultados demostraron la eficiencia en la remoción de contaminantes a través del biofiltro; con aserrín es de 53,53 % y del biofiltro con fibra de coco es del 82,37 %. Este artículo es de utilidad para la investigación ya que los resultados tienen menor eficiencia y, por tanto, se aumentará la altura del estrato de filtro de aserrín.

En el artículo titulado “Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (*Eisenia foetida*) en aguas residuales domésticas para zonas rurales” (10), el objetivo fue evaluar la eficiencia de la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros en las aguas residuales domésticas de una zona rural. La investigación se desarrolló a escala experimental aprovechando la teoría del sistema Tohá - creado por el Dr. José Tohá. Asimismo, se diseñó el lombrifiltro estructurado por cuatro capas de filtro: *Eisenia Foetida* + aserrín, grava, bolones de río y carbón activado. El estudio se desarrolló mediante el diseño experimental completamente al azar con un solo

factor (agua residual doméstica), con tres tratamientos y con tres replicas, a través del cual se tiene nueve unidades de experimentos. Los tratamientos están conformados por tres diferentes caudales ( $1,8 \times 10^{-2}$ ;  $3,4 \times 10^{-2}$ ;  $1,13 \times 10^{-2}$ ) que fueron controlados con varias salidas de la llave de control y que influye directamente en el TRH de 0,92, 0,49 y 0,15 horas respectivamente. Para los resultados, se hicieron pruebas de Tukey y gráficos estadísticos mediante el *software* InfoStat y Microsoft Excel. Concluyendo que la máxima eficiencia en la remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO correspondió a T1, con una media de 52,25 %, seguido por T2 y T3, con 51,35 % y 50,90 % respectivamente. Por su parte, los tratamientos demostraron concentraciones finales menor a 40 mg/L. En el artículo se evaluaron otros parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua residual doméstica y los resultados fueron eficientes. Este artículo aporta información para la elaboración del diseño experimental del presente trabajo de investigación.

El artículo titulado “Efectos de *Eisenia foetida* y *Eichhornia crassipes* en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos” (31), establece como objetivo de investigación evaluar la capacidad depuradora eliminando la carga contaminante de las aguas residuales domésticas mediante tres experimentos. En la investigación se diseñó dos experimentos. El primer experimento está formado por lombrices de la especie *Eisenia foetida* y los filtros colocados en forma vertical. El segundo experimento se conforma por la especie *Eichhornia crassipes* diseñado en forma horizontal, tipo humedal artificial. Asimismo, se evaluó los resultados de la suma de los dos experimentos. Para el primer experimento, el diseño se basa en la metodología

propuesto por Ramón *et al.* (2015) definiendo los siguientes parámetros: caudal 0,125L/min, 1 Kg de lombrices y humus, 20 cm de aserrín, estratos filtrantes de arena y grava de 30 cm de altura y TRH 24h. Para el segundo experimento se diseñó el humedal artificial de flujo libre con una longitud de 0,9m, diámetro de 0,60m y profundidad de 0,40m; y caudal de alimentación de 0,020L/min y TRH de 24h. Asimismo, se empleó programa IBM SPSS Statistics, estudio de correlación de Pearson, análisis de varianza (ANOVA) con un solo factor y una prueba de diferencias significativas de Tukey. Concluyendo que la máxima eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub> correspondió a los resultados obtenidos de la combinación del primer y segundo experimento, llegando hasta el 91%. Asimismo, para la DQO la reducción fue más del 50% en los resultados de los 3 tratamientos. Este artículo aporta datos estadísticos importante y similares a los de la presente investigación.

En el informe “Lombrifiltros, alternativa ecológica, no convencional, para el Tratamiento de Aguas Residuales en Comunidades Non-Prasa de Puerto Rico” (32), se presenta como objetivo que el lombrifiltro sea una alternativa ecológica y económica para controlar el vertimiento de contaminantes a cuerpos naturales de agua, así como el reúso del mismo. Este trabajo describe de las características, proceso de operación, ventajas y desventajas, parámetros de diseño y condiciones de habitat de las lombrices. Este informe aporta en el marco teórico y brinda información relevante para la presente investigación sobre las condiciones y habitat ideal de las lombrices.



### 2.1.2 *Antecedentes Nacionales*

En el trabajo de investigación titulado “Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas-Amazonas” (11), se plantea como objetivo: determinar la eficiencia de tratamiento mediante el método del lombrifiltro en la remoción de contaminantes de las aguas residuales domésticas a escala piloto en el cual se analizó los parámetros del efluente y diagnóstico de la adaptación de las especies de lombrices de tierra *Lumbricus terrestres* y *Eisenia Foetida* y se determinó los parámetros de diseño para la construcción del lombrifiltro. A través del método secuencial se obtuvo como resultado a la especie *Eisenia Foetida* el que eliminó el 92% la DBO<sub>5</sub> y 86% DQO, a diferencia de la especie *Lumbricus terrestres* que logró eliminar el 91% en la DBO<sub>5</sub> y 84% en la DQO. Con estos resultados se concluyó que la especie *Eisenia Foetida* es más eficiente en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas. Asimismo, recomienda que la temperatura ambiental es uno de los parámetros importantes porque afecta directamente en la actividad de las lombrices y recomienda temperaturas entre 20 a 25°C. Este trabajo es relevante para la investigación porque se tomará en cuenta el caudal usado en la investigación para determinar la influencia del lombrifiltro a las condiciones ambientales de las zonas rurales de la provincia de Cusco.

El trabajo de investigación titulado “Evaluación de la eficiencia de un lombrifiltro (tres capas) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en el distrito de Cusipata-Cusco” (12), formula como objetivo evaluar la eficiencia del lombrifiltro a escala piloto con la especie *Eisenia Foetida* en la

remoción de los contaminantes de aguas residuales domésticas, determinando el porcentaje de remoción de la DBO<sub>5</sub>, DQO, nitratos y *Echerichia Coli*. A través del método secuencial se obtuvo como resultado que, con las lombrices de la especie *Eisenia foetida* disminuyó en un 88% la DBO<sub>5</sub>, 86% de la DQO, 95% de SST y 99% *Escherichia Coli*. Concluyendo que la remoción alcanza a los valores aceptados para el uso en riego de vegetales no restringido y restringido, así como también para consumo de animales según el DS N° 004-2017-MINAM. Asimismo, recomienda extender las alturas de las capas para mejorar la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. También recomienda aumentar un estrato de filtro de carbón activado. La información contenida en este trabajo sirve de aporte para la construcción del lombrifiltro aumentando la altura de los estratos de los filtros y una capa de carbón de madera.

El trabajo de investigación titulado “Eficiencia de *Lumbricus terrestris* y *Eisenia foetida* en el tratamiento de las aguas residuales en la ciudad de Bagua-Amazonas, 2015” (33), planteó como objetivo evaluar la eficiencia de *Lumbricus Terrestris* y *Eisenia Foetida* en el tratamiento de las aguas residuales a condiciones ambientales, de la ciudad de Bagua – Amazonas, 2015. Construyó dos sistemas lombrifiltros en el cual colocó las dos especies de lombrices con los estratos filtrantes respectivos. A través de análisis en el laboratorio se determinó los resultados de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de los dos sistemas de lombrifiltro. Para determinar la eficiencia se estableció la comparación de los resultados de análisis en el laboratorio de los dos sistemas de lombrifiltros, concluyendo que el efluente del sistema lombrifiltro donde

habitan la especie de *Eisenia foetida* tuvo mayor remoción de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, alcanzando el 94,51% de DBO<sub>5</sub> y 94,96% de DQO. Asimismo, recomienda usar aserrín de pino como estrato filtrante del lombrifiltro. Los datos contenidos en este trabajo contribuyeron para la elección del tipo de aserrín que se utilizó en la construcción del lombrifiltro.

El trabajo de investigación titulado “Evaluación del lombrifiltro como tratamiento primario del sistema de tratamiento de aguas residuales del proyecto Manchay Verde” (34), en el cual el objetivo fue: conocer las mejoras que se obtienen en el tratamiento de aguas residuales domésticas del Instituto Juan Pablo II usando el lombrifiltro como tratamiento primario para la remoción de contaminantes. A través del método de análisis en laboratorio del agua residual inicial y posterior al tratamiento en el lombrifiltro, se concluyó que la reducción de la DBO<sub>5</sub> es 95,46% y la DQO es 90,84%. concluyendo que el lombrifiltro es una de las alternativas eficientes para el tratamiento primario de las aguas residuales domésticas ya que la remoción es bastante alta. Asimismo, recomienda que el ingreso del agua residual al lombrifiltro sea mediante sistema de aspersión para mejorar la distribución uniforme. Este trabajo de investigación aporta información importante para diseñar el sistema de ingreso de agua residual doméstica al lombrifiltro de manera uniforme realizando agujeros en la tubería de distribución.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Aguas Residuales**

Se denomina aguas residuales a aquellas cuyas características iniciales o naturales sufrieron procesos de modificación por las diferentes actividades

humanas y por las condiciones de su calidad, es necesario realizar tratamientos previos para ser reusadas en diferentes actividades o ser vertidas a entornos naturales como medio receptor **(13)**. También se considera como aguas residuales a las que discurren a partir de las lluvias y llegan a la red de alcantarillado con caudales elevados y son mezclándose con las aguas residuales urbanas **(5)**.

### **Figura 1**

#### *Descarga de Aguas Residuales a Cuerpo Natural*



Fuente: página web de fundación aqua.

La figura 1 muestra la descarga de aguas residuales a través de una red de conducción sin tratamiento y con concentraciones elevadas en materia orgánica, lo que provoca alteraciones en los cuerpos receptores. Asimismo, por el color gris se puede identificar que son aguas residuales recientemente generadas por áreas urbanas **(25)**.

## **2.2.2 Clasificación de las Aguas Residuales**

La clasificación de las aguas residuales, con una mirada hacia la contribución en la mejora del tratamiento del mismo, es de acuerdo a sus características y procedencia. Según el organismo de evaluación y fiscalización ambiental (OEFA), se clasifica en: industriales, municipales y domésticas; como se describe a continuación.

### **2.2.2.1 Aguas Residuales Industriales**

Aguas residuales industriales son las que han sido modificadas en cualquier actividad fabril en los procesos de producción, manipulación, transformación que se emplee a mediana o gran escala, incluyendo a las que provienen de las actividades mineras, agrícolas, energéticas, agroindustriales, entre otras **(13)**.

Generalmente las aguas residuales procedentes de las industrias, tiene elevada temperatura y escasa presencia de oxígeno disuelto, para el vertimiento a cuerpos naturales requiere de tratamiento previo para la oxigenación y reducir la temperatura, de esta manera mitigar los impactos en el ecosistema del entorno natural **(5)**.

## Figura 2

### *Aguas residuales industriales*



Fuente: página web de Escuela Posgrado de Ingeniería y Arquitectura.

La figura 2 muestra un color típico de aguas residuales industriales y se caracterizan por presentar alto contenido de grasas, sustancias químicas, pesticidas, metales, etc. lo que provoca cambios en el color y temperatura **(26)**.

#### **2.2.2.2 Aguas Residuales Municipales**

En este caso, se refiere a la combinación de aguas residuales domésticas, aguas que drenan a partir de la lluvia y las aguas residuales de fuentes industriales con un tratamiento adecuado previamente. Generalmente la combinación ocurre cuando existe una sola red de alcantarillado para el drenaje pluvial y para las aguas residuales con características y procedencia doméstica **(13)**. Esta clase de aguas, se caracterizan por presentar altas concentraciones de materia orgánica, residuos sólidos y la deficiencia de oxígeno disuelto. El color es más oscuro que las aguas residuales domésticas **(5)**.

### Figura 3

*Imagen referencial de aguas residuales municipales.*



Fuente: página web de DUNA

La figura 3 muestra la combinación de aguas residuales domésticas y aguas residuales pluviales (27). El color es más oscuro en comparación con las domésticas debido a mayor presencia de materia orgánica y otras sustancias químicas arrastradas por las aguas de las lluvias. Como se puede observar, estas aguas son vertidas directamente al río sin tratamiento alguno.

#### 2.2.2.3 Aguas Residuales Domésticas

Son aquellas aguas procedentes de residencias, colegios, hospitales, establecimientos comerciales, etc. que contienen restos fisiológicos, bacterias, virus, parásitos, entre otros provenientes de las diferentes actividades de las personas. Las principales actividades humanas que generan aguas residuales domésticas son: el aseo personal, lavado de ropa, lavado de utensilios en el hogar y eliminación de excretas con arrastre hidráulico. Estas aguas presentan alta concentración de materia orgánica, aceites y grasas, nutrientes, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, bacterias y otros organismos biológicos (13).

#### Figura 4

*Fuente de generación de aguas residuales*



Fuente: página web de FOSASSEPTICA

En la figura 4 se puede apreciar la generación de aguas residuales domésticas por efecto del lavado de utensilios que a su vez generan aguas con restos de nutrientes, aceites y grasas, materia orgánica y otros residuos domésticos presentes en las aguas residuales domésticas (28).

Al momento de realizar el lavado de los utensilios en el hogar se usa detergente y otros productos químicos para eliminar las grasas y la materia orgánica.



### Figura 5

*Imagen referencial de generación de aguas residuales domésticas de aseo personal*



Fuente: página web del periódico EN EL NACIONAL

En la figura 5, se puede apreciar el uso de jabón como elemento para el aseo personal (29), a través del cual también se genera carga contaminante en las aguas residuales domésticas.

### 2.2.3 Características de las Aguas Residuales Domésticas

Es fundamental comprender la importancia de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales domésticas para determinar los procesos y operaciones en la remoción de los diversos contaminantes de las aguas residuales domésticas. Por ello, a continuación, se describe cada uno los parámetros de manera separada (5).

#### 2.2.3.1 Características Físicas

##### ➤ Temperatura

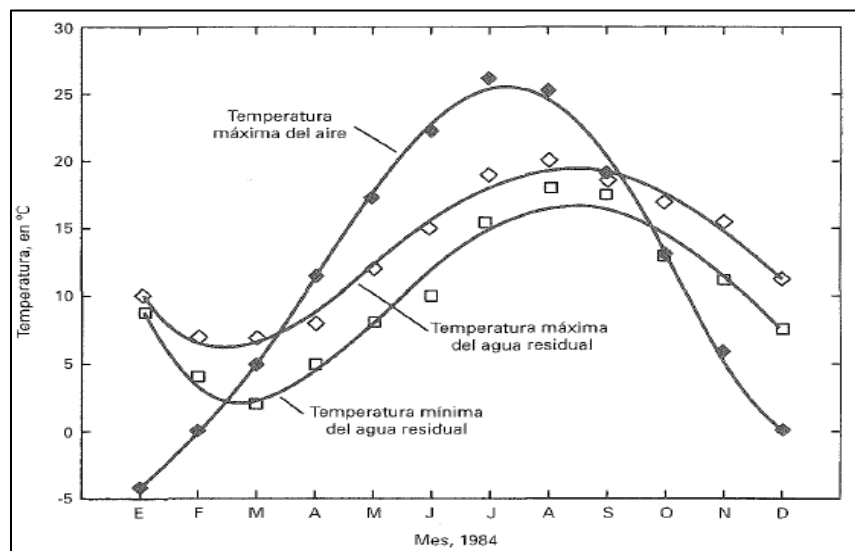
Es uno de los parámetros más importantes, pues influye de manera significativa en las actividades y desarrollo de los organismos vivos. Asimismo, hay una dependencia para la solubilidad del oxígeno de las aguas residuales

domésticas, o sea, a mayor temperatura hay mayor solubilidad del oxígeno. Por otra parte, el aumento de la temperatura provoca reacciones químicas de forma acelerada, agotando la presencia de oxígeno disuelto (5).

El aumento de la temperatura se debe a la generación y vertimiento de agua caliente del lavado de utensilios en la cocina y duchas calientes. Es necesario considerar sobre la variación de la temperatura anual en función al ámbito geográfico que varía entre 10 y 21 grados. De la misma forma, la variación es en función a las condiciones meteorológicas y climatológicas (5).

**Figura 6**

*Variación típica mensual de la temperatura de las aguas residuales*



Fuente: Ingeniería de agua aguas residuales, tratamiento y evacuación, 3ra edición.

La figura 6 muestra el cambio de temperatura para los meses del año (5). Las dos curvas referentes al agua residual, durante los meses de febrero, marzo, hasta mediados del mes de abril, presentan temperaturas mínimas y en los meses de julio y agosto incrementa la temperatura. Asimismo, la temperatura del aire es mayor en el mes de julio. Las temperaturas del agua y del ambiente influyen

mucho cuando se pretende eliminar o estabilizar los contaminantes de las aguas residuales usando organismos vivos.

➤ Densidad

Es definido como la masa por la unidad de volumen y matemáticamente es expresada en  $\text{kg/m}^3$ . Esta es otra de las características físicas fundamentales del agua residual doméstica porque depende de ella la formación de la densidad de lodos como sedimentos. La temperatura influye en la densidad del agua residual, por eso se considera que todas las aguas residuales que presentan la misma temperatura tienen similitud en la densidad. En las aguas residuales industriales la densidad es diferente y se puede determinar en función a su peso específico, esto es por la presencia de residuos industriales **(5)**.

➤ Turbidez

Es una medida del nivel de la pérdida de transparencia por presencia de sólidos en suspensión. Es necesario medir la turbidez cuando se trata de determinar la materia suspendida de las aguas residuales de diferentes clasificaciones **(5)**.

➤ Color

Sirve para hacer referencia al tiempo de permanencia de las aguas residuales domésticas. Esta es una característica importante porque coadyuva a identificar el tiempo de permanencia a través de colores como gris, cuando el agua es reciente, y a medida que los microorganismos descomponen la materia orgánica, disminuye el oxígeno disuelto, entonces el color cambia a gris oscuro y posteriormente se transforma a color negro. En esta condición se dice que el agua residual es séptica **(5)**.

➤ Olor

Los gases producidos durante la descomposición de la materia orgánica, como el ácido sulfhídrico y las sustancias volátiles, son los que generan olores desagradables. Cuando el agua residual doméstica es reciente el olor es tolerable a diferencia de las aguas residuales sépticas o aguas negras. Los olores desagradables provocan problemas sociales alrededor de las plantas de tratamiento de aguas residuales ya que genera rechazo por parte de los habitantes. El mal olor tiene un impacto negativo en el desarrollo de la vida del ser humano, influye tanto a nivel psicológico como físico, puede provocar vómito, náuseas, malestares generales; así como reducir el apetito de consumo de alimentos, consumo de agua y producir desequilibrios respiratorios (5).

➤ Sólidos Totales

Existe dos clasificaciones de los sólidos totales y esto en función su tamaño o presentación (5).

**Sólidos suspendidos:** son las partículas que flotan de los vegetales, animales, etc., también se incluye a los que se visualizan a simple vista y existe la posibilidad de separar del líquido residual por medio de la sedimentación que son operaciones físicas sencillas. Del total de los sólidos suspendidos es posible dividir la parte sedimentable, ya que, por acción de la gravedad, precipitan al fondo del equipo de sedimentación (5).

**Sólidos filtrables:** esta es una cantidad traza y está conformado por sólidos coloidales y sólidos disueltos. La parte coloidal está conformada por partículas con diámetro que oscilan entre 0,001 y 1 micrómetros. Estas son fracciones que no pueden eliminarse a través de la sedimentación. La presencia de sólidos disueltos está compuesta por iones, moléculas inorgánicas y moléculas

orgánicas que no es posible percibir a simple vista porque están disueltas en el agua residual. Generalmente, es necesario el uso de coagulantes continuos de sedimentación para reducir o desaparecer todas las partículas en suspensión (5).

### 2.2.3.2 Características Químicas

Las características químicas relevantes pueden definirse basándose en los desechos inorgánicos y orgánicos que se encuentran en las aguas residuales domésticas, esto significa la materia orgánica, materia inorgánica y todos los gases (5).

#### ➤ Materia Orgánica

Está conformada aproximadamente en 90% por hidrato de carbono, grasas, proteínas y aceites que proviene de las excretas y desechos líquidos de las personas, desperdicios de los alimentos y detergentes en general. Estos residuos se caracterizan por ser degradables biológicamente, es decir, a través de los microorganismos del mismo residuo, son transformados en sustancia o compuestos sencillos. El incremento acelerado de los microorganismos se debe a las condiciones de su habitat, sobre todo de la temperatura y la disponibilidad de nutrientes en las aguas residuales domésticas. Asimismo, la orina del ser humano es otro componente importante porque contiene la urea y por eso hay presencia de esta sustancia en las aguas residuales domésticas. Sin embargo, por la descomposición rápida es muy difícil hallar la presencia de esta sustancia en aguas residuales que no tengan menor tiempo de existencia desde la generación (5).

**Proteínas.** Las proteínas siempre se encuentran en todos los alimentos que sean de procedencia animal, así como en los vegetales cuando éstos se encuentran es

su estado natural. Hablar de la composición química de las proteínas llevaría bastante tiempo por su gran complejidad y por su inestabilidad, generalmente se adopta a muchas formas de descomposición cuando hay variaciones de temperatura de las aguas residuales domésticas. Algunos se caracterizan por la solubilidad en el agua. Todas las proteínas presentan alto peso molecular, desde los 20,000 a 20 millones. Los principales componentes en la formación de las proteínas es el carbono, oxígeno e hidrogeno y también contienen 16 % de nitrógeno aproximadamente. En la mayoría de los casos, hay presencia de azufre, fósforo y hierro. Cabe resaltar que las sustancias que permiten la existencia de nitrógeno en las aguas residuales son la urea y las proteínas, sobre todo en las domésticas. Por su parte, la presencia de las proteínas en las aguas residuales domésticas contribuye al origen de los olores desagradables, esto es debido a la acción del proceso de descomposición (5).

**Carbohidratos.** En el grupo de los carbohidratos están incluidos los azúcares, almidones, celulosa y fibras provenientes de vegetales presentes en las aguas residuales domésticas. Una parte de los hidratos de carbono se caracterizan por ser solubles en el agua, sobre todo azúcares, mientras que otros, como el caso de los almidones, no son solubles en el agua. Desde una perspectiva volumétrica y la acelerada descomposición, la celulosa es el carbohidrato más importante por la descomposición rápida generalmente por la presencia de las actividades de múltiples hongos y es muy visible cuando las acondiciones son ácidas (5).

**Aceites y grasas.** Proviene del reino animal y son transformados en su composición para llegar a las aguas residuales domésticas, algunos ejemplos de estas son: la mantequilla, manteca y margarina. También están aquellas que proceden de grasas vegetales. Casi el total de las grasas tienen origen de

gérmenes de cereales, semillas, nueces y algunas frutas. También se encuentran en las sustancias orgánicas donde hay mayor estabilidad y la descomposición mediante la actividad de las bacterias no son simples. Todos los jabones se producen a través del proceso de saponificación de grasas con hidróxido de sodio. Estas sustancias son solubles en agua, pero en presencia de componentes de dureza, las sales sódicas se convierten en sales cálcicas y magnésicas de ácidos grasos, sustancias también conocidas como jabones minerales que son insolubles y precipitan (5).

Las aguas residuales domésticas también contienen cantidades traza de moléculas orgánicas sintéticas como agentes tensoactivos, fenoles y pesticidas usados en la actividad de la agricultura (5).

➤ **Materia inorgánica.**

Se incluyen los restos sólidos minerales, en este caso son las sales minerales, las arcillas, fangos, arenas y gravas que no sean biológicamente degradables (5).

**Tabla 2**

*Relación Entre los Importantes Constituyentes Inorgánicos y el Agua Residual*

Elemento	Relación con el agua residual doméstica
Hidrogeno (pH)	Resulta complicado el tratamiento de las aguas residuales con concentraciones múltiples de ion hidrogenión a través de métodos biológicos. Generalmente el pH ideal para el desarrollo y multiplicación de los organismos se encuentra entre 6,5 y 7,5.
	La presencia de cloruro en el agua residual se debe a diversas fuentes, por ejemplo, la descomposición de suelos y rocas, y que siempre

Cloruro	están expuestos con el agua, intrusión del agua salada (generalmente en zonas costeras), en productos químicos y son combinados con el agua residual doméstica, agrícola e industrial. Por otra parte, provee información sobre el nivel de concentración de las aguas residuales.
Nitrógeno	La presencia de nitrógeno contribuye al desarrollo de protistas, algas, hongos y plantas, básico para la descomposición de proteínas. Contribuye a la eutrofización.
Fósforo	Aumenta el desarrollo y crecimiento de diferentes tipos de algas en un cuerpo receptor. Está muy relacionado, al igual que el nitrógeno, al problema de la eutrofización.
Azufre	Es necesario para la síntesis de las proteínas y se libera cuando hay degradación.

Fuente: (5)

La tabla 2 muestra un resumen de la relación de las sustancias constituyentes inorgánicas y las aguas residuales (5), y tiene como finalidad mostrar los cambios y alteraciones que generan.

➤ Gases.

La presencia de gases en las aguas residuales, sobre todo en las domésticas, se encuentran en diferentes tipos y concentraciones:

**Oxígeno disuelto:** la presencia de este gas es muy importante porque sirve para ser aprovechado por las actividades químicas y biológicas. Impide la formación de olores desagradables que se producen de la descomposición de la materia. La disponibilidad de oxígeno disuelto depende de muchos factores como: la temperatura del agua, el nivel de altitud, movimientos para la aireación del cuerpo receptor, las actividades biológicas, actividades químicas, etc (5).



**Ácido sulfhídrico:** la formación de este compuesto se debe a la degradación de la materia orgánica el cual contiene azufre o por la reducción de sulfitos y sulfatos minerales. Cuando hay presencia de malos olores, es un indicador de como el agua residual está evolucionando y cuál es el tiempo que tiene desde la generación (5).

**Anhídrido carbónico:** cuando las aguas residuales domésticas se mantienen en reposo por un periodo prolongado, a través del proceso de fermentación de todos los compuestos orgánicos, se genera el dióxido de carbono, sobre todo de las aguas residuales negras (5).

**Metano:** la formación es a partir de la degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno por la reducción bacteriana de dióxido de carbono (5).

**Otros gases:** a partir de las aguas residuales domésticas, muchos gases mal olientes se generan, como ejemplo se tiene a los ácidos grasos volátiles y otros derivados del nitrógeno (5).

### 2.2.3.3 Características Biológicas

Las características son determinadas según la clasificación de los microorganismos que están presentes en el agua residual, entre ellos podemos describir los siguientes:

➤ Bacterias

Todas las bacterias cumplen un papel importante en la descomposición y estabilización de la materia orgánica en el agua residual. Es así que, se clasifican en función a su metabolismo: autótrofas y heterótrofas. A los microorganismos que aprovechan como nutriente a los compuestos inorgánicos y la energía para el proceso de biosíntesis a partir de la luz, se les denomina

bacterias autótrofas, también se les conoce como bacterias fotosintéticas: familia Thiorhodaceae y Chlorobiaceae. Del mismo modo, se forman reacciones químicas mediante las bacterias quimiosintéticas: Nitrobacter, Nitrosomonas, Hydrogenomonas y Thiotrix. En el tratamiento de las aguas residuales a través de procesos biológicos, las bacterias heterótrofas conforman el sector más importante, ya que estos requieren sustancias orgánicas como el carbono celular.

Es necesario resaltar que las bacterias autótrofas y heterótrofas también pueden dividirse en anaerobias, aerobias o facultativas, dependiendo de la necesidad para el aprovechamiento del oxígeno (5).

**Bacterias anaerobias:** son bacterias que aprovechan el oxígeno de los residuos orgánicos e inorgánicos, pero cuando hay presencia de oxígeno disuelto no sobreviven y se caracterizan por la abundancia de olores desagradables (5).

**Bacterias aerobias:** estos son todos los microorganismos que requieren oxígeno en su forma disuelta o en forma de gas; es aprovechado como nutriente y en el proceso de la respiración. El oxígeno disuelto que es aprovechable es libre, o sea, molecular, y las descomposiciones que se generan a partir de la materia orgánica es a través de los procesos aerobios, en este caso no hay presencia de olores desagradables (5).

**Bacterias facultativas:** un grupo de bacterias que aprovechan el oxígeno y otros que no necesitan oxígeno, tienen la capacidad de llegar a adaptarse a los medios opuestos, es decir, las que aprovechan el oxígeno, son adaptados a entornos sin oxígeno disuelto, y las bacterias que no requieren oxígeno, se adaptan a espacios con presencia de oxígeno disuelto. Por tanto, se dice que estas bacterias siempre se encuentran en las aguas residuales domésticas (5).

**Bacterias coliformes:** existe un amplio proceso de investigación sobre las bacterias coliformes y los patógenos; lo más relevante que se ha determinado es que sirven como indicadores de contaminación de las aguas residuales domésticas. Este tipo de bacterias generalmente se encuentran en las excretas de las personas y algunos animales que poseen sangre caliente. Los coliformes están incluido en los géneros *Escherichia* y *Aerobacter* (5).

➤ Algas.

Las algas se encuentran en lugares donde hay presencia de humedad. En las lagunas o depósitos de agua donde hay estabilidad, su presencia es crucial por la producción de oxígeno a través del proceso fotosintético. Las algas necesitan compuestos inorgánicos para la reproducción y la multiplicación. Los principales nutrientes que necesitan las algas son: dióxido de carbono, nitrógeno y fósforo. Asimismo, se considera necesarios otros elementos (oligoelementos) como aluminio, hierro, etc.

Cuando se habla sobre las desventajas de las algas, se hace referencia a la rápida multiplicación en presencia de nutrientes, y esto genera la eutrofización reduciendo las áreas de espejo de agua en zonas oligotróficas y, por tanto, el desequilibrio del ecosistema. Los tipos de algas presentes en las aguas dulce son: verdes *-Chlorophyta-*, verdes móviles *-Volvocales euglenophyta-*, verdiamarillas o marrón dorado *-Chrysophyta-* y verdiazules *-Cyanophyta-* (5).

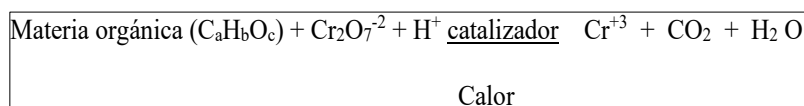
#### 2.2.4 *Medida del Contenido Orgánico de las Aguas Residuales*

En las investigaciones realizadas desde el siglo pasado, se han diseñado diversos ensayos para identificar la cantidad de materia orgánica en las aguas residuales provenientes de diferentes fuentes. Los resultados demuestran que

existen dos importantes grupos que determinan la materia orgánica en función al volumen. Los que se emplea para determinar mayor de 1 mg/L (grupo 1), y para calcular las cantidades mínimas en intervalo de 0,001 mg/L hasta 1 mg/L. Para el caso del grupo 1 se realiza análisis en laboratorio de los siguientes parámetros: demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y carbono orgánico total (COT). Es importante emplear de manera complementaria, la demanda teórica de oxígeno (DTeO); este parámetro sirve para calcular la concentración de la materia orgánica empleando la fórmula química (5). Cabe resaltar que el presente trabajo de investigación está enfocado en ambos parámetros: la DQO y la DBO.

### 2.2.5 Demanda química de oxígeno (DQO)

La DQO es la cantidad de oxígeno requerida para el proceso de oxidación química de la materia orgánica presentes en la muestra de agua o aguas residuales de diferentes fuentes y con diferentes características. La DQO es empleada para determinar la cantidad de materia orgánica utilizando un reactivo químico en un medio ácido. Para el ensayo de este parámetro se usa el dicromato potásico, ya que provee resultados eficientes. Para ayudar a la oxidación de diversos tipos de sustancias orgánicas, es necesario usar sulfato de plata ya que actúa como catalizador. Cuando se usa el dicromato como agente oxidante, la reacción química se expresa estequiométricamente de la siguiente manera (5):



Fuente: (5)

La mayor cantidad de compuestos orgánicos que son susceptibles a oxidarse químicamente hace que la DQO de las aguas residuales sea siempre mayor que la DBO, ya que la descomposición por medios biológicos es lenta y en menor cantidad. Se puede establecer matemáticamente la relación entre los valores de la DBO y la DQO (5).

#### **2.2.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

Generalmente la DBO es calculado en un periodo de 5 días. A través de este parámetro, se puede determinar la materia orgánica de las aguas residuales, sobre todo, de las domésticas. La DBO es la cantidad de oxígeno que necesita los microorganismos para descomponer la materia orgánica a través de procesos biológicos en un determinado tiempo y condiciones ambientales. Determinar la DBO es importante para la gestión en la reducción de la contaminación a partir de las aguas residuales (5).

A pesar de lo empleado que es este tipo de ensayo, está sujeto a ciertos límites, razón por el cual, con la finalidad de asegurar resultados eficientes, siempre es necesario disolver la muestra con una solución preparada para asegurar la disponibilidad de nutrientes y oxígeno durante la etapa de incubación. Generalmente se prepara diferentes soluciones para ocupar todo el intervalo de posibles valores de la DBO.

Cuando la muestra presenta gran número de población de microorganismos, como en el caso de aguas residuales domésticas, no se requiere inocular las muestras. El tiempo de incubación es, casi siempre, de 5 días y a 20°C. Sin embargo, se puede adaptar a diferentes tiempos y temperaturas (5).

**Tabla3***Cuadro referencial del nivel de la DBO*

DBO medible con diferentes diluciones de la muestra<sup>a</sup>

Empleando mezclas porcentuales		Por pipeteo directo a botellas de 300 ml	
% mezcla	Intervalo de valores de la DBO	ml	Intervalo de valores de la DBO
0,01	20.000-70.000	0,02	30.000-105.000
0,02	10.000-35.000	0,05	12.000-42.000
0,05	4.000-14.000	0,10	6.000-21.000
0,1	2.000-7.000	0,20	3.000-10.500
0,2	1.000-3.500	0,50	1.200-4.200
0,5	400-1.400	1,0	600-2.100
1,0	200-700	2,0	300-1.050
2,0	100-350	5,0	120-420
5,0	40-140	10,0	60-210
10,0	20-70	20,0	30-105
20,0	10-35	50,0	12-42
50,0	4-14	100,0	6-21
100,0	0-7	300,0	0-7

Fuente: (5)

En la tabla 3 se observa los intervalos de valores de la DBO que pueden ser medidos con diferentes diluciones en base a combinaciones porcentuales y pipeteo directo (5).

La cantidad del oxígeno disuelto se mide antes y después de la etapa de incubación, y la DBO se puede calcular utilizando las siguientes expresiones matemáticas (5):

Cuando el agua no es inoculada,

$$DBO, mg/L = \frac{(D1 - D2)}{P}$$

Cuando el agua de dilución es inoculada,

$$DBO, mg/L = \frac{(D1 - D2) - (B1 - B2)f}{P}$$

Donde:

D1: es el oxígeno disuelto de la muestra diluida después de la preparación y la unidad de medida es mg/L.

D2: es el oxígeno disuelto de la muestra diluida por el periodo de 5 días de incubación a 20°C, y la unidad de medida es en mg/L.

P: es la fracción volumétrica de muestra empleada.

B1: es la concentración de oxígeno disuelto en el testigo (contenido sólo agua de dilución), antes de la incubación, y la unidad de medida es en mg/L.

B2: es la concentración de oxígeno disuelto en el testigo (contenido sólo agua de dilución), después de la incubación, y la unidad de medida es en mg/L.

f: es la relación entre inóculo en la muestra e inóculo en el testigo (por 100 inóculos en D1) / (por 100 inóculos en B1)

La oxidación de la materia orgánica a través del proceso bioquímico es lenta, y se dice que la duración teóricamente es infinita. Se define que en un periodo de 20 días se completa la oxidación entre el 95% a 99% de la materia orgánica, y en el periodo de 5 días que dura el ensayo de la DBO llega a oxidarse entre el 60% a 70% (5).

### **2.2.7 Contaminación por Aguas Residuales Domésticas**

Las investigaciones y las estadísticas citadas frecuentemente sobre las aguas residuales domésticas; mencionan que la composición aproximada es 99% de agua y en un 1% en residuos sólidos y están conformados por restos sólidos coloidales, sólidos disueltos y sólidos en suspensión (1).

Sin embargo, la composición variará según su procedencia, periodo de duración y espacio geográfico, pero el mayor porcentaje siempre será el agua. Cuando las aguas residuales vienen de los hogares y de las residencias, la probabilidad es que tenga concentraciones elevadas de bacterias que viven en las excretas de las personas. Asimismo, cuando se generan infecciones, una gran población de microorganismos patógenos (bacterias, virus, protozoos y helmintos) se distribuyen en todo el entorno a partir de las excretas humanas. Por eso, uno de los objetivos de las plantas de tratamiento de aguas residuales es mitigar o eliminar por completo los patógenos para reducir la propagación de las enfermedades en toda la población humana **(1)**.

Los contaminantes de las aguas residuales domésticas pueden definirse como cualquier sustancia extraña de procedencia antrópica (sintética) o natural, así como cualquier microorganismo perjudicial y poco común en el ambiente; pero cuando entra en él, genera efectos dañinos en la salud de la población y el entorno natural.

La presencia de productos farmacéuticos y cuidado personal (antibióticos, analgésicos, antiinflamatorios, medicamentos psiquiátricos, antisépticos fragancias, microperlas filtros solares, repelentes de insectos, etc.); así como las pesticidas, herbicidas y agentes tensoactivos, son contaminantes con mayor efecto adverso en las aguas residuales domésticas. Estos contaminantes presentan dificultades al momento de realizar el monitoreo y control, razón por el cual, requiere de mayores investigaciones para determinar las consecuencias en el ambiente y en la salud humana pública **(1)**.

La contaminación del suelo, de las aguas superficiales y napas freáticas, son generalmente por el vertimiento de aguas residuales que no tienen ningún



tratamiento o pasaron por tratamientos parciales. De esto depende la disponibilidad de aguas dulces en las napas freáticas o aguas abajo, ya que a través de la infiltración afecta en su calidad y cantidad, reduciendo el suministro de este recurso. Finalmente, las aguas residuales domésticas a través de las napas freáticas y ríos tienden a parar en el océano **(1)**.

Las aguas residuales, sobre todo las domésticas, contienen diferentes contaminantes en su composición y cuando estas entran en contacto con la población, las consecuencias en la salud son negativas ya que se generan enfermedades diarreicas, anemia, entre otros. Por otra parte, tiene efectos negativos en el ambiente, los ecosistemas, así como en las fuentes de aguas dulces **(1)**.

#### **2.2.7.1 Efectos en la Salud**

La falta de seguridad en las infraestructuras, las redes de alcantarillado, el transporte de materiales de uso en la operación y mantenimiento, así como el tratamiento inadecuado de las aguas residuales domésticas, ponen en riesgo la salud de la población. El 74% de los servicios de saneamiento en el ámbito urbano y el 66% en el ámbito rural no disponen de una administración eficaz para el tratamiento de aguas residuales domésticas, por lo que se concluye que estos porcentajes tienen contacto directo o indirecto con estas aguas residuales **(1)**.

No es posible identificar que enfermedades se producen a partir de las aguas residuales, pero estas son muy comunes en los países con poca disposición de redes de alcantarillado. A esto se suma el consumo directo y uso recreacional de las aguas residuales domésticas. En el año 2012 se hizo una estimación de la

cantidad de muertes producidas en los países cuyos ingresos económicos son bajos y medios, arrojando la cifra de 84,200 muertes producto de la falta de servicio de saneamiento básico y el contacto con las aguas residuales (1).

El mejoramiento del servicio de saneamiento en zonas rurales y áreas urbanas en el cual se incluya el tratamiento, es una forma estratégica de intervenir para detener y mitigar diversas enfermedades como: la esquistosomiasis, la filariasis linfática, el dengue, la dracunculiasis, los helmintos (1).

#### **2.2.7.2 Efectos en el Ambiente**

Está demostrado que el vertimiento de aguas residuales a cuerpos naturales genera daños irreparables y reducen la calidad como la cantidad de un recurso indispensable como es el agua dulce, de la misma forma afectan el ecosistema y las formas de vida que estas albergan, sin mencionar los daños que ocasionarán a futuras generaciones. Todos los países del mundo se preocupan por la calidad y disponibilidad de este recurso preciado que es agua, ya que se considera como una dimensión importante para el pleno desarrollo de la vida en todo el planeta. En los continentes como África, Asia y América latina, la contaminación de las aguas naturales se incrementó desde el año 1990, esto fue debido al crecimiento poblacional de manera exponencial, la masificación de la actividad económica y la ampliación de sector agrario, así como el vertido sin tratamiento de las aguas residuales domésticas (1). El manejo inadecuado de las aguas residuales siempre tendrá impacto en los sistemas ecológicos de manera directa, afectando la disponibilidad de los servicios ecosistémicos (1). La introducción de nutrientes a las aguas residuales tiene impacto a través de la

eutrofización permitiendo el afloramiento excesivo de algas totalmente tóxicas reduciendo la disponibilidad de la biodiversidad (1).

### **2.2.8 *Tecnología para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas***

Las tecnologías y métodos para eliminar los contaminantes de aguas residuales, inicia ante la necesidad de proteger la salud de la población y reducir las consecuencias negativas por el vertido al ambiente. La disminución de los contaminantes de las aguas residuales se puede realizar por medio de las operaciones unitarias físicas, procesos unitarios químicos y procesos unitarios biológicos (5).

El presente trabajo emplea una tecnología valiéndose de operaciones físicas y procesos de tratamiento biológico, mas no procesos químicos. A continuación, se desarrolla la parte teórica de la tecnología.

### **2.2.9 *Lombrifiltro***

El lombrifiltro, como una tecnología para el tratamiento de aguas residuales domésticas se desarrolla basado en la constante necesidad de lograr conseguir otras alternativas de tratamiento no convencional y que se logre cumplir las normativas en la descarga; a su vez, sea de bajo costo en la implementación, operación y mantenimiento, y sobre todo, mejore la calidad del agua para evitar la contaminación de los cuerpos naturales (7).

Históricamente existe algunos antecedentes del origen de esta tecnología, los inicios fueron en Estados Unidos a fines de la década de los años 70 cuando se emplearon a las lombrices para la depuración del agua residual de diferentes procedencias.

Las primeras investigaciones estaban enfocadas en el uso de las lombrices para el tratamiento de lodos procedentes de aguas residuales. Posteriormente, se plantea que las lombrices sean evaluadas poniendo en contacto directo con las aguas residuales para contribuir en la oxidación biológica (7).

Es así como el investigador José Tohá Castellá, obtiene experiencias desarrolladas en la planta de Lufkin y Texas en el año 1981 en la que se realizó el tratamiento de aguas residuales a través de lombricultura, ya en el año 1986 inicia los experimentos basados en este sistema y logrando como resultado tratamiento eficiente que hoy en día se conoce como sistema Tohá (7).

#### **2.2.9.1 Características del Lombrifiltro**

Se le denomina así porque se compone por un estrato de humus con una altura de 2 cm en teoría, el cual sirve como habitat para las lombrices y microorganismos que habitan en forma mancomunada, las investigaciones se realizaron con la especie de lombriz *Eisenia Foetida*. La estructura se coloca de manera vertical y está formada por tres estratos que actúan como filtros, la primera capa debe ser de aserrín o viruta (seguido del humus), el segundo estrato debe ser de arena o grava y la tercera capa de piedra chancada o bolones de río (7).

Es necesario tener en cuenta el tipo de aserrín o viruta que se usa como estrato filtrante; la recomendación es el uso de ulmo o tape con una altura de 25 cm. para lograr eficiencia en la retención de contaminantes del agua residual y sean aprovechados por las lombrices. Otra finalidad de esta capa es servir como

nutriente para las lombrices en situaciones donde exista variación y reducción de ingreso de residuos orgánicos (7).

Como se mencionó al inicio, la segunda capa está conformado por arena fina o ripio. Este es el estrato donde quedan retenido los contaminantes que pasan del humus y aserrín, la altura recomendable es de 20 a 24 cm. En el tercer estrato se coloca piedra chancada o bolones de río y sirve como la capa de aireación y donde se forman la flora bacteriana para aprovechar la descomposición de la materia orgánica del agua, generalmente se considera que la altura sea de 20 a 25 cm (7).

Entre las capas de aserrín y arena se coloca una estructura para evitar el paso de las lombrices y la caída del aserrín, es recomendable usar malla de tipo Raschell (7). La base del filtro, conocido también como falso fondo, debe tener una pendiente aproximada de 1% para facilitar el escurrimiento del agua y la buena evacuación. La estructura debe ser de material inerte para evitar cualquier efecto cuando llega a estar en contacto con el agua. Las piedras chancadas o bolones de río de mayor dimensión, se colocan en esta base (7).

Cuando las áreas son extensas, se recomienda colocar tuberías de PVC de 110 mm de diámetro aproximadamente en forma vertical en el interior de la estructura del lombrifiltro para facilitar la aireación y evitar procesos anaerobios. La altura del tubo debe exceder en 20 cm a partir del estrato del humus. La parte de la tubería que está entre los estratos deben tener perforaciones con orificios de 10 mm a distancia de 20 cm (7).

### 2.2.9.2 Parámetros de Diseño del Lombrifiltro

Cuando nos referimos al diseño, nos referimos al área en metros cuadrados que se requiere para remover los contaminantes de un determinado volumen de aguas residuales y en un periodo de tiempo. Asimismo, se considera la cantidad de materia orgánica que podría ingresar al sistema y la cantidad de lombrices necesarios para transformar la materia orgánica en humus y en biomasa. El caudal de ingreso, en teoría, que se considera ideal para mitigar la muerte de las lombrices por falta de oxígeno o exceso de humedad, corresponde a  $1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$  (7). Cabe mencionar que existe influencia de otros parámetros como la temperatura, humedad, pH, cloro, etc. Se recomienda evaluar la reducción de contaminantes a través del lombrifiltro considerando estos y muchos parámetros para mejorar la remoción y evitar la muerte de las lombrices.

### 2.2.9.3 Ventajas y Desventajas del Lombrifiltro

Según Salazar (7), las principales ventajas se mencionan a continuación:

- A través del sistema Tohá no se generan fangos inestables.
- El principal estrato de filtro no se impermeabiliza. Esta característica es debido a la actividad de las lombrices que, mediante los movimientos constantes, crean espacios vacíos asegurando que el estrato se mantenga permeable. Todos los restos orgánicos que se retienen en el estrato de aserrín son consumidos por las lombrices.
- El diseño del sistema es sencillo, ya que no hay variación en las alturas de los estratos, solo el área o variación de estratos mediante diferentes módulos.

- Se considera que el tratamiento de las aguas residuales a través del sistema Tohá es ecológico, porque no se requiere de productos químicos para la implementación y operación. El consumo de energía eléctrica es en casos donde se realiza el tratamiento por bombeo.
- Se considera eficiente, porque a través del sistema se logra la remoción de hasta el 95% de DBO y sólidos suspendidos. Los espacios necesarios para la instalación son reducidos, para el tratamiento de aguas residuales domésticas de 10 a 15 personas, se necesita un área de 1 m<sup>2</sup> de lombrifiltro.
- La operación es muy sencilla debido a que solo se tiene que retirar los humus producidos por las lombrices durante un tiempo prudente. Asimismo, esto sirve como abono orgánico para usar en las plantas de tallos altos.
- En las plantas de tratamiento de este tipo, los malos olores no son tan fuertes.
- Los residuos generados a partir del tratamiento del agua residual son aprovechables, o sea, el humus generado y que es apto para el uso en la agricultura, no daña las tierras a diferencia de los fertilizantes químicos.

Entre las desventajas del lombrifiltro se señalan las siguientes:

- Cuando la temperatura del ambiente es muy baja, las lombrices reducen su actividad en el aprovechamiento de la materia orgánica y disminuye la multiplicación de este.
- En grandes instalaciones es necesario algunos movimientos temporales para mejorar la aireación.

- Se requiere la incorporación de aserrín cada cuatro a cinco meses para que las bondades en el tratamiento se mantengan constante.

### 2.3 Definición de Términos Básicos

**Caudal:** es el tiempo que tarda en llenar el agua en un recipiente de volumen conocido, donde la unidad de medida puede ser en litros/segundo o mililitros/segundo **(14)**.

**Aguas residuales:** es cuando se ha modificado las características físicas, químicas y biológicas del agua, mediante actividades antrópicas, incorporando materiales o sustancias que provoquen impactos negativos y perjudiciales para el ambiente; así como por acciones naturales **(15)**.

**Aguas residuales domésticas:** son las aguas que provienen de las actividades en el hogar, lavado de utensilios en la cocina, lavado de ropas, aseo persona, aguas del inodoro, etc. Se caracteriza por ser residuos líquidos humanos que, en algunos casos es conducido mediante redes de alcantarillado y otros son tratados mediante proceso anaerobios en el hogar. Las aguas residuales que se generan de las actividades comerciales públicas también son consideradas como aguas residuales domésticas **(15)**.

**Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para el proceso de oxidación de la materia orgánica de una muestra del agua, este proceso es aerobio en el cual se generan reacciones bioquímicas **(16)**.

**Demanda Bioquímica de oxígenos en 5 días (DBO<sub>5</sub>):** es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la descomposición de la materia orgánica en un periodo de 5 días a 20°C.



**Demanda química de oxígeno (DQO):** “es el volumen del oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible a oxidación al dicromato o permanganato en medio ácido” (16).

**Temperatura ambiental:** nivel de calor o frío que se encuentra el ambiente del aire y los cuerpos, en una oscilación que fluctúa entre dos extremos, necesariamente se denominan caliente y frío. También se puede definir como la unidad de medida del movimiento molecular o el grado de calor o frío de una sustancia (17).

**Temperatura diurna:** es la temperatura del ambiente promedio de las 12 horas en un día.

**Temperatura nocturna:** es la temperatura del ambiente promedio de las 12 horas en una noche.

**Condiciones meteorológicas:** es el estado del tiempo de un lugar en específico, el medio atmosférico y los fenómenos allí producidos (temperatura, humedad, presión, velocidad del viento, etc.). (18).

**Remoción en la DBO y DQO:** eliminación o separación de la materia orgánica de las aguas residuales domésticas para reducir la demanda química y bioquímica como parámetros de medición.

**Lombrifiltro:** es un sistema aerobio dinámico que está conformado por estratos de filtros naturales (aserrín, grava y bolones de piedra) y lombrices; a través del cual, en forma vertical, pasa las aguas residuales para el tratamiento (7).

**Estratos:** se conoce como estrato a las capas de filtros colocados en forma vertical para el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

***Eisenia Foetida:*** es la lombriz de tierra que pertenece a la familia de *phylim* de los anélidos de la clase de los oligoquetos. Tiene un cuerpo alargado cilíndrico

formado por 96 anillos y son invertebrados. Mide aproximadamente 8 cm. y su peso está entre 0,4 a 0,6 gramos (7).

**Sistema piloto:** es un trabajo en el que se prueba las ideas nuevas en un determinado tiempo mediante el uso de procesos y herramientas para resolver un determinado problema (19).

## CAPÍTULO III:

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Método y Alcance de la Investigación

##### 3.1.1 *Método de la Investigación*

El método de investigación es hipotético-deductivo **(20)**, porque a partir del planteamiento del problema y el marco teórico se crea las hipótesis. El método de investigación hipotético-deductivo, “es un método que consiste en emitir hipótesis acerca de las posibles soluciones al problema planteado y en comprobar con los datos disponibles si estos están de acuerdo con aquéllas” **(20)**. Asimismo, manipulando la variable independiente (parámetros del lombrifiltro) se determina la influencia en la variable dependiente (remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO).

##### 3.1.2 *Delimitaciones*

###### ➤ Delimitación espacial

La investigación se realizó a escala piloto en una vivienda de la zona periurbana del distrito de Santiago, provincia Cusco, región Cusco. La ubicación corresponde a las siguientes coordenadas UTM: Este 179849,75; Norte 8501433,67; Zona 19L y altitud: 3,350 m.s.n.m.

###### ➤ Delimitación temporal

La investigación se realizó entre los meses de septiembre a noviembre del año 2021. La evaluación del lombrifiltro se realizó durante dos meses (octubre y noviembre) del mismo año.

### **3.1.3 Alcances de la Investigación**

#### **3.1.3.1 Tipo de Investigación**

La investigación es aplicada (21), porque utiliza estudios teóricos sobre la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro y esto es aplicada en las zonas rurales de la provincia de Cusco, en el cual se evaluó la influencia del lombrifiltro en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO, y de esta manera generar nuevos conocimientos en el área.

#### **3.1.3.2 Nivel de Investigación**

La investigación es de nivel explicativo (22), porque tiene como finalidad responder las causas generadas por la influencia de la variable independiente (Caudal y temperatura) en la variable dependiente (DBO<sub>5</sub> y DQO) a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco.

### **3.2 Diseño de la Investigación**

El diseño de la investigación es experimental (22), ya que se manipula la variable independiente (parámetros del lombrifiltro: caudal y temperaturas del proceso) como una posible causa sobre la consecuencia de la variable independiente (remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO) a través del lombrifiltro.

Se empleó el diseño factorial de 2<sup>2</sup> (dos factores y dos niveles) para obtener cuatro tratamientos como resultado (23).

En la tabla 4 se describe los 4 tratamientos para cada parámetro de respuesta, obteniendo 8 resultados. T1 y T2, son las temperaturas diurna y nocturna; M2, M3, M4 y M5 son los códigos de respuesta de los cuatro tratamientos.

**Tabla 4***Tratamiento del diseño de investigación*

	Caudal (ml /min)	T° C	Respuesta (remoción de la DBO <sub>5</sub> , DQO)
Nivel 1	50	T1	M2
	150	T1	M3
Nivel 2	50	T2	M4
	150	T2	M5

Fuente: elaboración propia

### 3.3 Procedimiento Experimental

#### 3.3.1 *Determinación del Caudal que Influye en la Remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO de las Aguas Residuales Domésticas a Través del Lombrifiltro.*

Los procedimientos para determinar la influencia del caudal en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de las aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco se describe a continuación.

##### 3.3.1.1 **Captación y Almacenamiento de las Aguas Residuales Domésticas**

La captación de las aguas residuales domésticas se realizó de una vivienda ubicada en la zona periurbana de la provincia de Cusco. Posteriormente se instaló una tubería de media pulgada en la salida de las aguas residuales procedentes del aseo personal (lavado de manos y ducha), lavado de ropas y utensilios de la cocina. Estas aguas residuales domésticas fueron conducidas a un recipiente de almacenamiento con un volumen de 100 litros para

posteriormente alimentar al lombrifiltro. La ubicación geográfica corresponde a las siguientes coordenadas UTM: Este 179849,75; Norte 8501433,67; Zona 19L y altitud: 3,350 m.s.n.m.

### **3.3.1.2 Adaptación de las Lombrices**

La etapa de la adaptación de las lombrices se realizó en un periodo de 7 días.

En un recipiente de 20cm de largo, 20 cm de ancho y 3 cm de altura se colocó 200 lombrices de la especie *Eisenia Foetida*, el que contuvo humus y al cual se le introdujo aguas residuales domésticas con la finalidad de que las lombrices empiecen a consumir la materia orgánica contenida. Una vez pasado los 7 días, se trasladó al sistema lombrifiltro para el inicio de la operación.

- Materiales
  - Humus
  - Lombrices (*Eisenia Foetida*)
  - Aguas residuales domésticas
  - Recipiente de 20x20x3 cm

### **3.3.1.3 Control y Medición de Caudal**

Para realizar el control y medición del caudal de entrada al lombrifiltro se hizo un agujero en la base del recipiente de almacenamiento de las aguas residuales domésticas y se instaló una tubería de ½ pulgada. En esta línea de tubería se coloca una válvula para controlar el caudal, seguidamente se coloca una tee para instalar una pileta en una de las salidas donde se mide el caudal de ingreso al lombrifiltro. La otra salida de tee continua hacia el lombrifiltro donde se coloca otra válvula que controla y facilita la medición de caudal en la pileta.

La entrada de las aguas residuales domésticas al lombrifiltro es continuo durante las 24 horas a caudal controlado. Durante un periodo de 7 días se controló a caudal de 50mL/min, posteriormente se incrementó a 150mL/min por un tiempo de 4 días.

#### **3.3.1.4 Construcción del Lombrifiltro**

A partir del recipiente de almacenamiento de 100 litros, las aguas residuales domésticas ingresan por una tubería de ½ pulgada al lombrifiltro que está construido como sigue: Los estratos filtrantes están colocados verticalmente por las siguientes alturas: 2 cm de humus (donde estará ubicado 200 lombrices), aserrín 25 cm, carbón de madera 25 cm, grava 20 cm y 15 cm de piedra chancada. El área está conformada por 20 cm de ancho y 40 cm de largo. La estructura del lombrifiltro es de vidrio. En la parte inferior del lombrifiltro está colocada una tubería de salida de agua. Asimismo, la base de la estructura tiene una pendiente de 1% aproximadamente para facilitar la salida del agua. Cabe mencionar que el presente trabajo se realiza a escala piloto.

- Materiales:
  - Vidrio con espesor de 5mm
  - Silicona
  - Tubo ¾
  - Reducción de ¾ a ½
  - Pileta de agua
  - Tee y codo de ½
  - Llave de paso
  - Unión simple y universal
  - Cinta teflón
  - Pegamento
  - Humus con 200 lombrices
  - Aserrín
  - Carbón de madera
  - Grava

- Piedra chancada

### 3.3.1.5 Muestreo de las Aguas Residuales Doméstica Inicial

El muestreo de las aguas residuales domésticas se realiza en la pileta colocada antes de la entrada al lombrifiltro con la finalidad de determinar la DBO<sub>5</sub> y DQO inicial y comparar con los límites máximos permisibles emitidos por el ministerio del ambiente. Una vez realizado el muestreo, se envió al laboratorio para el análisis respectivo. Esta muestra es identificada con código M1.

### 3.3.1.6 Muestreo de las Aguas Residuales Domésticas en el Efluente del Lombrifiltro

Para realizar el muestreo de las aguas residuales doméstica en el efluente del lombrifiltro, se instaló una tubería de ½ pulgada. Las 4 muestras son identificadas mediante los códigos M2, M3, M4 y M5.

**Tabla 5**

*Muestreo y recolección de datos*

Código de muestra	Caudal (ml/min)	Temperatura (°C)	Hora de muestro	Día / Noche	Volumen de la muestra (ml)
M2	50	T1	16:00	Día	500
M3	50	T2	4:00	Noche	500
M4	150	T1	16:00	Día	500
M5	150	T2	04:00	Noche	500

Fuente: elaboración propia



En la tabla 5 se detalla los horarios de muestreo y recolección de datos, así como el volumen para la toma de muestra.

Las primeras muestras en el efluente del lombrifiltro se realizó en el día 7 cuando el caudal de entrada es 50mL/min, temperatura diurna y a 16:00 horas. Esta muestra es identificada con código M2. El siguiente muestreo identificada con código M3, se realizó a las 04:00 horas, a temperatura nocturna y caudal de 50mL/min.

Concluida con los dos primeros muestreos, se procedió a aumentar el caudal a 150mL/min por un periodo de 4 días. Cumplido los cuatro días se vuelve a realizar el muestreo en el afluente del lombrifiltro a caudal de 150mL/min, a temperatura diurna y 16:00 horas, muestra identificada con código M4. Finalmente se realiza el muestreo identificado con código M5 a caudal de 150mL/min, a temperatura nocturna y 04:00 horas.

#### **3.3.1.7 Análisis de las Muestras en Laboratorio**

Las muestras se enviaron al laboratorio instantáneamente para el respectivo procesamiento y de esta manera obtener resultados con mayor precisión.

#### **3.3.1.8 Tratamiento de los Datos**

Los datos obtenidos del análisis en el laboratorio se procesaron mediante el método estadístico de análisis de varianza de dos factores con dos niveles para comprobar la hipótesis planteada. De esta manera se podrá confirmar o rechazar las hipótesis.

### 3.3.2 *Influencia de las Temperaturas Diurna y Nocturna en la Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de las Aguas Residuales Domésticas a Través del Lombrifiltro.*

Los procedimientos para evaluar la influencia de las temperaturas diurna y nocturna en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de las aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco, se describe a continuación.

#### 3.3.2.1 **Monitoreo de las Temperaturas Diurna y Nocturna**

El monitoreo de las temperaturas diurna y nocturna se realizó desde el momento que las lombrices entran en la etapa de la adaptación.

Se colocó un termómetro ambiental donde está instalado el lombrifiltro piloto para tomar datos de temperatura en el horario 16:00 y 04:00 diariamente. Estos horarios se escogieron después de observar el comportamiento de la temperatura diurna y nocturna durante una semana.

Los datos obtenidos del termómetro ambiental colocada cerca al lombrifiltro, se comparan con los datos de la estación meteorológica de SENAMHI ubicado en el distrito de San Jerónimo de la provincia de Cusco.

**Tabla 6**

*Cuadro para el monitoreo de las temperaturas diurna y nocturna*

fecha	Monitoreo en lombrifiltro		Datos de SENAMHI	
	Temperatura (°C)		Temperatura (°C)	
	Diurna	Nocturna	Max	Min
hora de muestro (16:00 horas)	hora de muestreo (4:00 horas)			
22/10/2021	x1	y1	t1	z1
23/10/2021	x2	y2	t2	z2
24/10/2021	x3	y3	t3	z3
25/10/2021	x4	y4	t4	z4
26/10/2021	x5	y5	t5	z5

27/10/2021	x6	y6	t6	z6
28/10/2021	x7	y7	t7	z7
29/10/2021	x8	y8	t8	z8
30/10/2021	x9	y9	t9	z9
31/10/2021	x10	y10	t10	z10
01/11/2021	x11	y11	t11	z11
02/11/2021	x12	y12	t12	z12
03/11/2021	x13	y13	t13	z13
04/11/2021	x14	y14	t14	z14
05/11/2021	x15	y15	t15	z15
06/11/2021	x16	y16	t16	z16
07/11/2021	x17	y17	t17	z17

Fuente: elaboración propia

La tabla 6 muestra un formato para el monitoreo diario, diurna y nocturna, que se hace desde el 22 de octubre de 2021 hasta el 07 de noviembre de 2021. De igual modo, se muestra las columnas donde se recopilaban los datos de temperatura máxima y mínima de servicio nacional de meteorología e hidrología (Senamhi).

### 3.3.2.2 Determinación de las Temperaturas del Proceso (diurna y nocturna)

De las 17 fechas de monitoreo de las temperaturas se determina el promedio de cada uno de ellos. De esta manera se obtiene un promedio de temperatura diurna monitoreado a las 16:00 horas y un promedio de temperatura nocturna monitoreado a las 04:00 horas. Asimismo, se determina los promedios de las temperaturas máximas y mínimas de Senamhi.

Los promedios de las temperaturas diurna y nocturna son los datos que se usan durante el muestreo de M2, M3, M4 y M5. El promedio de la temperatura diurna es identificado como T1 y el promedio de la temperatura nocturna es identificada como T2.

### 3.3.2.3 Tratamiento de los Datos

Para determinar la influencia de las temperaturas diurna y nocturna en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de aguas residuales a través del lombrifiltro se calcula la diferencia de los resultados de la muestra M2 a T1 y M3 a T2 que corresponde a caudal de 50mL/min. Asimismo, se calcula la diferencia de los resultados de la muestra M4 a T1 y M5 a T2 que corresponde a 150mL/min. Estos resultados son procesados a través del método estadístico análisis de varianza para confirmar o rechazar la hipótesis planteada.

### 3.3.3 *Determinación del Porcentaje de Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de las aguas residuales domésticas a Través del Lombrifiltro.*

Para determinar el porcentaje en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de las aguas residuales a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco, se calculó la diferencia del resultado de la muestra M1 con los resultados de las muestras M2, M3, M4 y M5. Luego, mediante la expresión matemática mostrada a continuación, se determinó el porcentaje de remoción.

Porcentaje de remoción (%)	=	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%; padding: 5px;">Cantidad en la remoción de los experimentos (M2, M3, M4, y M5)</td> <td style="width: 20%; text-align: center; padding: 5px;">100 %</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center; padding: 5px;">[ Resultados de la muestra M1 ]</td> </tr> </table>	Cantidad en la remoción de los experimentos (M2, M3, M4, y M5)	100 %	[ Resultados de la muestra M1 ]	
Cantidad en la remoción de los experimentos (M2, M3, M4, y M5)	100 %					
[ Resultados de la muestra M1 ]						

Fuente: elaboración propia

### **3.4 Población y Muestra**

#### **3.4.1 Población**

La población está representada por el volumen de las aguas residuales domésticas que se generó de una vivienda durante las 24 horas del día en las zonas rural de la provincia de Cusco.

#### **3.4.2 Muestra**

La muestra está representada por el volumen de las aguas residuales domésticas de una vivienda recopilada diariamente desde las 7:00 a.m. hasta las 11:00 a.m. en un recipiente de 100 litros durante el periodo de evaluación.

### **3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.**

#### **3.5.1 Técnicas de Recolección de Datos**

En el presente trabajo de investigación se empleó la técnica de medición y registro de datos. Asimismo, se tuvo como referencia y guía el “protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales” propuesto por el Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (24).

#### **3.5.2 Instrumentos de Recolección de Datos**

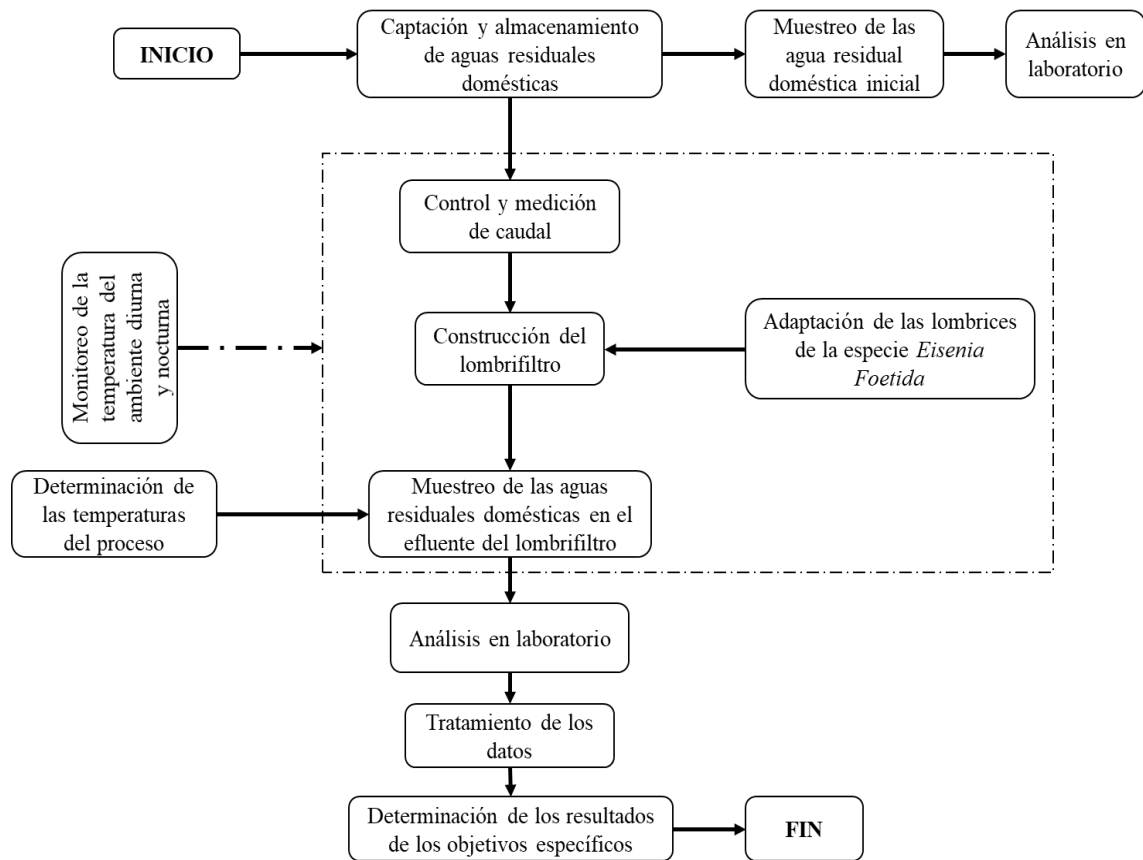
Los instrumentos que se utilizaron para la recolección de datos son: un termómetro ambiental para medir y registrar la temperatura del ambiente diurna y nocturna durante el proceso de adaptación y experimento de la investigación. Se empleó frascos de vidrio de 500mL y cooler de 20 litros para el muestreo de las aguas residuales proveniente de una vivienda que se almacenó diariamente

en el recipiente de 100 litros. Estas mismas herramientas fueron usadas para el muestreo de agua en el afluente del lombrifiltro. Asimismo, se usó la cámara de celular, una laptop y fichas de registro de campo.

Para el registro de los datos y su procesamiento respectivo se utilizó el programa Microsoft office (Excel 2016).

**figura 7**

*Flujograma de trabajo de investigación*



Fuente: elaboración propia

## CAPÍTULO IV:

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1 Resultados del Tratamiento y Análisis de la Información

##### 4.1.1 Caudal que Influye en la Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de Aguas Residuales Domésticas a Través del Lombrifiltro

En la tabla 6 se muestra los límites máximos permisibles emitido por el Ministerio del ambiente mediante el DS N°003-2010-MINAM y los resultados de análisis de los parámetros fisicoquímicos de la muestra de las aguas residuales domésticas sin tratamiento o muestreado antes del ingreso al lombrifiltro. Como se puede observar, la muestra con código M1 supera los límites máximos permisibles.

**Tabla 6**

*Resultado de análisis de los parámetros fisicoquímicas de la muestra de las aguas residuales domésticas sin tratamiento.*

PARÁMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	CÓDIGO DE MUESTRA	Límites máximos permisibles, DS N° 003-2010-MINAM
		M1	LMP
Aceites y grasas	mg/L	22	20
Oxígeno disuelto	mg/L	1,7	-
<b>Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	<b>mg/L</b>	<b>112,6</b>	<b>100</b>
<b>Demanda química de oxígeno</b>	<b>mg/L</b>	<b>224</b>	<b>200</b>
pH	unidad	6,3	6,5 – 8,5
Sólidos totales en suspensión	ml/L	490	150

Fuente: elaboración propia

En la tabla 7, se muestra los resultados de análisis en laboratorio en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de las aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro con caudales de 50mL/min y 150mL/min muestreado a las 16:00



horas en el día cuando la temperatura es 21°C y 04:00 horas en la noche cuando la temperatura es 7°C.

Los resultados de la DBO<sub>5</sub> y DQO de las muestras M2, M3, M4 y M5, se redujeron de manera significativa en comparación con la muestra M1.

**Tabla 7**

*Cuadro de resultados en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO*

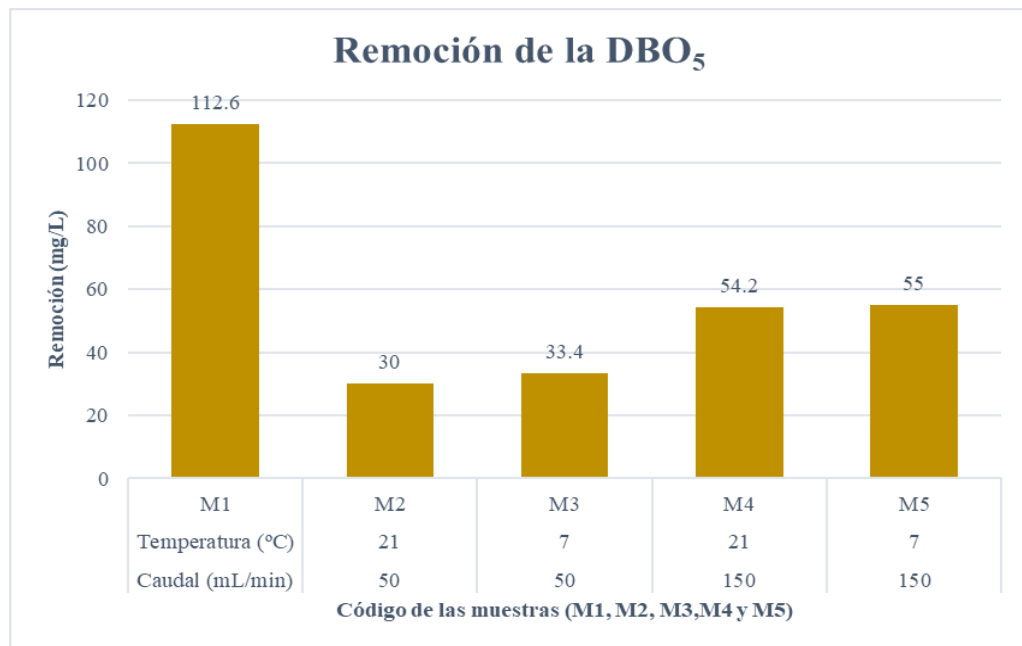
Código de muestra	Caudal (ml/min)	Temperatura (°C)	Hora de muestreo	Día / Noche	Muestra (mL)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DQO (mg/L)
M2	50	21	16:00	Día	500	30	35
M3	50	7	04:00	Noche	500	33,4	40
M4	150	21	16:00	Día	500	54,2	52
M5	150	7	04:00	Noche	500	55	56

Fuente: elaboración propia

En la figura 8 se puede observar gráficamente la remoción de la DBO<sub>5</sub> de las aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro. El gráfico contiene los resultados de las muestras M1, M2, M3, M4 y M5 detallados en la tabla 6 y la tabla 7. También en las muestras con código M2 y M3 correspondientes a caudal de 50mL/min se observa que la remoción se logró hasta 30mg/L de DBO<sub>5</sub> a 21°C de temperatura y 33,4mg/L de DBO<sub>5</sub> a 7°C de temperatura. Cabe mencionar que estos datos son los mejores resultados en la remoción de la DBO<sub>5</sub> de las aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco.

**Figura 8**

*Gráfico en la remoción de la DBO<sub>5</sub>*

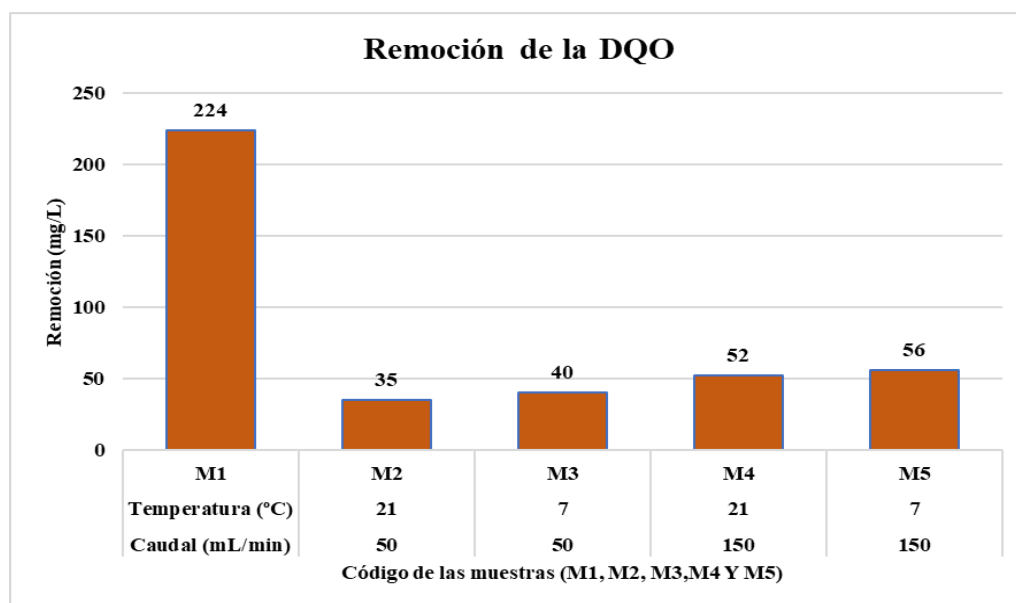


Fuente: elaboración propia

En la figura 9 se muestra gráficamente la remoción de la DQO de las aguas residuales a través del lombrifiltro. Las muestras con código M4 y M5 correspondientes al caudal de 50mL/min se puede observar que se logró la remoción hasta 35mg/L de DQO a 21°C y 40mg/L de DQO a 7°C de temperatura. De la misma manera, se observa que a 150mL/min la remoción es menor, logrando hasta 52mg/L de DQO a 21°C de temperatura.

**Figura 9**

*Gráfico en la remoción de la DQO*

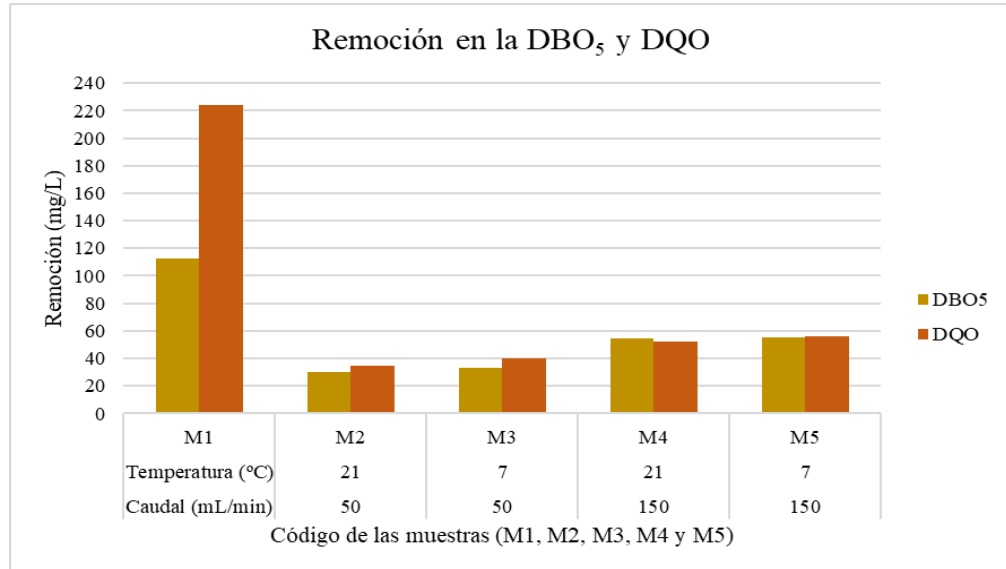


Fuente: elaboración propia

En la figura 10 se observa la comparación entre los resultados de la remoción de la DBO<sub>5</sub> y de la DQO de las aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro, además se puede observar que en la muestra M1, los resultados de la DQO es 224 mg/L y después de la remoción a caudal de 50mL/min y temperatura de 21°C se logró reducir hasta los 35mL/min. En cambio, para la DBO<sub>5</sub> los resultados de la muestra M1 es de 112.6 mg/L y después de la remoción a 50mL/min de caudal y 21°C de temperatura se logró reducir hasta 30 mg/L. por tanto, con estos resultados se observa que la remoción es mayor en la DQO de las aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco.

**Figura 10**

*Gráfico de comparación en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO*



fuelle: elaboración propia

#### 4.1.1.1 Prueba de Hipótesis

En la presente investigación se plantea la hipótesis de la siguiente manera “El caudal que influye de manera significativa en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de las aguas residuales doméstica a través del lombrifiltro es 50mL/min.

Para comprobar la hipótesis planteada, se procedió a realizar el análisis de varianza con su respectiva significancia bilateral.

Análisis de varianza:

Las hipótesis estadísticas son:

**H<sub>0</sub>**: El caudal que influye de manera significativa en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO no es 50mL/min

**H<sub>1</sub>**: El caudal que influye de manera significativa en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO es 50mL/min

En la tabla 8 se muestra un p-valor de 0,00079 el que es menor a 0,05, con lo cual se concluye que, se rechaza la hipótesis nula, de tal manera afirmamos que el caudal que influye de manera significativa es 50mL/min.

**Tabla 8**

*Análisis de varianza para determinar la influencia del caudal y las temperaturas en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO*

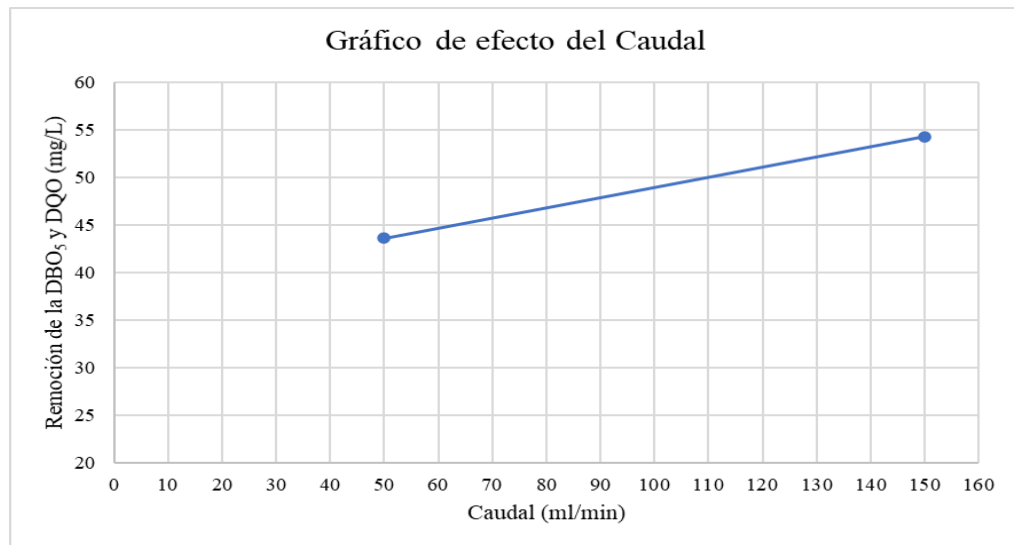
Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Cuadrados medios	Fo	p-valor	F critico
Efecto del Caudal	776,18	1	776,18	83,4602	0,00079666	7,70864742
Efecto de la Temperatura	21,78	1	21,78	2,3419	0,20067838	7,70864742
efecto de la interacción	1,62	1	1,62	0,1742	0,6978397	7,70864742
Error	37,20	4	9,3			
Total	836,78	7				

Fuente: elaboración propia

En la figura 11 se modela la influencia del caudal en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de las aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro, se puede observar que la influencia es significativa. Por lo que se puede decir que, cuando el caudal es menor, mayor es la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO.

**Figura 11**

*Gráfico de influencia del caudal en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO*



Fuente: elaboración propia

#### ***4.1.2 Influencia de las Temperaturas Diurna y Nocturna en la Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de Aguas Residuales Domésticas a Través del Lombrifiltro***

Los resultados de monitoreo de las temperaturas diurna y nocturna, así como los datos de temperatura máxima y mínima de Senamhi se muestran en la tabla N°9. Asimismo, se puede observar el promedio de la temperatura diurna que es 21°C y el promedio de la temperatura nocturna que es 7°C. Los dos promedios corresponden al monitoreo diario que se hizo en el lombrifiltro con un termómetro ambiental.

**Tabla 9***Cuadro de resultados de monitoreo de temperatura*

Monitoreo en lombrifiltro			Datos de SENAMHI	
fecha	Temperatura (°C)		Temperatura (°C)	
	promedio diurno	promedio nocturno	Max	Min
22/10/2021	20	7	23.1	4.2
23/10/2021	22	4	24.2	3.2
24/10/2021	23	8	25.5	4.3
25/10/2021	19	7	21.2	7.5
26/10/2021	20	6	22.5	5.2
27/10/2021	20	8	22.4	6.5
28/10/2021	22	7	23.9	6.8
29/10/2021	18	8	21.2	7.5
30/10/2021	19	4	23.6	4
31/10/2021	20	7	24.5	5.5
01/11/2021	19	7	18.5	5.5
02/11/2021	20	6	20.2	5.4
03/11/2021	20	7	21.2	8.4
04/11/2021	20	8	21	8.5
05/11/2021	21	7	21.2	6.8
06/11/2021	21	6	22.8	5
07/11/2021	22	6	23.2	5.5
promedio	21	7	22.36	5.87

Fuente: elaboración propia

Los resultados en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de las aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro por efecto de las temperaturas diurna y nocturna se muestra en la tabla 10. Cuando la temperatura descendió de 21°C a 7°C la remoción disminuyó en 3,4 mg/L de DBO<sub>5</sub> y 5mg/L de DQO a caudal de 50mL/min. De igual forma, para 150mL/min la remoción disminuyó en 0,8 mg/L de DBO<sub>5</sub> y 4mg/L de DQO.

**Tabla 10***Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO por efectos de las temperaturas*

CAUDAL (mL/min)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DQO (mg/L)
50	3,4	5
150	0,8	4

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con los resultados se puede afirmar que la influencia de las temperaturas diurna y nocturna en la remoción de la DBO y DQO de las aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco, es mínima o no es significativa. Para comprobar lo mencionado se realiza la prueba de hipótesis.

#### 4.1.2.1 Prueba de Hipótesis

En el presente trabajo de investigación la hipótesis se plantea de la siguiente manera: “La temperatura diurna incrementa la remoción y la temperatura nocturna disminuye la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en la provincia de Cusco”.

Para comprobar la hipótesis planteada, se procedió a realizar el análisis de varianza con su respectiva significancia bilateral.

Análisis de varianza:

Las hipótesis estadísticas son:

**H<sub>0</sub>**: Las temperaturas diurna y nocturna no influyen en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO

**H<sub>1</sub>**: Las temperaturas diurna y nocturna influyen en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO

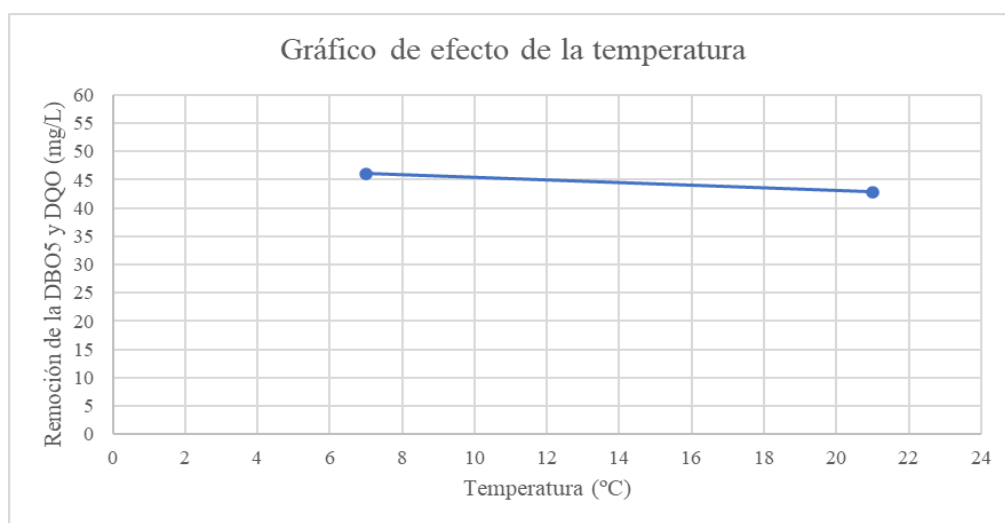


En la tabla 8 se muestra un p-valor de 0,2006 el que es mayor a 0,05, lo que lleva a aceptar la hipótesis nula, de tal manera que, afirmamos que las temperaturas diurna y nocturna no tienen efecto en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco.

En la figura 12 se muestra gráficamente el efecto de la temperatura en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO, se puede observar que hay una mínima influencia en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y de la DQO, por tal razón el análisis de varianza resulto sin efecto.

### Figura 12

*Efecto de las temperaturas diurna y nocturna en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO*

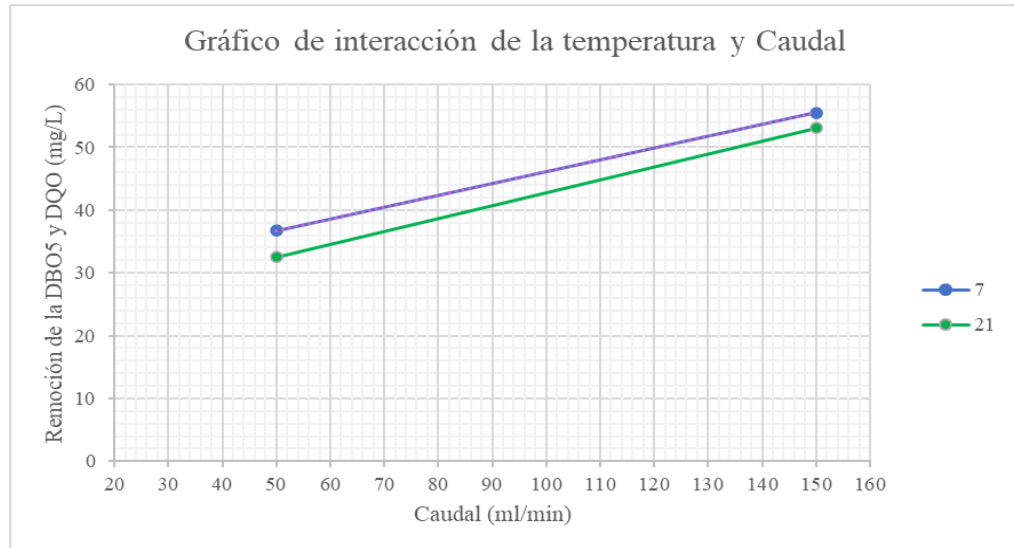


Fuente: elaboración propia

En la figura 13 se muestra una gráfica complementaria de la interacción de la temperatura y en caudal en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de las aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro. Como se puede ver las líneas son paralelas y quiere decir que no existe interacción.

**Figura 13**

*Gráfico de interacción de la temperatura y caudal en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO*



Fuente: elaboración propia

#### **4.1.3 Porcentaje de Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de las aguas residuales domésticas a Través del Lombrifiltro**

En la tabla 11 se muestra los resultados en mg/L y porcentajes de los cuatro experimentos. De todas las muestras, se observa que la muestra con código M2 presenta mayor remoción en la DBO<sub>5</sub>, así como en la DQO. Este valor es el resultado del muestreo que se hizo cuando el caudal era 50mL/min y 21°C de temperatura diurna.

**Tabla 11***Cantidad en mg/L y porcentaje en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO*

Código de muestra	DBO <sub>5</sub>		DQO	
	mg/L	Porcentaje (%)	mg/L	Porcentaje (%)
M2	82,6	73,36	189	84,38
M3	79,2	70,34	184	82,14
M4	58,4	51,87	172	76,79
M5	57,6	51,15	168	75,00

Fuente: elaboración propia

**4.1.3.1 Prueba de Hipótesis**

En la presente investigación se plantea la hipótesis de la siguiente manera: “El porcentaje de remoción en la DBO<sub>5</sub> es 90% y DQO es 95% de las aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco”.

Las hipótesis alterna y nula se plantean de la siguiente manera:

**H<sub>0</sub>**: el porcentaje de remoción en la DBO y DQO no llega al 90% y 95% respectivamente.

**H<sub>1</sub>**: el porcentaje de remoción en la DBO y DQO llega al 90% y 95% respectivamente.

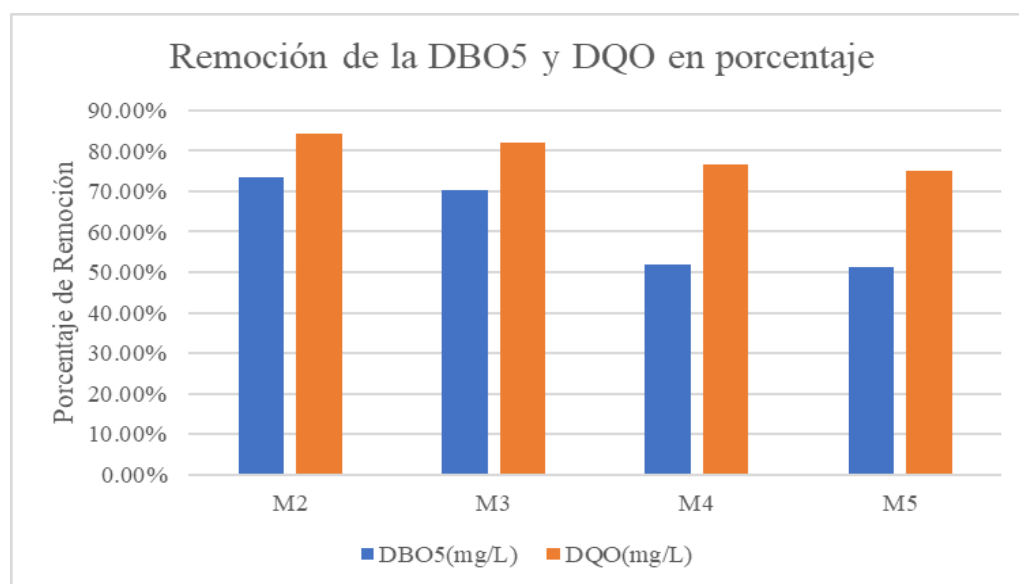
En este caso, mediante los resultados de la tabla 11 se puede comprobar que la remoción en la DBO<sub>5</sub> y DQO no llegó al 90% y 95% respectivamente,

por tanto, se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula. Sin embargo, cabe mencionar que el mayor porcentaje en la remoción de la  $DBO_5$  es 73,36% y la DQO es 84,37%.

En la figura 14 se puede observar la gráfica del porcentaje en la remoción de la  $DBO_5$  y DQO de los cuatro experimentos.

**Figura 14**

*Gráfico del porcentaje en la remoción de la  $DBO_5$  y DQO*



Fuente: elaboración propia

## 4.2 Discusión de Resultados

### 4.2.1 *Influencia del Caudal en la Remoción de la $DBO_5$ y DQO de Aguas Residuales Doméstica a Través del Lombrifiltro*

Los resultados obtenidos en la presente investigación señalan que el caudal que influencia en la remoción de la  $DBO_5$  y DQO de las aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco es de 50mL/min. Se podría considerar que la humedad del lombrifiltro a caudal mencionado es óptimo y por tanto permite aumentar la actividad de las

lombrices para mejorar la remoción. Asimismo, otro parámetro para tener en cuenta es el tiempo de retención hidráulica, ya que tardó 98 minutos en pasar por todos los estratos de filtros, lo que conlleva a pensar que ayuda en la oxigenación y retención de sólidos totales para mejorar la remoción. El pH y oxígeno también contribuyeron en la actividad de las lombrices; según el análisis de laboratorio, resultaron estar en los rangos óptimos para el pleno desarrollo de la vida de las lombrices. También se observó que a mayor caudal existe menor remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO. En este caso se considera que, el exceso de humedad afecta reduciendo la actividad de las lombrices. Asimismo, cuando el caudal es 150mL/min, el tiempo de retención hidráulica es 45 minutos, con estos datos se puede decir que no se logró retener los sólidos suspendidos y la oxigenación del agua.

Salazar (7), describió los resultados de las investigaciones que se realizaron en la Universidad de Chile por el doctor José Tohá, en el cual demuestra los óptimos resultados en la remoción de los parámetros fisicoquímicos a caudal 1m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día que equivale aproximadamente al mismo caudal de la presente investigación.

Reyes (9), en su experimento piloto sobre la eficiencia del aserrín y la fibra de coco utilizados como empaques para la remoción de contaminantes en Biofiltros para el tratamiento de aguas residuales, utilizó el caudal de 70 ml/min y obtuvo como resultado 82,37% en la remoción de contaminantes. La remoción de la DBO y DQO resultaron ser eficientes, sobre todo en el experimento con fibra de coco como empaque en la remoción.

Castillo & Chimbo (10), demuestran que a menor caudal y mayor tiempo de retención hidráulica, hay mayor remoción de la materia orgánica. Asimismo, cita el argumento de Manyuchi et al. 2019, en la cual aprueba los resultados del experimento del autor. La máxima eficiencia en la remoción de la DBO<sub>5</sub> fue al 50,90% con el caudal de 18mL/s. La remoción de la DQO tuvo el mismo resultado que la DBO<sub>5</sub> en porcentaje.

Sin embargo, se considera que 18ml/s es un caudal que necesita mayor área para el ingreso al lombrifiltro en forma dispersa, ya que, a menor área, generaría exceso de humedad disminuyendo la actividad de las lombrices o se podría decir muerte de estas (7). Como consecuencia se lograría baja remoción de contaminantes del agua residual.

#### ***4.2.2 Influencia de la Temperatura Diurna y Nocturna en la Remoción DBO<sub>5</sub> y DQO de Aguas Residuales Domésticas a Través del Lombrifiltro***

En el presente estudio se establece que la influencia de las temperaturas diurna y nocturna es poco significativa en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco. Sin embargo, se observó que las lombrices tienen mayor actividad durante el día, cuando hay incremento de la temperatura del ambiente. Durante el movimiento que realizaron las lombrices, no solamente aprovechaban el consumo de la materia orgánica proveniente del agua residual doméstica, sino también permitieron que ingrese el aire al estrado de filtro evitando que se genere malos olores o procesos anaeróbicos.

Para Salazar (7), la temperatura es uno de los parámetros importantes para mejorar la actividad de las lombrices y evitar su muerte, ya que a temperatura extremas (por debajo de los 5°C o encima de 35°C) no se generan las condiciones ideales para el tratamiento de aguas residuales. La autora recomienda que la temperatura del ambiente se encuentre entre los 15°C a 25°C, a estas condiciones tienden a multiplicarse rápidamente y mejora en la remoción de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales.

#### **4.2.3 *Porcentaje de Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO a Través del Lombrifiltro en las Zonas rurales de la Provincia de Cusco***

En la investigación, se obtuvo el 73,36% en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y 84,37% en la DQO de las aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco. Estos resultados se obtienen cuando el caudal de ingreso es 50mL/min y la temperatura del ambiente es de 21°C en un área de 0,08m<sup>2</sup>. Cuando el caudal de ingreso fue de 150mL/min, presentó menor remoción. Sin embargo, el resultado de los dos caudales se encuentra dentro de los límites máximos permisibles definidos por el ministerio del ambiente, lo que lleva a deducir que los resultados fueron óptimos.

En la investigación realizado por Saboya (11), demostró resultados en la remoción de la DBO<sub>5</sub> en 86% y DQO en 84% en la que se utilizó un caudal de 148.3mL/min. Asimismo, el área del sistema piloto fue de 0,112m<sup>2</sup>, área aproximadamente equivalente a 1m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día propuesto por el doctor José Tohá en la universidad de Chile.

Umasi (12), en la investigación presentada, expuso como resultado la eficiencia en la remoción en la DBO<sub>5</sub> el 88% y DQO el 86%. La mayoría de las investigaciones en la remoción de los parámetros fisicoquímicos a través del lombrifiltro a escala piloto, oscila entre el 70 – 95 por ciento. Se considera que las variaciones son por efecto de las condiciones ambientales de la zona.



### 4.3 CONCLUSIONES

- a) Se determinó que 50mL/min es el caudal que tiene mayor influencia en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de las aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco.
- b) Las temperaturas diurna y nocturna de la provincia de Cusco no tienen influencia significativa en la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco.
- c) El porcentaje de remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO de aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco es 73,36% y 84,37% respectivamente.

#### 4.4 RECOMENDACIONES

- a) Evaluar la remoción de los parámetros bacteriológicos y nutrientes de las aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro a las condiciones ambientales de la provincia de Cusco para una posible implementación en las comunidades rurales.
- b) Para las investigaciones a escala piloto, se recomienda usar aguas residuales que no presenten variaciones en los parámetros fisicoquímicos horarios o diarios porque esto podría afectar los resultados. Si fuera necesario, se recomienda simular aguas residuales domésticas.
- c) Ampliar el periodo de adaptación de las lombrices, ya que podría afectar la cantidad de contaminantes del agua residual, así como las condiciones en el que se encuentra sobre la actividad para mejorar la remoción.
- d) Evaluar con diferentes cantidades de lombrices usando el caudal de 50mL/min para mejorar la remoción.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **UNESCO.** *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. Aguas residuales, el recurso desaprovechado.* En español. Publicado en: [www.unwater.org](http://www.unwater.org) WWAP, 2017. ISBN 978-92-3-300058-2
2. **Minam.** *Plan nacional de acciones ambientales (PLANAA – PERÚ 2011-2021),* segunda edición. Publicado en Diario oficial el peruano. 2011.
3. **SUNASS.** *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento.* Segunda edición. Publicado en [www.sunass.gob.pe](http://www.sunass.gob.pe) 2016.
4. **OROZCO, A.** *Bioingeniería de aguas residuales, teoría y diseño.* Editor: Acodal. 2005
5. **METCALF Y EDDY.** *Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización.* Tercera edición. España, Editorial: Antonio García Brage. 1995. ISBN: 84-481-1727-1.
6. **Gerencia regional de vivienda, construcción y saneamiento (GRVCS).** *Plan regional de saneamiento 2021-2025.* Gobierno regional Cusco, 2021.
7. **SALAZAR, P.** *Sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales. (pregrado).* Chile. Universidad austral de Chile. 2005. Disponible en la página de AVF ingeniería ambiental.
8. **RAMÓN J., LEÓN J., y CASTILLO N.** *Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie *Eisenia foetida*.* Mutis. 2015. Vol. 5(1), disponible en la pagina de Mutis.
9. **REYES, J.** *Determinación de la eficiencia del aserrín y la fibra de coco utilizados como empaques para la remoción de contaminantes en Biofiltros para el tratamiento de aguas residuales.* Redalyc. 2016. Vol. 7(3). pp. 41-56. ISSN: 1390-6542. Disponible en la revista Enfoque UTE.

10. **CASTILO, J. y CHIMBO, J.** Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (*Eisenia foetida*) en aguas residuales domésticas para zonas rurales. Redalyc, 2021. Vol. 12(2), pp. 80-99. ISSN: 1390-6542 disponible en la revista Enfoque UTE.
11. **SABOYA, X.** Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas-Amazonas-Perú. Universidad peruana unión. 2018. Disponible en repositorio de la Universidad Peruana Unión.
12. **UMASI, E.** Evaluación de la eficiencia de un lombrifiltro (tres capas) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en el distrito de Cusipata-Cusco. Universidad peruana unión. 2020. Disponible en repositorio de la Universidad Peruana Unión.
13. **Organismo de evaluación y fiscalización ambiental (OEFA).** *Fiscalización en aguas residuales*. Ministerio del Ambiente. 2014.
14. Plataforma digital. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación FAO, **Medición del caudal, método volumétrico.** 1979. Disponible en <http://www.fao.org/3/t0848s/t0848s06.htm>.
15. **CUEVA, E.** El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible. Redalyc, 2012. Vol. 14(1), pp. 78-97. ISSN: 1405-8626. Disponible en Revista Quivera.
16. **S. R. Ramalho.** *Tratamiento de aguas residuales*. Segunda edición en español. Editorial reverté S. A. 1983.
17. **FRAUME, N.** *Diccionario ambiental*. Primera edición. Editorial Kimpres Ltda. 2007. ISBN: 978-958-648-462-9.
18. **HORACIO, E.** *Introducción a la meteorología general*. Facultad de ciencias astronómicas y geofísicas, Universidad nacional de la plata. 2014.
19. **GRIN.** Proyecto piloto, conceptos generales. 2017. Disponible en el enlace <https://www.grin.com/document/411853>.

20. **CEGARRA, J.** *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Ediciones Díaz de Santos. 2004. ISBN: 84-7978-624-8
21. **VARGAS, Z.** La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. Redalyc, 2009 Vol. 33(1), pp. 155-165. Disponible en Revista Educación.
22. **SAMPIERI, H.** *Metodología de la investigación*. Sexta edición. Editorial McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. 2014. ISBN: 978-1-4562-2396-0
23. **DOUGLAS C. MONTGOMERY.** *Diseño y análisis de experimentos*. 2da edición. Grupo noriega editores. 2004. ISBN: 968-18-6156-6 3.2
24. **Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.** Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. 2010. Disponible en plataforma digital de MVCS.
25. **Fundación Aquae**, 2021. Disponible en <https://www.fundacionaquae.org/eliminar-la-contaminacion-en-aguas-residuales/>
26. **Escuela posgrado de ingeniería y arquitectura**, 2020. Disponible en <https://postgradoingenieria.com/aguas-industriales-componentes-y-tratamientos/>
27. **DUNA**, El inicio de la investigación en aguas servidas santiaguinas para enfrentar el Covid-19. 2019. Disponible en <https://www.duna.cl/podcasts/el-inicio-de-la-investigacion-en-aguas-servidas-santiaguinas-para-enfrentar-el-covid-19/>
28. **Aguas residuales domésticas: Tipos y características**. 2017. Disponible en el enlace: <https://fosassepticas.online/aguas-residuales-domesticas/>
29. **GDA**. Recomendaciones para cuidar la higiene durante la cuarentena por el covid-19. 2020. *EN EL NACIONAL*.
30. **DS N°0003-2010-MINAM**. Límites máximos permisibles. 2010. Disponible en la plataforma digital del Minam.

31. **Vizcaíno, L. y Fuentes, N.** Efectos de *eisenia foetida* y *eichhornia crassipes* en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos. Redalyc, 2016. Vol. 19(1), pp 189-198. Disponible en: uniguajira.edu.co.
32. **Luciano, A.** Lombrifiltros, Alternativa Ecológica, No Convencional, para el Tratamiento de Aguas Residuales en Comunidades Non-Prasa de Puerto Rico. Universidad Politécnica de Puerto Rico. 2015.
33. **Edgardo J. y Reyes J.** Eficiencia de *lumbricus terrestris* y *eisenia foetida* en el tratamiento de las aguas residuales en la ciudad de Bagua-Amazonas. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. 2017.
34. **GALLEGOS, D.** “Evaluación del lombrifiltro como tratamiento primario del sistema de tratamiento de aguas residuales del proyecto manchay verde”. Lima-Perú. Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. 2019.

## **ANEXOS**

## Anexo 1. Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA					
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología	
Problema General:	Objetivo General:	Hipótesis General:	Variable Independiente:	Método:	
¿De qué manera influye el lombrifiltro en la remoción de la DBO5 y DQO de las aguas residuales domésticas en las zonas rurales de la provincia de Cusco?	Determinar la influencia del lombrifiltro en la remoción de la DBO5 y DQO de aguas residuales domésticas en las zonas rurales de la provincia de Cusco.	El lombrifiltro influye de manera significativa en la remoción de la DBO5 y DQO de aguas residuales domésticas en las zonas rurales de la provincia de Cusco.	Parámetros del Lombrifiltro (Caudal y Temperaturas del proceso)	hipotético-deductivo	
<b>Problema Específico:</b>	<b>Objetivos específicos:</b>	<b>Hipótesis específicas:</b>	<b>Variable Dependiente:</b>	<b>Tipo de investigación:</b>	
¿Cuál es el caudal que influye en la remoción de la DBO5 y DQO de aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en zonas rurales de la provincia de Cusco?	Determinar el caudal que influye en la remoción de DBO5 y DQO del agua residual doméstica a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco.	El caudal que influye de manera significativa en la remoción de la DBO5 y DQO de aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro, es 50ml/minuto.	Remoción de la DBO y DQO de aguas residuales domésticas	Aplicada	
¿Cuál es la influencia de las temperaturas diurna y nocturna en la remoción de la DBO5 y DQO de aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en zonas rurales de la provincia de Cusco?	Evaluar la influencia de las temperaturas diurna y nocturna en la remoción de la DBO5 y DQO de aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco.	La temperatura diurna incrementa en la remoción de la DBO5 y DQO y la temperatura nocturna disminuye en la remoción de la DBO5 y DQO de aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco.		Nivel de investigación: Explicativo	
¿Cuál es el porcentaje de remoción de la DBO5 y DQO a aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro en las zonas rurales de la provincia de Cusco?	Determinar el porcentaje de remoción de la DBO5 y DQO a través del lombrifiltro a las condiciones meteorológicas de las zonas rurales de la provincia de Cusco.	El porcentaje de remoción de la DBO5 es 90% y DQO es 95% de las aguas residuales domésticas a través del lombrifiltro a las zonas rurales de la provincia de Cusco.		Diseño de Investigación: Diseño factorial 2x2 completo	




## Anexo 2. Monitoreo de temperatura en el lombrifiltro y registro de temperaturas de Senamhi.

Monitoreo de Temperatura Diurna y Nocturna				
fecha	Temperatura (°C)		Temperatura (°C)	
	Diurna	Nocturna	Max Senamhi	Min Senamhi
	hora de muestro (16:00 horas)	hora de muestro (4:00 horas)		
22/10/2021	20	7	23.1	4.2
23/10/2021	22	4	24.2	3.2
24/10/2021	23	8	25.5	4.3
25/10/2021	19	7	21.2	7.5
26/10/2021	20	6	22.5	5.2
27/10/2021	20	8	22.4	6.5
28/10/2021	22	7	23.9	6.8
29/10/2021	18	8	27.2	7.5
30/10/2021	19	4	23.6	4.0
31/10/2021	20	7	24.5	5.5
01/11/2021	19	7	18.5	5.5
02/11/2021	20	6	20.2	5.4
03/11/2021	20	7	21.2	8.4
04/11/2021	20	8	27.0	8.5

05/17/2021	21	7	27.2	6.8
06/17/2021	21	6	22.8	5.0
07/11/2021	22	6	23.2	5.5

Anexo 3. Análisis de laboratorio de la muestra con código M1,



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
**LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES**  
**AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE**  
**RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776**

**INFORME N° LQ 0646-21**  
**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA RESIDUAL**

**SOLICITA :** Haysen Juvenal Arana Llashaq

**PROYECTO :** Evaluación del lombrifiltro en la remoción de la DQO y DBO de aguas residuales domésticas para las zonas rurales de la provincia de Cusco

**MUESTRA :** M1

**DISTRITO :** Santiago

**PROVINCIA :** Cusco

**DEPARTAMENTO :** Cusco

**FECHA DE INFORME :** 18/11/21

**RESULTADOS :**


DETERMINACIONES	UNIDAD	M1	LMP
Oxígeno Disuelto	mg/L	1.7	-
Aceites y Grasas	mg/L	22	20
Demanda Bioquímica de oxígeno DBOs	mg/L	112.6	100
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	224	200
pH		6.3	6.5 – 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	490	150

**MÉTODOS DE ANÁLISIS:** Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales publicado conjuntamente por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF).

**NOTA:** Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.




**MC QUIMICALAB**  
 Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
 ADMINISTRACIÓN  
 CIP. 238338



**MARIO CUMPA CAYURI**  
 INGENIERO QUÍMICO  
 REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 18108

## Anexo 4. Análisis de laboratorio de la muestra con código M2



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
 LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
 AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE  
 RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

**INFORME N° LQ 0647-21**  
**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA RESIDUAL**

**SOLICITA :** Haysen Juvenal Arana Llashaq

**PROYECTO :** Evaluación del lombrifiltro en la remoción de la DQO y DBO de aguas residuales domésticas para las zonas rurales de la provincia de Cusco

**MUESTRA :** M2

**DISTRITO :** Santiago

**PROVINCIA :** Cusco

**DEPARTAMENTO :** Cusco


**FECHA DE INFORME :** 18/11/21

**RESULTADOS :**


DETERMINACIONES	UNIDAD	M2	LMP
Oxígeno Disuelto	mg/L	2.4	-
Aceltes y Grasas	mg/L	14	20
Demanda Bioquímica de oxígeno DBOs	mg/L	30	100
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	35	200
pH		7.2	6.5 – 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	55	150

**METODOS DE ANALISIS:** Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales publicado conjuntamente por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF).

**NOTA:** Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.

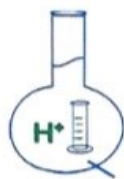


Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
ADMINISTRACION  
CIP. 238538



**MARIO CUMPA CAYURI**  
INGENIERO QUIMICO  
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 18188

## Anexo 5. Análisis de laboratorio de la muestra con código M3



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
 LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
 AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE  
 RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

**INFORME N° LQ 0649-21**  
**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA RESIDUAL**

SOLICITA : Haysen Juvenal Arana Llashaq

PROYECTO : Evaluación del lombrifiltro en la remoción de la DQO y DBO de aguas residuales domésticas para las zonas rurales de la provincia de Cusco

MUESTRA : M3

DISTRITO : Santiago

PROVINCIA : Cusco

DEPARTAMENTO : Cusco

FECHA DE INFORME : 18/11/21

RESULTADOS :

DETERMINACIONES	UNIDAD	M3	LMP
Oxígeno Disuelto	mg/L	2.3	-
Aceites y Grasas	mg/L	14	20
Demanda Bioquímica de oxígeno DBOs	mg/L	33.4	100
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	40	200
pH		7.2	6.5 – 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	55	150

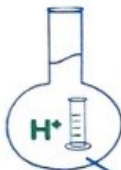
**MÉTODOS DE ANÁLISIS:** Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales publicado conjuntamente por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF).

**NOTA:** Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.



  
**MARIO CUMPA CAYURI**  
 INGENIERO QUIMICO  
 REG. COLEGO DE INGENIEROS N° 18188

## Anexo 6. Análisis de laboratorio de la muestra con código M4



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
**LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES**  
**AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE**  
**RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776**

**INFORME N°LQ 0650-21**  
**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA RESIDUAL**

**SOLICITA :** Haysen Juvenal Arana Llashaq

**PROYECTO :** Evaluación del lombrifiltro en la remoción de la DQO y DBO de aguas residuales domésticas para las zonas rurales de la provincia de Cusco

**MUESTRA :** M4

**DISTRITO :** Santiago

**PROVINCIA :** Cusco

**DEPARTAMENTO :** Cusco


**FECHA DE INFORME :** 18/11/21

**RESULTADOS :**


DETERMINACIONES	UNIDAD	M4	LMP
Oxígeno Disuelto	mg/L	2.1	-
Aceites y Grasas	mg/L	15	20
Demanda Bioquímica de oxígeno DBO <sub>5</sub>	mg/L	54.2	100
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	52	200
pH		7.3	6.5 – 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	77	150

**MÉTODOS DE ANÁLISIS:** Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales publicado conjuntamente por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF).

**NOTA:** Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.




**MC QUIMICALAB**  
 Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
 ADMINISTRACION  
 CIP. 238238



**MARIO CUMPA CAYURI**  
 INGENIERO QUIMICO  
 REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16108

## Anexo 7. Análisis de laboratorio de la muestra con código M5



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
**LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES**  
 AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE  
 RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

---

**INFORME N° LQ 0648-21**  
**ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE AGUA RESIDUAL**

**SOLICITA** : Haysen Juvenal Arana Llashaq

**PROYECTO** : Evaluación del lombrifiltro en la remoción de la DQO y DBO de aguas residuales domésticas para las zonas rurales de la provincia de Cusco

**MUESTRA** : M5

**DISTRITO** : Santiago

**PROVINCIA** : Cusco

**DEPARTAMENTO** : Cusco


**FECHA DE INFORME** : 18/11/21

**RESULTADOS** :


DETERMINACIONES	UNIDAD	M5	LMP
Oxígeno Disuelto	mg/L	2.1	-
Aceites y Grasas	mg/L	14	20
Demanda Bioquímica de oxígeno DBOs	mg/L	55	100
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	56	200
pH		7.3	6.5 – 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	80	150

**MÉTODOS DE ANÁLISIS:** Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales publicado conjuntamente por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF).

**NOTA:** Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.



**MC QUIMICALAB**  
 Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
 ADMINISTRACION  
 CIP. 238328



**MARIO CUMPA CAYURI**  
 INGENIERO QUIMICO  
 REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 18188

Anexo 8. Fotografías de la construcción del lombrifiltro



Fotografía N° 1. Vidrio de 40x20 cm y estructura de soporte.



Fotografía N° 2. Recipiente de 100 litros y accesorios de instalación.



Fotografía N° 3. Accesorios y materiales



Fotografía N° 4 y 5. Vista de la estructura del lombrifiltro.





Fotografía N° 6. Materiales para la construcción de los estratos del lombrifiltro.



Fotografía N° 7. Ubicación de los materiales por estrato.



Fotografía N° 8 y 9. Vista panorámica de los estratos de filtro.



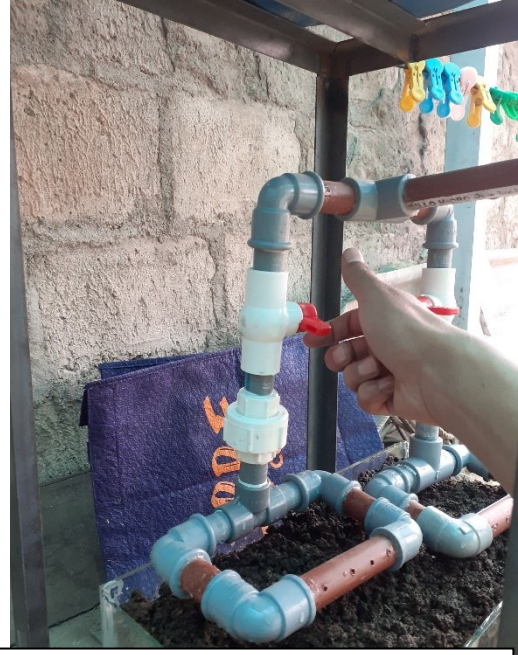
Fotografía N° 10 y 11. Adaptación de las lombrices de la especie *Eisenia Foetida*.



Fotografía N° 12. Incorporación de nutrientes en la etapa de aportación al agua residual doméstica.



Fotografía N° 13. Medición de caudal de ingreso al lombrifiltro.



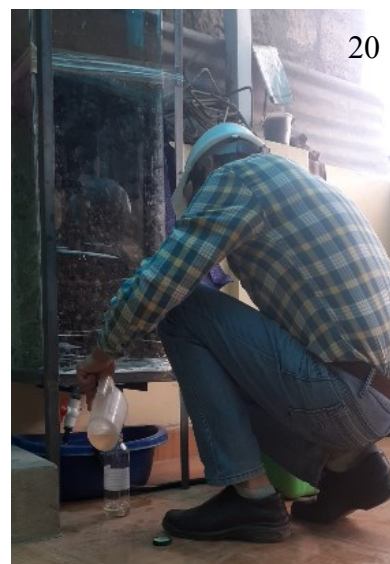
Fotografía N° 14. Lombrices en el estrato y apertura de la válvula para el ingreso de agua residual doméstica.



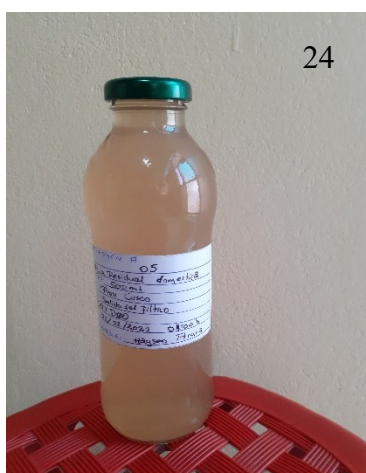
Fotografía N° 15. Control de temperatura diurna y nocturna.



Fotografía N° 16 y 17. Materiales de muestreo y equipos.



Fotografía N° 18, 19 y 20. Muestreo de agua en el efluente del lombrifiltro



Fotografía N° 21, 22, 23, 24 y 25. Número de muestreo de agua en el efluente del lombrifiltro



Fotografía N° 26. Análisis de las 3 primeras muestras



Fotografía N° 27. Análisis de las 2 últimas muestras.



Fotografía N° 28. Análisis en laboratorio.