

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



TESIS

“EFICIENCIA DE UN BIOFILTRO TIPO TOHÁ DE FLUJO VERTICAL EN FUNCIÓN
DEL ESPESOR DE SUS LECHOS FILTRANTES PARA EL TRATAMIENTO DEL
EFLUENTE DE LA INDUSTRIA LÁCTEA FE Y ALEGRÍA 57 – CEFOP CELENDÍN,
CAJAMARCA 2023”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO SANITARIO

AUTOR:

Bach. Miguel Angel Atalaya Abanto

ASESOR:

Dr. Ing. Agustín Emerson Medina Chávez

CAJAMARCA – PERÚ

2023

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: Miguel Angel Atalaya Abanto
DNI: 72961540
Escuela Profesional: Escuela Académico Profesional de Ingeniería Sanitaria
2. Asesor: Dr. Ing. Agustín Emerson Medina Chávez
Facultad: Ingeniería
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
EFICIENCIA DE UN BIOFILTRO TIPO TOHÁ DE FLUJO VERTICAL EN FUNCIÓN DEL ESPESOR DE SUS LECHOS FILTRANTES PARA EL TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE LA INDUSTRIA LÁCTEA FE Y ALEGRÍA 57 – CEFOP CELENDÍN, CAJAMARCA 2023"
6. Fecha de evaluación: 04 de marzo 2024
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 23%
9. Código Documento: oid:3117:337311265.
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 12 de marzo 2024



FIRMA DEL ASESOR

Dr. Ing. Agustín Emerson Medina Chávez

DNI: 27040564



Firmado digitalmente por:
FERNANDEZ LEON Yvonne
Katherine FAU 20148259801 soft
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 12/03/2024 18:31:22-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

AGRADECIMIENTO

Agradecer a DIOS por darme el privilegio de compartir conocimiento en mi formación Académica en la Universidad Nacional de Cajamarca junto a mis compañeros de estudio y docentes en la Escuela Académico Profesional Ingeniería Sanitaria para enfrentarme en mi vida profesional.

A mi asesor de manera especial Dr. Ing. Agustín, Medina Chávez, a los miembros del comité directivo Ing. Gilberto, Cruzado Vásquez, Ing. María Salome de La Torre Ramírez y al alumno Ángel Francisco, Silva Portal agradecer a cada uno de ellos por su tiempo en su asesoría para realizar este proyecto de investigación.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios, por permitirme adquirir conocimientos en el transcurso de las etapas de mi vida.

A mi madre Irma Abanto Rojas, por su apoyo incondicional. hermanos Luis, Doris, Merlyn, Abigail, Ailyn por estar a mi lado apoyándome, los quiero mucho,

Tíos, primos, sobrinos demás familiares que siempre estuvieron al pendiente para que esta investigación se realizará.

Índice de contenidos

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.1.1 Contextualización del problema	1
1.1.2 Descripción del problema	2
1.1.3 Formulación del problema	2
1.2 Justificación de la investigación	2
1.2.1 Justificación científica	2
1.2.2 Justificación técnica práctica	3
1.2.3 Justificación institucional personal	3
1.3 Delimitación de la investigación.....	3
1.4 Limitación	3
1.5 Objetivos	4
1.5.1 Objetivo general.....	4
1.5.2 Objetivo específico	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes Teóricos.....	5
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	5
2.1.2 Antecedentes Nacionales	6
2.1.3 Antecedentes locales	6
2.2 Bases teóricas.....	7
2.2.1 Aguas residuales.	7
2.2.2 Características de las aguas residuales industriales.	8
2.2.3 Biofiltro Tohá de flujo vertical	9
2.2.4 <i>Eisenia Foetida</i> o Lombriz Roja Californiana.....	10
2.2.5 Condiciones de operación	14

2.2.6 Humus de Lombriz	15
2.2.7 Caudal (Q).....	15
2.2.8 Tiempo de retención hidráulico (TRH).....	15
2.2.9 Tasa de carga hidráulica (TCH).....	16
2.2.10 Norma legal aplicable a los vertimientos de agua residuales	16
2.3 Definición de términos básicos.....	17
CAPÍTULO III. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	19
3.1 Hipótesis general.....	19
3.1.1 Hipótesis específica	19
CAPÍTULO IV. MATERIALES Y MÉTODOS	20
4.1 Ubicación del proyecto de investigación.	20
4.2 Materiales.....	23
4.2.1 Material biológico	23
4.2.2 Material para construcción del biofiltro	23
4.2.3 Materiales y equipos de laboratorio.....	24
4.2.4 Materiales y equipos de oficina	24
4.4 Metodología	25
4.4.1 Tipo de investigación.....	25
4.4.2 Nivel de investigación.....	25
4.4.3 Diseño de investigación	25
4.4.4 Población de diseño	25
4.4.5 Muestra	25
4.4.6 Unidad de análisis	25
4.4.7 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	25
4.4.8 Análisis e interpretación de datos	27
4.4.9 Metodología aplicada.....	27

CAPÍTULO V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	58
5.1 Parámetros medidos en campo.....	58
5.1.1 Humedad	58
5.1.2 Temperatura	59
5.1.3 Ph	61
5.2 Parámetros medidos en el laboratorio Regional del Agua.....	63
5.2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	63
5.2.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	66
5.2.3 Sólidos Suspendedos Totales (SST).....	69
5.2.4 Aceites y Grasas (A y G)	72
5.2.5 Prueba de Hipótesis.....	75
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
6.1 Conclusiones	90
6.2 Recomendaciones	91
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	92
ANEXOS	96

Índice de tablas

Tabla 1 Granulometría de la grava.....	10
Tabla 2 Rangos de operación y sobrevivencia Lombriz <i>Eisenia Foetida</i>	14
Tabla 3 Valores máximos admisibles para descargas industriales al alcantarillado anexo N° 01.	17
Tabla 4 Valores máximos admisibles para descargas industriales al alcantarillado anexo N° 02.	17
Tabla 5 Toma de muestra de agua y preservación.....	26
Tabla 6 Métodos de ensayo usados para la determinación de los parámetros.....	27
Tabla 7 Primera caracterización de la industria láctea Fe y Alegría CEFOP Celendín	28
Tabla 8 Segunda caracterización de la industria láctea Fe y Alegría CEFOP Celendín	29
Tabla 9 Tercera caracterización de la industria láctea Fe y Alegría CEFOP Celendín	29
Tabla 10 Medidas del Biofiltro	43
Tabla 11 Conformación de lechos filtrantes para cada Biofiltro	43
Tabla 12 Diseño experimental del proyecto	50
Tabla 13 Técnicas de recolección de muestras	51
Tabla 14 Arreglo de datos para un diseño factorial con dos factores	56
Tabla 15 Análisis de varianza modelo factorial 2 ² (ANOVA)	57
Tabla 16 Porcentaje de humedad (%) en los biofiltros del sistema Tohá.....	58
Tabla 17 Temperatura (°C) en cada uno de los biofiltros del sistema Tohá.....	60
Tabla 18 Ph tomados en cada uno de los biofiltros del sistema Tohá	62
Tabla 19 Análisis de muestras de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el afluente y efluente de los biofiltros del sistema Tohá.....	64
Tabla 20 Análisis de muestras de la Demanda Química de Oxígeno en el afluente y efluente de los biofiltros del sistema Tohá.....	67
Tabla 21 Análisis de muestras de los Sólidos Suspendedos Totales en el afluente y efluente de los biofiltros del sistema Tohá.....	70
Tabla 22 Análisis de muestras de Aceites y Grasas en el afluente y efluente de los biofiltros del sistema Tohá.....	73
Tabla 23 Eficiencias Promedio de los Biofiltros (%)	76

Tabla 24 Análisis de Varianza factorial.....	77
Tabla 25 Análisis de varianza factorial.....	80
Tabla 26 Análisis de varianza factorial.....	83
Tabla 27 Análisis de varianza factorial.....	86

Índice de figuras

Figura 1 Configuración por capas de un Lombrifiltro.....	9
Figura 2 La Lombriz <i>Eisenia Foetida</i>	11
Figura 3 Composición interna de la <i>Eisenia Foetida</i>	12
Figura 4 Sistema circulatorio de la <i>Eisenia Foetida</i>	13
Figura 5 Ciclo reproductivo de la Lombriz <i>Eisenia Foetida</i>	14
Figura 6 Plano de ubicación de la Industria Láctea Fe y Alegría 57 – CEFOP Celendín	21
Figura 7 Ubicación satelital de la industria láctea.....	22
Figura 8 Ubicación satelital de ejecución del proyecto de investigación Jr. Arequipa N°217 de la provincia de Celendín.....	23
Figura 9 Caracterización del efluente homogenizado de la industria láctea Fe y Alegría 57 – CEFOP Celendín.....	29
Figura 10 Acondicionamiento, ejecución del sistema Biofiltro tipo Tohá de flujo vertical.....	30
Figura 11 Recolección de muestra de la industria láctea Fe y Alegría CEFOP - Celendín	31
Figura 12 Zarandeado de grava en río la Llanga, caserío de Llangat.....	32
Figura 13 Camas de lombricultura del vivero Municipal Venecia Cajamarca.....	32
Figura 14 Climatización de Lombriz <i>Eisenia Foetida</i> con muestra de la industria láctea Fe y Alegría CEFOP - Celendín.....	33
Figura 15 Contabilización de la Lombriz <i>Eisenia Foetida</i>	34
Figura 16 Rotulado de los cuatro Biofiltro del sistema Tohá de flujo vertical.....	40
Figura 17 Abastecimiento del efluente por goteo de la industria láctea Fe y Alegría CEFOP - Celendín.....	42
Figura 18 Esquema Biofiltro N° 01.....	44
Figura 19 Esquema del Biofiltro N° 02.....	44
Figura 20 Esquema Biofiltro N° 03.....	45

Figura 21 Esquema Biofiltro N° 04	45
Figura 22 Instalación del sistema tohá para la puesta en marcha, con la supervisión del asesor ing. Agustín Medina Chávez	46
Figura 23 Verificación de aposamiento en el biofiltro y medición de Ph	47
Figura 24 Diagrama del arbol con cuatro tratamientos (T).....	49
Figura 25 Recolección de muestras, para el análisis de muestras en el Laboratorio Regional de Cajamarca	51
Figura 26 Toma de muestras del efluente tratado del Biofiltro, sistema Tohá	52
Figura 27 Medición de Ph en los biofiltros del sistema Tohá.....	53
Figura 28 Medición de temperatura en cada biofiltro.....	54
Figura 29 Medición de la humedad por el método del puño	54
Figura 30 Gráfico porcentaje de humedad (%) en el sustrato de cada biofiltro del sistema Tohá.....	59
Figura 31 Gráfico de temperatura (°C) en el sustrato de cada biofiltro del sistema Tohá	61
Figura 32 Gráfico de Ph en el sustrato de cada biofiltro del sistema Tohá	63
Figura 33 Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el efluente del biofiltro	65
Figura 34 Eficiencias de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el sistema Tohá	66
Figura 35 Resultados de la Demanda Química de Oxígeno en el efluente del biofiltro	68
Figura 36 Eficiencias de la Demanda Química de Oxígeno en el sistema Tohá	69
Figura 37 Resultados de los Sólidos Suspendidos Totales en el efluente del biofiltro	71
Figura 38 Eficiencias de los Sólidos Suspendidos Totales en el sistema Tohá.....	72
Figura 39 Resultados de Aceites y Grasas en el efluente del biofiltro	74
Figura 40 Eficiencias en Aceites y Grasas en el sistema Tohá.....	75
Figura 41 Eficiencia de los biofiltros para cada parámetro	76
Figura 42 Gráfica de Probabilidad Normal (tabla 20)	78
Figura 43 Gráfica de Residuo vs Valor ajustado (tabla 20).....	78
Figura 44 Gráfica de Histograma (tabla 20)	79
Figura 45 Gráfica de Residuo vs Orden de observación (tabla 20)	79
Figura 46 Gráfica de Probabilidad Normal (tabla 21)	81

Figura 47 Gráfica de Residuo vs Valor ajustado (tabla 21).....	81
Figura 48 Gráfica de Histograma (tabla 21)	82
Figura 49 Gráfica de Residuo vs Orden de observación (tabla 21)	82
Figura 50 Gráfica de Probabilidad Normal (tabla 22)	84
Figura 51 Gráfica de Residuo vs Valor ajustado (tabla 22).....	84
Figura 52 Gráfica de Histograma (tabla 22)	85
Figura 53 Gráfica de Residuo vs Orden de observación (tabla 22)	85
Figura 54 Gráfica de Probabilidad Normal (tabla 23)	87
Figura 55 Gráfica de Residuo vs Valor ajustado (tabla 23).....	87
Figura 56 Gráfica de Histograma (tabla 23)	88
Figura 57 Gráfica de Residuo vs Orden de Observación (tabla 23)	88
Figura 58 Ficha de acreditación de lombrices <i>Eisenia Foetida</i> Californianas	97
Figura 59 Primera toma de muestra del afluente	98
Figura 60 Primer reporte de resultados del afluente del biofiltro	99
Figura 61 Muestreo del efluente del biofiltro y muestreo del segundo afluente al biofiltro.....	100
Figura 62 Primer resultado del efluente y resultados de la segunda toma afluente...	101
Figura 63 Toma de muestras del segundo efluente del biofiltro.....	102
Figura 64 Resultados del segundo efluente del biofiltro	103
Figura 65 Tercera toma del afluente del biofiltro	104
Figura 66 Resultados de la tercera muestra del afluente del biofiltro.....	105
Figura 67 Tercera muestra del efluente del biofiltro	106
Figura 68 Resultados de la tercera muestra del efluente del biofiltro.....	107
Figura 69 Elaboración, construcción de biofiltros del sistema tipo Tohá.....	108
Figura 70 Zarandeado de grava fina y grava media en el Valle de Languat	108
Figura 71 Preservando la muestra con H ₂ SO ₄	108
Figura 72 Secado de las muestras del biofiltro en la estufa a 105 °C	108
Figura 73 Peso de 0.42g de la lombriz <i>Eisenia Foetida</i>	108
Figura 74 Generación de humus a los 15 días por la lombriz <i>Eisenia Foetida</i>	108
Figura 75 Medición de la Lombriz <i>Eisenia Foetida</i> de 9 cm	108
Figura 76 Segunda supervisión de nuestro asesor Ing. Agustín Medina Chávez	108

RESUMEN

En la presente investigación experimental se determinó la eficiencia del Biofiltro tipo Tohá de flujo vertical descendente por gravedad, en función del espesor de sus lechos filtrantes, para reducir la concentración de sustancias fisicoquímicas: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos totales (SST) y Aceites y Grasas (A y G) del efluente de la industria láctea Fe y Alegría CEFOP Celendín. Se construyeron cuatro Biofiltros con lechos filtrantes determinándose sus respectivos caudales de diseño: en el Biofiltro B1, grava mediana 0.10 cm, grava fina 0.10 cm y de sustrato 0.30 cm, caudal 120 gotas/minuto; Biofiltro B2, grava mediana 0.10 cm, grava fina 0.10 cm y de sustrato 0.40 cm, caudal 100 gotas/minuto; Biofiltro B3, grava mediana 0.15 cm, grava fina 0.15 cm y de sustrato 0.30 cm, caudal 96 gotas/minuto y para el Biofiltro B4, grava mediana 0.15 cm, grava fina 0.15 cm y de sustrato 0.40 cm, caudal 103 gotas/minuto; el sustrato estuvo conformado por Lombriz *Eisenia Foetida*, aserrín y turba; las muestras se tomaron en el afluente y efluente de cada Biofiltro y luego se trasladó las muestras para su análisis en el Laboratorio Regional del Agua; obteniendo las siguientes eficiencias en los Biofiltros respecto al parámetro DBO el Biofiltro B3 presenta la mayor eficiencia de 76.64 % y el B1 presenta la menor eficiencia 57.54 %; para el parámetro DQO el Biofiltro B4 presenta la mayor eficiencia de 64.24 % y el B1 presenta la menor eficiencia 56.87 %; en el parámetro de SST el Biofiltro B1 presenta la mayor eficiencia de 89.18 % y el B2 presenta la menor eficiencia 81.37 % y el parámetro Aceites y Grasas (A y G) el Biofiltro B4 presenta la mayor eficiencia de 62.64 % y el B1 presenta la menor eficiencia 43.97 %.

Palabras clave: Afluente, Biofiltro tipo Tohá, Efluente, Eficiencia, Flujo vertical, Lechos Filtrantes.

ABSTRACT

This present experimental investigation the efficiency of the Tohá type Biofilter with vertical flow by gravity was determined, depending on the thickness of its filter beds, to reduce the concentration of physicochemical substances: Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solids (TSS) and Oils and Fats (A and G) from the effluent of the Fe y Alegría CEFOP Celendín dairy industry. Four Biofilters were built with filter beds, determining their respective design flow rates: in Biofilter B1, medium gravel 0.10 cm, fine gravel 0.10 cm and substrate 0.30 cm, flow rate 120 drops/minute; Biofilter B2, medium gravel 0.10 cm, fine gravel 0.10 cm and substrate 0.40 cm, flow rate 100 drops/minute; Biofilter B3, medium gravel 0.15 cm, fine gravel 0.15 cm and substrate 0.30 cm, flow rate 96 drops/minute and for Biofilter B4, medium gravel 0.15 cm, fine gravel 0.15 cm and substrate 0.40 cm, flow rate 103 drops/minute; The substrate was made up of *Eisenia Foetida* worm, sawdust and peat; The samples were taken in the influent and effluent of each Biofilter and then the samples were transferred for analysis at the Regional Water Laboratory; Obtaining the following efficiencies in the Biofilters with respect to the BOD parameter, Biofilter B3 presents the highest efficiency of 76.64% and B1 presents the lowest efficiency of 57.54%; For the COD parameter, Biofilter B4 presents the highest efficiency of 64.24% and B1 presents the lowest efficiency of 56.87%; SST parameter, Biofilter B1 presents the highest efficiency of 89.18% and B2 presents the lowest efficiency 81.37% and the Oils and Fats (A and G) parameter, Biofilter B4 presents the highest efficiency of 62.64% and B1 presents the lower efficiency 43.97%.

Keywords: Influent, Tohá type Biofilter, Effluent, Efficiency, Vertical flow, Filter Beds.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

1.1.1 Contextualización del problema

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2023) afirma que mas de 750 millones de personas en todo el mundo se dedican a la producción de leche, la generación de empleo para la producción de leche es mayor en los países subdesarrollados en comparación con los países en desarrollo por el uso de tecnología para su producción, la comercialización y procesamientos de la leche, mayormente en los países en desarrollo limita el tratamiento del efluente industrial lácteo para la depuración de esta fuente láctea.

Quispe Apaza (2019) asegura que en el Perú el sur de Tacna, Arequipa y Moquegua; norte La Libertad y Cajamarca; centro Ica, Junin y Lima su vertimeinto de suero lo realizan directamente al ambiente generando alteracion en la calidad del agua por la presecencia de materia organica presente en el suero, es un riezgo ambiental si es eliminado sin ningun tratamiento debido a que la descarga causa perdida significativa de nutrientes que provoca inpectos negativos en los cuerpos receptores.

Zegarra Marín (2020) presenta que en la provincia de Celendín la producción de leche creció en 6.5 % el 2019, ocupando el tercer lugar a nivel nacional, con una producción de 320 litros diarios, dentro del departamento de Cajamarca ocupa el segundo lugar después de la provincia de Cajamarca, con una producción 40 mil litros de leche diarios.

Las industrias lácteas en la provincia de Celendín, los residuos líquidos industriales de los efluentes no tienen ningún tratamiento adecuado, son vertidos directamente al sistema de la red de alcantarillado, estos efluentes logran pasar por una planta de tratamiento inoperativa, logrando desembocar en el río grande y contaminando estos cuerpos de agua.

1.1.2 Descripción del problema

La industria láctea Fe y Alegría – CEFOP Celendín, se dedica a la producción de leche mayor a 25 l/día a partir de vacas para la elaboración de productos lácteos y derivados, productos fermentados yogurt y queso, hasta productos no fermentados helados, manjar blanco; dentro de sus procesos hace el uso del sistema de agua potable, de las cuales incluyen limpieza, desinfección, calentamiento, enfriamiento, lavado de pisos y del equipo industrial de procesamiento convirtiéndola en un agua residual industrial láctea. El efluente del usuario no doméstico su vertimiento lo realiza directamente al sistema de la red de alcantarillado sanitario generando deterioro en la infraestructura sanitaria; estos residuos líquidos industriales lácteos son evacuados a la planta principal de tratamiento de aguas residual, para luego ser vertidos al río grande contaminando al medio ambiente.

1.1.3 Formulación del problema

¿Cuánto se puede disminuir el nivel de contaminación del efluente de la industria láctea Fe y Alegría – CEFOP Celendín, empleando un sistema Biofiltro tipo Tohá?

1.2 Justificación de la investigación

1.2.1 Justificación científica

Valencia y Ramírez (2009) estiman para la descarga de aguas residuales al sistema de alcantarillado a partir de 10 litros de leche, genera 90 % de suero residual formando lactosa en un 8 % en Grasa, con una DBO de 40 000 - 50 000 mg/l; para lo cual, deben ser muestreadas para su respectivo tratamiento con el sistema Tohá.

Siever (2021) asegura para el tratamiento de aguas industriales con el biofiltro tipo Tohá, el efluente es filtrado y toda la materia orgánica queda en la parte superior; la cual las lombrices se alimentan creando humus de lombrices, logrando depurar el agua industrial y reduciendo las sustancias contaminantes.

Por lo indicado con este tipo sistema biofiltro tipo Tohá reducimos las altas concentraciones de carga orgánica parámetros fisicoquímicos contaminantes de Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Suspendidos

Totales y Aceites y Grasas; determinaremos la eficiencia de los biofiltros en función de los diferentes espesores de sus lechos filtrantes.

1.2.2 Justificación técnica práctica

Realizando un tratamiento con el sistema de biofiltro tipo Tohá, en la parte normas legales de esta tesis (ver tabla N° 3 y N°4) aplicamos el Decreto Supremo N°010-2019- Vivienda; lo cual, establece los Valores Máximos Admisibles: Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Suspendedos Totales, Aceites y Grasas, con esto establemos la eficiencia en los biofiltros en función de los diferentes espesores de sus lechos filtrantes.

1.2.3 Justificación institucional personal

A través de este tipo de investigaciones la Universidad Nacional de Cajamarca se proyectará a tratar y solucionar los problemas de contaminaciones para el presente caso; nos permitirá conocer y ampliar nuestros conocimientos a nivel académico, para lograr un título y ejercer nuestra carrera.

1.3 Delimitación de la investigación

Se analizará en el Laboratorio Regional del Agua los parámetros fisicoquímicos al ingreso y salida del sistema Biofiltro tipo Tohá la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos Totales (SST), Aceites y Grasas (A y G), para determinar la eficiencia en función al espesor de sus lechos filtrantes; además para el diseño modelo experimental del sistema del Biofiltro tipo tohá no se tomaron en cuenta los caudales de diseño, sino que fueron estimados.

1.4 Limitación

No se presentó inconvenientes para el desarrollo y ejecución en el proyecto de investigación.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Determinar la eficiencia de un Biofiltro tipo Tohá de flujo vertical en función del espesor de su lecho filtrante para el tratamiento del efluente de la industria láctea Fe y Alegría 57 – CEFOP Celendín.

1.5.2 Objetivo específico

- ✓ Obtener los parámetros fisicoquímicos del afluente del sistema Tohá de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Aceites y Grasas (A y G), en el Laboratorio Regional del Agua
- ✓ Analizar los parámetros fisicoquímicos del efluente del sistema Tohá en función de los espesores de sus lechos filtrantes de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Aceites y Grasas (A y G) en el Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ Determinar el caudal del efluente de la industria láctea Fe y Alegría 57 – CEFOP Celendín.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Teóricos.

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Orozco et al. (2020) presenta su investigación titulada la “Biorremediación de las aguas residuales provenientes de la industria láctea a escala de laboratorio mediante el sistema Tohá”, su tipo de investigación es causal explicativa, se planteó como objetivo aplicar el Sistema Tohá a escala de laboratorio para la Biorremediación de las aguas provenientes de la industria láctea, obteniendo como resultados elevadas concentraciones de Demanda Química de Oxígeno (DQO) 6923 mg/l, Sólidos Suspendedos 941.7 mg/l, Aceites y Grasas 756 mg/l de efluente residual industrial, para obtener una eficiencia de remoción en la DQO del 77 %, turbidez 68 %, Sólidos Suspendedos 65 %, Aceites y Grasas 63 %, el Ph del sistema se neutraliza con la ayuda de las Lombrices *Eisenia Foetida*; además existe un incremento de un 2 % de materia orgánica en los 66 días de tratamiento con el sistema Tohá empleado.

Iza y Toapanta (2019) proponen en su investigación titulada “Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la industria láctea Pastolac”, reducir sus efluentes residuales antes de ser evacuado al alcantarillado y luego finalizar en quebradas aledañas al sector, necesita remover 8700 mg/l de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), 2000 mg/l de Demanda Química de Oxígeno (DQO), 730,20 mg/l de Sodio, 390 mg/l de Grasas y $2,9 \times 10^9$ NMP/100ml de Coliformes, con la disminución de concentraciones, permitirá reducir los impactos ambientales.

Núñez Mateluna (2018) expresa en su trabajo de investigación titulada “Rediseño de la planta de riles de la empresa Quillayes – Surlat ubicada en la calera de Tango” para el tratamiento utiliza el sistema de tratamiento biológico sistema Tohá para disminuir cargas contaminantes de residuos lácteos en la novena etapa el compuesto por tres módulos de Lombrices y microorganismos, los parámetros a reducir en Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 4500 mg/l a 2123 mg/l, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) de 2560 mg/l a 1208 mg/l, en Aceites y Grasas de 429 mg/l a 44 mg/l y Sólidos Suspendedos Totales (SST) de 600 mg/l a 62 mg/l, la cual permitirá a la empresa poseer permisos ambientales para su funcionamiento.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Cruz y Callohuanca (2020) observaron en su proyecto de investigación titulada “Disminución de costos en el tratamiento de aguas residuales industriales lácteas utilizando un prototipo de Lombrifiltro”, que los parámetros de humedad permaneció entre 40 % y 60 %, la temperatura máxima fue de 23°C y con un pH por debajo de 8.5 logrando una eficiencia en el Biofiltro del efluente de 90.64 %, tasa interna de retorno de 75 %, lo que satisface que el proyecto es viable para las empresas del sector lácteo que requieran del tratamiento adecuado de sus efluentes industriales, su recuperación en la inversión inicial es aproximadamente en dos años.

Apaza Aquino (2018) realizó en su investigación titulada “ Sistema combinado electrocoagulación- filtro biológico para la remoción de carga orgánica de los efluentes lácteos” la remoción de carga orgánica del efluente de la planta piloto de leche de la Universidad Agraria la Molina con un sistema combinado de electrocoagulación y filtro biológico con recirculación, logrando una eficiencia de remoción para la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del 89,7 % para una Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) DEL 89,8 %, presentando un Ph final de 7,37 % para el tratamiento de aguas industriales residuales lácteas.

Cruz y Ribero (2020) evaluaron la eficeincia en su investigacion titulada “ Disminucion de costos en el tratamiento de aguas residuales industriales lácteas utilizando un prototipo de Lonbrifiltro”, como objetivo general disminuir los costos de tratamiento de aguas residuales industriales mediante la utilización de un prototipo de Biofiltro en la capa del sustrato con *Eisenia Foetida* de 20 cm con una remocion del 90.64 %, donde la humedad estuvo en un intervalo de 40 % y 60 % manteniendose un Ph por debajo de 8.5 y a una temperatura que no supero los 23 °c, los efluentes que se tratan reduciran los limites maximos permisibles y los estandares de calidad ambiental.

2.1.3 Antecedentes locales

Medina Vásquez (2018) declara en su investigación experimental titulada “Eficiencia de un Biofiltro tipo Tohá en función de la altura de sus lechos para el tratamiento de un efluente de industria láctea en Celendín”, la eficiencia del tratamiento efluente industrial lácteo con la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) 80.66 %,

Sólidos Suspendidos Totales (SST) de 91.92 %, Coliformes Termotolerantes 97.09 %, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) 80.66 % alcanzando la máxima eficiencia en los Biofiltros.

Chávez Rodrigo (2017) obtuvo en su proyecto de investigación titulada “Eficiencia de un Biofiltro en la reducción de carga orgánica de un efluente industrial en la ciudad de Celendín”, para el objetivo de la investigación determinar la eficiencia de remoción de carga orgánica de un biofiltro para un efluente industrial, como resultados que la eficiencia de remoción del Biofiltro es superior al 50 % de la carga orgánica inicial del efluente industrial analizado; estos resultados nos confirman la eficiencia del Biofiltro como un sistema no convencional en el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea, para ser evacuado a la red de alcantarillado de la ciudad de Celendín.

2.2 Bases teóricas.

2.2.1 Aguas residuales.

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA,2014) afirma que son todas las aguas cuyas características originales han sido alteradas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, para ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado y se clasifican en:

a) Aguas residuales domésticas.

Portero y Amat (2017) definen como los residuos de las viviendas producido de las actividades humanas en nuestra vida diaria. Contienen una mayor cantidad de carga de materia orgánica y microorganismos, como residuos de jabones, detergentes y otros productos de uso doméstico.

b) Aguas residuales industriales.

Arbeláez y Medina (2018) puntualizan que las aguas residuales industriales procedentes de las actividades de producción o manipulación donde se utilice agua, presentan variaciones muy diversas en su caudal y composición difiriendo los componentes de los vertidos, siendo estas las más contaminadas y con una contaminación muy compleja de tratar.

c) Aguas residuales municipales.

Según el informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos (2017) manifiesta que son provenientes de fuentes domésticas, industriales, comerciales e institucionales dentro de un asentamiento o comunidad de humanos, incluyen la escorrentía urbana.

2.2.2 Características de las aguas residuales industriales.

a) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Peña et al. (2013) señalan que la Demanda Bioquímica de Oxígeno es la cantidad de oxígeno disuelto consumido durante la degradación de la materia orgánica. Evaluando este parámetro se puede determinar la fracción biodegradable de la materia orgánica presente en el agua residual.

b) Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Vásquez y Ortega (2013) indican para tener una mejor estabilización química de las muestras de agua, se necesita conocer que la Demanda Química de Oxígeno no es tan exacta al momento de conocer si la materia orgánica es o no biodegradable. La Demanda Química de Oxígeno en un determinado tiempo de análisis es corto menor a 3 días, para poder conocer el nivel de toxicidad. Los valores de la DQO serán mayores a la DBO por la oxidación química de los compuestos y no biológica.

c) Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Ramos y Paredes (2015) definen que tienen la particularidad de ser coloides y presentan cargas eléctricas, se atraen a las moléculas del agua. Para poder separarlas es conveniente hacer uso de sustancias coagulantes y floculantes que alteren la carga eléctrica en las partículas para lograr la formación de flóculos más grandes y así poder separarlos mediante una filtración.

d) Aceites y Grasas (A y G)

Chambi et al (2016) manifiestan que son sustancias solubles en disolventes orgánicos e insolubles en agua y en líquidos con menor densidad, por lo que permanecen en la superficie de las aguas residuales formando las natas y espumas.

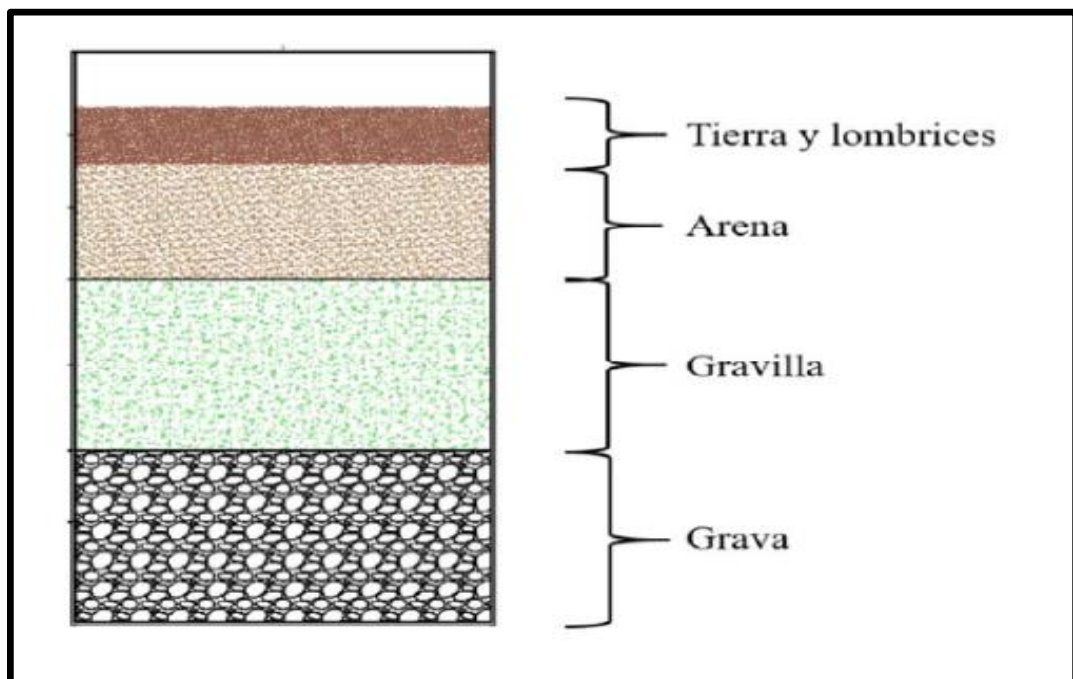
2.2.3 Biofiltro Tohá de flujo vertical

Visvanathan et al. (2005) afirman que es un sistema tipo Tohá de flujo vertical conoecedor del tratamiento con Lombrices de efluentes industriales en la Universidad de Chile, compuesto por Lombriz y materiales porosos en un estanque de tipo rectangular, el flujo vertical es por gravedad en el cual se va infiltrar las capas en los lechos filtrantes, para obtener un efluente que ha removido Sólidos Suspendedos Totales (90 – 95 %), Demanda Química de Oxígeno (80 – 90 %), Demanda Bioquímica de Oxígeno5 (80 – 90 %), entre otros.

Arias y Tiquillahuanca (2018) remoción de Aceites y grasas el sistema Toha alcanza el 95 % de eficiencia con las Lombrices *Eisenia Foetida*

Wang et al. (2011) reconoce que los sólidos suspendidos son retenidos y degradados por las Lombrices, la arena o grava permite la aireación y formación de lechos de soporte (Figura 1).

Figura 1
Configuración por capas de un Lombrifiltro.



Fuente: Wang et al. (2011).

a) Aserrín

Serret et al. (2016) definen al aserrín como el conjunto de partículas desprendidas durante un proceso y manejo de la madera, conocido también como fragmento de madera residual.

b) Grava

Gonzales de Vallejo (2002) presenta un tamaño de grano entre unos 8 – 10 cm y 2 mm; no retienen el agua debido a su alta porosidad.

Tabla 1
Granulometría de la grava.

Material	Características	Tamaño en mm
Grava	Gruesa	30 a 70
	Media	5 a 30
	Fina	2 a 5

Fuente: Juárez y Rico (2005).

2.2.4 *Eisenia Foetida* o Lombriz Roja Californiana

Figueroa Paez (1993) Clasifica de acuerdo a su taxonomía la *Eisenia Foetida* o Lombriz Roja de California, se usan en tratamientos de procesos biodegradables.

Reino: Animal

Tipo: Anélido (con cuerpo anillado)

Clase: Oligochaeta (anillos con pocas cerdas oquetas)

Familia: Lumbricidae

Género: *Eisenia*

Especie: *Eisenia Foetida*

El mismo autor afirma que tiene un 80% al 90% contenido de agua respecto de su peso, se las puede encontrar en diferentes tonalidades blanquecinos, rosados, negros, marrones y/o rojos con franjas amarillentas entre segmentos por la presencia de pigmentación protoporferina y éster metílico, les hace resistentes a la radiación

ultravioleta, puede vivir sin alimento 15 años, llegar a una adultez entre los 7 y 9 meses, alcanzando una longitud de 10 centímetros de largo y un diámetro de sus anillos promedio de 4 milímetros, con un peso de 0,24 hasta 1,4 gramos.

Figura 2
La Lombriz *Eisenia Foetida*.

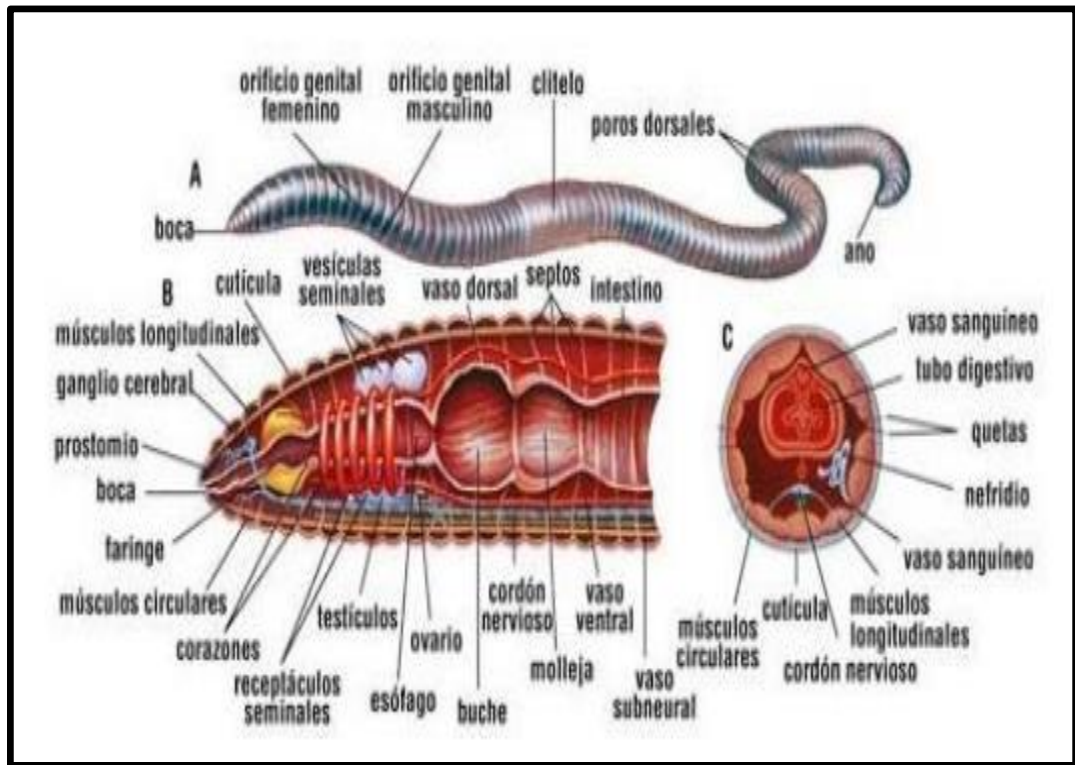


Fuente: Figueoa Paez (1993).

Tineo Bermúdez (1994) manifiesta en su investigación que las Lombrices se alimentan de materia orgánica para ser degradadas en un 50 %.

Figueroa Paez (1993) menciona que la Lombriz *Eisenia Foetida* no tienen mandíbula como se aprecia en la figura 3 de su sistema digestivo. Para alimentarse succiona por su boca primer anillo o somito, sus glándulas segregan proteosa para humedecer su alimento y ser procesadas en su aparato digestivo; para luego ser eliminadas a través del ano en el último anillo.

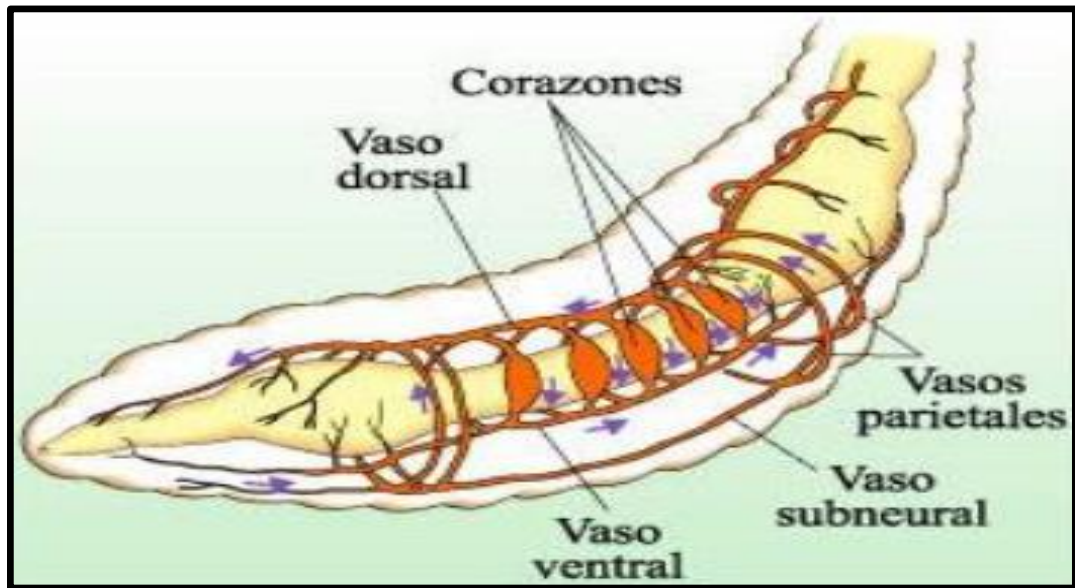
Figura 3
Composición interna de la *Eisenia Foetida*



Fuente: Figueroa Paez (1993).

El mismo autor muestra en la figura 4 su ramificación del aparato circulatorio en la parte esofágica conformada por cinco vasos contráctiles denominadas corazones como se aprecia en la siguiente figura.

Figura 4
Sistema circulatorio de la *Eisenia Foetida*

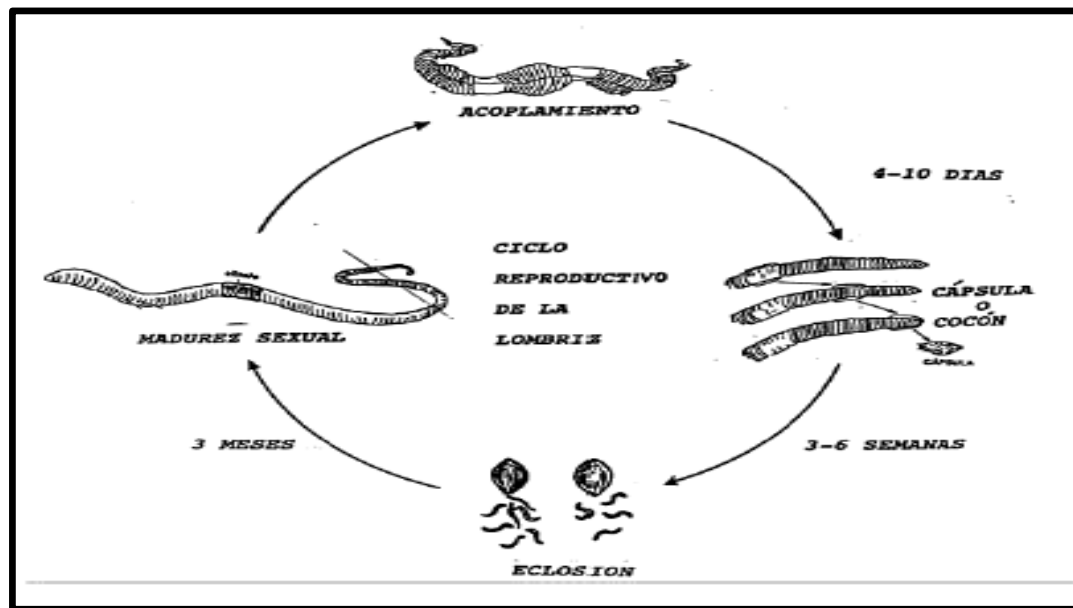


Fuente: Figueroa Paez (1993).

Figueroa Paez (1993) afirma para su reproducción es una hemafrodita insuficiente necesita de otro individuo para aparearse, los testículos glándulas secretoras de espermatozoides están ubicados entre el octavo y el décimo segmento; también cuenta con un par de ovarios en el décimo tercer anillo, el aparato genital femenino recibe el espermatozoides y lo encapsula hasta el momento de la fecundación

Barbado, José Luis (2003) indica el comportamiento de dos Lombrices en la reproducción el aparato genital masculino gira de una con el aparato genital femenino para la fecundación, en el clitelo, donde se produce el capullo o cápsula. Cada capullo puede producir entre 2 a 21 individuos, luego del periodo de incubación que tarda entre 14 a 21 días. En la Figura 5 se observa el ciclo reproductivo de la Lombriz *Eisenia foetida*.

Figura 5
Ciclo reproductivo de la Lombriz *Eisenia Foetida*



Fuente: Tineo Bermúdez (1994).

2.2.5 Condiciones de operación

Las condiciones de operación según Bollo Tapia (1999) adaptación de la Lombriz *Eisenia Foetida*, corresponden a una temperatura de 20°C, pH neutro, oxígeno ambiental, baja luminosidad y humedad considerable; entra en un período de latencia con una humedad mayor al 85 % que impide el paso de oxígeno, afectando la producción de humus y su reproducción, a temperatura y Ph inadecuado indicado en la tabla 2 disminuyen su actividad sexual, producción de humus y alargan el ciclo evolutivo, hasta que se presentan las condiciones adecuadas.

Tabla 2
Rangos de operación y sobrevivencia Lombriz *Eisenia Foetida*.

Parámetro	Optimo	Adecuado	Inadecuado
Temperatura (°C)	20	15-24	<5;>37
Humedad (%)	75	70-80	<70;>85
PH	6.5-7.5	6-8	<4.5;>8.5

Fuente: Bollo Tapia (1999)

2.2.6 Humus de Lombriz

Sardi Coral (1991) difiere que el término humus es la degradación de origen vegetal y animal mediante procesos biológicos, que sirven de alimento estiércol, desechos agrícolas, aguas residuales, desechos domésticos e industriales, resultando materia orgánica aprovechable para cultivo de plantas.

2.2.7 Caudal (Q)

Barreto Saénz (2009) define como el volumen de agua que pasa por una sección transversal uniforme en un determinado tiempo sus unidades se expresa en litros (l) por segundo (s).

$$Q = \frac{V}{T}$$

Donde:

Q= Caudal (l/s)

V= Volumen (l)

T= Tiempo (T)

2.2.8 Tiempo de retención hidráulico (TRH)

Calvache et al. (2002) sostiene que es el tiempo que le toma a las aguas residuales en filtrarse a través del lecho compuesto por la Lombriz *Eisenia Foetida*, es un parámetro muy significativo.

$$TRH = \frac{\rho V_S}{Q}$$

Donde:

TRH: Tiempo de retención hidráulico (hr)

ρ : Porosidad del medio (%)

V_S : Volumen del sustrato (m³)

Q: Caudal de afluente que atraviesa el biofiltro (m³/h)

2.2.9 Tasa de carga hidráulica (TCH)

Bravo Marinni (2019) afirma que es el volumen de agua residual aplicado en una unidad de área del sustrato y por unidad de tiempo.

Li et al (2009) indica si la TCH es menor $1\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$, se considera un tratamiento eficiente y estable.

$$\text{TCH} = \frac{V_{Ar}}{A.T}$$

Donde:

TCH: Tasa de carga hidráulica ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$)

V_{Ar} : Volumen de agua residual (m^3)

A: Área de material filtrante (m^2)

t: tiempo que demora en escurrir (día)

2.2.10 Norma legal aplicable a los vertimientos de agua residuales

El Decreto Supremo N.º 010-2019-VIVIENDA es una normativa vigente que regula las descargas de aguas no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario y establece los Valores Máximos Admisibles (VMA), se entienden como aquel valor de la concentración de elementos o parámetros físicos y químicos, que caracterizan a un efluente no doméstico, que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que al ser excedido causa daño inmediato o progresivo a la infraestructura y equipos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, además tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de aguas residuales y se dividen en dos grupos de parámetros, que se encuentran en los anexos N.º 01 (tabla 03) y N.º 02 (tabla 04) del Decreto Supremo N.º 010-2019-VIVIENDA. Un exceso en los VMA del anexo N.º 01 conlleva a pagos adicionales del usuario a la empresa prestadora de servicio por la descarga en el sistema de alcantarillado, mientras que el incumplimiento del anexo N.º 02 implica el cierre de la descarga de uso no doméstico.

Tabla 3

Valores máximos admisibles para descargas industriales al alcantarillado anexo N° 01.

Parámetro	Unidad	Valor
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/l	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)}	mg/l	1000
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	500
Aceites y Grasas (A y G)	mg/l	100

Fuente: Ministerio de construcción y saneamiento DS 010-2019 vivienda.

Tabla 4

Valores máximos admisibles para descargas industriales al alcantarillado anexo N° 02.

Parámetro	Unidad	Valor
Aluminio (Al)	mg/l	10
Arsénico (As)	mg/l	0.5
Boro (B)	mg/l	4
Cadmio (Cd)	mg/l	0.2
Cianuro (CN-)	mg/l	1

Fuente: Ministerio de construcción y saneamiento DS 010-2019 vivienda.

2.3 Definición de términos básicos.

Aceites y Grasas (A y G). - Son sustancias lipídicas que, al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie formando natas y espuma.

Afluente. - Agua residual industrial que ingresa al biofiltro para un proceso de tratamiento.

Agua residual. - Descarga de líquidos provenientes por una actividad humana o de una industria.

Biofiltro. - Sistema formado por diferentes lechos de soporte de grava y sustrato *Eisenia Foetida*.

Caudal. - Fluido que pasa a través de una sección en una unidad de tiempo.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅). - Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C).

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

Efluente. - Salida de agua residual después de ser tratada por el biofiltro.

In-situ. - En el lugar, en el sitio.

Muestra. - Parte representativa de líquido industrial para ser analizada sus parámetros

Sólidos Suspendidos Totales (SST). - Son residuos en suspensión en el agua residual.

Sustrato. – Está conformado por una mezcla de aserrín, Lombrices *Eisenia Foetida* mas turba para la degradación de materia orgánica.

CAPÍTULO III. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

3.1 Hipótesis general

El Biofiltro del sistema tipo Tohá de flujo vertical descendente en función al espesor de sus lechos filtrantes son eficientes, para la remoción de parámetros fisicoquímicos Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Aceites y Grasas (A y G).

3.1.1 Hipótesis específica

- ✓ El sistema biofiltro tipo Tohá presenta una eficiencia mayor al 40 % en la remoción de sus parámetros fisicoquímicos.
- ✓ A mayor espesor del sustrato en función de sus lechos filtrantes, presenta mayor eficiencia el sistema Biofiltro tipo Tohá.

CAPÍTULO IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Ubicación del proyecto de investigación.

A) Localización del lugar donde se tomó una porción del efluente.

País: Perú

Región: Cajamarca

Provincia: Celendín

Distrito: Celendín

Lugar: Industria Láctea Fe Y Alegría 57 – CEFOP Celendín.

✓ Coordenadas de la Industria Láctea Fe Y Alegría 57 – CEFOP Celendín UTM WGS84 ZONA 17 SUR.

Este: 815 559 m

Norte: 9 241 533 m

Altitud: 2 608 m.s.n.m

Figura 6
 Plano de ubicación de la Industria Láctea Fe y Alegría 57 – CEFOP Celendín

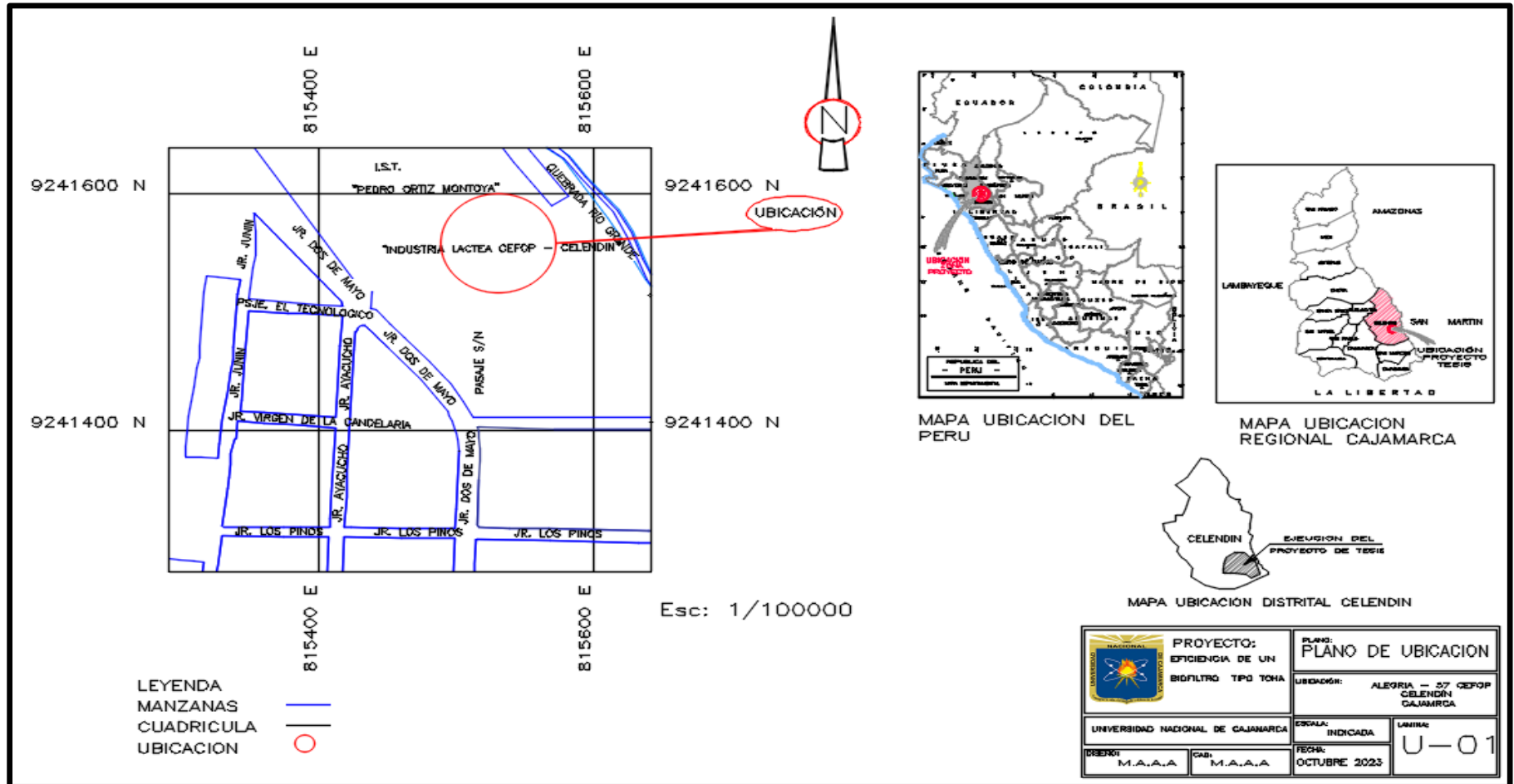


Figura 7

Ubicación satelital de la industria láctea



Fuente: Google Earth Pro

B) Ubicación donde se ejecutará el proyecto de investigación

El presente proyecto de investigación se ejecutará en el siguiente lugar:

País: Perú

Región: Cajamarca

Provincia: Celendín

Distrito: Celendín

Lugar: Jr. Arequipa N°217 Celendín.

✓ Coordenadas UTM WGS84 ZONA 17 SUR

Este: 815 525 m
Norte: 9 239 935 m
Altitud: 2 631 m.s.n.m

Figura 8

Ubicación satelital de ejecución del proyecto de investigación Jr. Arequipa N°217 de la provincia de Celendín.



Fuente: Google Earth Pro

4.2 Materiales

4.2.1 Material biológico

✓ Lombriz *Eisenia Foetida* o Californiana

4.2.2 Material para construcción del biofiltro

- ✓ Recipientes de polietileno de 0.4 m x 0.4 m x 1.2
- ✓ Tubería pvc sap de ½"
- ✓ Codos pvc sap de ½"

- ✓ Codos pvc sap ½”
- ✓ Llaves de paso de ½”
- ✓ Pegamento para tubo pvc
- ✓ Recipientes de polietileno de 20 litros
- ✓ Aserrín de pino
- ✓ Malla Rachell de polietileno color verde densidad 90 %
- ✓ Grava mediana (5 – 30 mm)
- ✓ Grava fina (2 – 5 mm)
- ✓ Papel rotulado para muestras
- ✓ Mica

4.2.3 Materiales y quipos de laboratorio

- ✓ Multiparámetro
- ✓ Termómetro
- ✓ Balanza analítica precisión 0.001 g
- ✓ Ph metro
- ✓ Recipientes esterilizados para la recolección de la muestra
- ✓ Cooler conservador
- ✓ Guantes quirúrgicos

4.2.4 Materiales y equipos de oficina

- ✓ Hojas bond
- ✓ Impresora multifuncional
- ✓ Laptop
- ✓ Calculadora científica

4.4 Metodología

4.4.1 Tipo de investigación

De acuerdo a la naturaleza de investigación, el tipo de investigación es aplicada para determinar la influencia de la variable independiente espesor de lechos filtrantes, sobre la variable dependiente eficiencia de un Biofiltro tipo Tohá de flujo vertical.

4.4.2 Nivel de investigación

El nivel de investigación del presente proyecto es experimental, porque se conoce la metodología que va ser aplicada.

4.4.3 Diseño de investigación

Diseño de la investigación es experimental.

4.4.4 Población de diseño

Efluente de la industria láctea en la ciudad de Celendín.

4.4.5 Muestra

Para la toma de muestra se realizará tres repeticiones por cada Biofiltro del sistema Tohá (ver tabla N° 12).

4.4.6 Unidad de análisis

Volumen de muestra usado para cada parámetro. (ver tabla N° 05).

4.4.7 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se realizó según la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA, 2018) afirma para las condiciones de preservación y almacenamiento de las muestras para los parámetros Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Aceites y Grasas (A y G) y Sólidos Suspendidos Totales (SST) se muestra a continuación.

Tabla 5
Toma de muestra de agua y preservación

Parámetro	Recipiente	Volumen de muestra	Tipo de matriz	Preservación	Tiempo máximo de duración
Demanda					
Bioquímica de Oxígeno (DBO)	Plástico	1000 ml	Agua industrial	Sin preservación	24 horas
Demanda					
Química de Oxígeno (DQO)	Plástico	500 ml	Agua industrial	Agregar 25 gotas de H ₂ SO ₄	24 horas
Sólidos					
Suspendidos Totales	Plástico	1000 ml	Agua industrial	Sin preservación	24 horas
Aceites y Grasas	Vidrio	300 ml	Agua industrial	Agregar 25 gotas de H ₂ SO ₄	24 horas

Fuente: (DIGESA, 2022)

Las muestras se enviarán al Laboratorio Regional del Agua Cajamarca acreditado por INACAL, que se encargará del análisis correspondiente y aplicará la técnica de análisis de muestra para cada parámetro.

Tabla 6
Métodos de ensayo usados para la determinación de los parámetros

Ensayo	Unidad	Método de ensayo utilizados
Sólidos		
Suspendidos	mg/l	SMEWW-APHA-AWWA-WFF Part 2540 A,D,22 nd Ed.2012.Solids, Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Totales		
Demanda	mg	SMEWW-APHA-AWWA-WFF Part 5210 B, 22 nd
Bioquímica de	O ₂ /L	Ed.2012.Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day
Oxígeno (DBO)		BOD Test
Demanda	mg	SMEWW-APHA-AWWA-WFF Part 5220 A, D, 22 nd
Bioquímica de	O ₂ /L	Ed.2012. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed
Oxígeno (DQO)		Reflux, Colorimetric Method
Aceites y Grasas	mg/l	EPA Method 1664 Rev. B. 2010: n-Hexane Extractable Material (HEM, Oil and Grease) and Silica Gel Treated Extractable Material (SGT-HEM, Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.

Fuente: Protocolo de muestreo Autoridad Nacional del Agua ANA-MINAGRI (2018)

4.4.8 Análisis e interpretación de datos

Los análisis e interpretación de datos se harán con la metodología experimental.

4.4.9 Metodología aplicada.

A) Fase preliminar de gabinete

Para la fase preliminar en gabinete se tuvo que buscar información técnica a ingenieros a fines conocedores de sistemas de tratamiento de aguas residuales, herramientas en la búsqueda en fuentes de libros, artículos científicos, tesis de pregrado y posgrado, para que nos amplíen los métodos convencionales y no convencionales para la depuración de efluentes de aguas industriales.

B) Fase de campo

✓ Elección de la empresa de producción de derivados lácteos

La elección se realizó teniendo en cuenta que la empresa la industria láctea Fe y Alegría 57 – CEFOP Celendín, se dedica a los diferentes procesos de derivados lácteos, productos fermentados yogurt, queso, quesillo, con una producción de 25 l/día a partir de vacas con equipamiento industrial adecuado, personal calificado y ambientes funcionales para la elaboración de productos lácteos.

✓ Caracterización del efluente de la industria láctea

Se realizó la caracterización de las muestras del efluente Industrial lácteo con tres repeticiones en las fechas indicadas, con la finalidad de identificar la variación de sus parámetros fisicoquímicos; la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Aceites y Grasas (A y G), evaluar la eficiencia del tratamiento de cada uno de los Biofiltros tipo Tohá de flujo vertical descendente.

La primera muestra se realizó el 31 de julio del 2023 y el resultado de la caracterización se reportó el 11 de agosto 2023, la segunda muestra se realizó el 23 de agosto del 2023 y el resultado de la caracterización se reportó el 04 de septiembre del 2023, tercera muestra el 18 de septiembre del 2023 y el resultado de la caracterización se reportó el 28 de septiembre del 2023, por el Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca.

Tabla 7

Primera caracterización de la industria láctea Fe y Alegría CEFOP Celendín

Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	2.5	3252.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mgO ₂ /L	2.6	33435.10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mgO ₂ /L	8.3	76071.40
Aceites y Grasas (A y G)	mg/l	1.7	376.20

LCM: Limite de Cuantificación del Método

Tabla 8

Segunda caracterización de la industria láctea Fe y Alegría CEFOP Celendín

Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	2.5	3720.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mgO ₂ /L	2.6	29550.00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mgO ₂ /L	8.3	69285.70
Aceites y Grasas (A y G)	mg/l	1.7	459.30

LCM: Limite de Cuantificación del Método

Tabla 9

Tercera caracterización de la industria láctea Fe y Alegría CEFOP Celendín

Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	2.5	3000.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mgO ₂ /L	2.6	2411.40
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mgO ₂ /L	8.3	59285.70
Aceites y Grasas (A y G)	mg/l	1.7	761.30

LCM: Limite de Cuantificación del Método

Figura 9

Caracterización del efluente homogenizado de la industria láctea Fe y Alegría 57 – CEFOP Celendín



- ✓ Elección y acondicionamiento del lugar para la construcción de los Biofiltros

El trabajo de ejecución del proyecto de tesis se realizó en las instalaciones de la vivienda del Jr. Arequipa N° 217, ya que cuenta con los espacios adecuados para un control y monitoreo en el desarrollo del proyecto, el acondicionamiento consistió en la limpieza del área de instalación adecuada para los Biofiltros.

Figura 10

Acondicionamiento, ejecución del sistema Biofiltro tipo Tohá de flujo vertical



- ✓ Recolección de la muestra sacada del efluente y transporte del efluente

La recolección del efluente de la industria láctea Fe y Alegría CEFOP Celendín se realizó en tomas de muestras de 20 litros, transportándolas al lugar de trabajo de la ejecución del proyecto de tesis ubicada Jr. Arequipa N°217, en el cual fue almacenada en un tanque para ser almacenada y homogenizada para su caracterización y tratamiento.

Figura 11

Recolección de muestra de la industria láctea Fe y Alegría CEFOP - Celendín



✓ Suministro de material agregado para el Biofiltro Tohá

El material extraído fue del caserío de Llanguat, río la Llanga; se realizó el zarandeado según Badillo y Rodríguez (2005) recomienda en su análisis granulométrico pasar por un tamiz de 5 mm, para obtener una fracción de grava mayor a 2 mm y menor a 5 mm considerada como grava fina, y una malla de 30 mm para obtener una fracción de grava mayor a 5 mm y menor a 30 mm considerada como grava media, obteniendo la medida indicadas de granulometría.

Figura 12
Zarandeado de grava en río la Llanga, caserío de Llanguat



El aserrín de pino fue proveído de la carpintería maderera de la provincia de Celendín. Las Lombrices *Eisenia Foetida* o Californiana fueron obtenidas de las camas de lombricultura del vivero Municipal Venecia Cajamarca.

Figura 13
Camas de lombricultura del vivero Municipal Venecia Cajamarca



✓ Aclimatación de la Lombriz *Eisenia Foetida*

Loro Ocampos (2018) recomienda en su investigación antes de colocar a las Lombrices *Eisenia Foetida* en el Lombrifiltro para iniciar el proceso tratamiento de las aguas residuales, será necesario que pasen por un proceso de aclimatación para que logren adaptarse, de manera progresiva, a estar en contacto con las aguas residuales; de lo contrario, exponerlas de manera directa dañaría la epidermis de las Lombrices, incluso podrían experimentar cambios bruscos de su entorno o hábitat que afecten su metabolismo; para el presente caso de aclimatación se hizo durante cinco días, vertiendo un litro por día .

Figura 14

Climatización de Lombriz *Eisenia Foetida* con muestra de la industria láctea Fe y Alegría CEFOP - Celendín



✓ Determinación de la población de la Lombriz *Eisenia Foetida*

Se determinó la población de la Lombriz *Eisenia Foetida* según Manrique y Piñeros (2016) indica que la cantidad de Lombrices debe ser 10 000 Lombrices por metro cubico de altura del sustrato; por lo tanto, para una altura de 30 cm (0.048 m^3) y 40 cm (0.064 m^3) de sustrato se contabilizaron 480 y 640 Lombrices para cada tratamiento, del sistema Tohá.

Figura 15
Contabilización de la Lombriz *Eisenia Foetida*



✓ Tiempo de retención hidráulico (TRH)

Determinamos el tiempo de retención hidráulica para los cuatro tratamientos en función de los lechos filtrantes de cada uno de los biofiltros. Según Pineda-Pineda (2012) la porosidad del aserrín de pino es del 80 % (Pineda-Pineda, y otros, 2012).

$$TRH = \frac{\rho V_S}{Q}$$

Donde:

TRH: Tiempo de retención hidráulico (hr)

ρ : Porosidad del medio (%)

V_S : Volumen del sustrato (m³)

Q: Caudal de afluente que atraviesa el biofiltro (m³/h)

a.- Biofiltro N° 1

Presenta un caudal de $3.6 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ calculado por el método volumétrico, en el fluente a nuestro biofiltro N° 1, determinamos su tiempo de retención.

$$\text{Sabemos } TRH = \frac{\rho V_s}{Q}$$

$$TRH = \frac{80\% \times 0.048}{3.6 \times 10^{-4}}$$

$$TRH = 106.67 \text{ h} = 4.44 \text{ días}$$

Según Bravo Marinni (2019) cumple para 4.44 días el tiempo mínimo de retención hidráulica de dos horas. Si consideramos para un caudal mínimo en un tiempo de retención hidráulica de dos horas indicado por el autor y un caudal para un tiempo de retención de 4 horas obtenemos:

- Para 2 horas de retención hidráulica

$$TRH = \frac{\rho V_s}{Q}$$

Reemplazando

$$2 = \frac{80\% \times 0.048}{Q}$$

$$Q = 0.02 \text{ m}^3/\text{h} = 20 \text{ l/h}$$

En un tiempo de retención hidráulica de dos horas nuestro caudal mínimo es de 20 l/h

- Para 4 horas de retención hidráulica

$$TRH = \frac{\rho V_s}{Q}$$

Reemplazando

$$4 = \frac{80\% \times 0.048}{Q}$$

$$Q = 0.0096 \text{ m}^3/\text{h} = 9.6 \text{ l/h}$$

En un tiempo de retención hidráulica de cuatro horas nuestro caudal es de 9.6 l/h

b.- Biofiltro N°2

$$\text{Sabemos TRH} = \frac{\rho V_s}{Q}$$

$$\text{TRH} = \frac{80\% \times 0.064}{3 \times 10^{-4}}$$

$$\text{TRH} = 170.67 \text{ h} = 7.11 \text{ días}$$

Según Bravo Marinni (2019) cumple para 7.11 días el tiempo mínimo de retención hidráulica de dos horas. Si consideramos para un caudal mínimo en un tiempo de retención hidráulica de dos horas indicado por el autor y un caudal para un tiempo de retención de 4 horas obtenemos.

- Para 2 horas de retención hidráulica

$$\text{TRH} = \frac{\rho V_s}{Q}$$

Reemplazando

$$2 = \frac{80\% \times 0.064}{Q}$$

$$Q = 0.025 \text{ m}^3/\text{h} = 25 \text{ l/h}$$

En un tiempo de retención hidráulica de dos horas nuestro caudal mínimo es de 25 l/h

- Para 4 horas de retención hidráulica

$$\text{TRH} = \frac{\rho V_s}{Q}$$

Reemplazando

$$4 = \frac{80\% \times 0.064}{Q}$$

$$Q = 0.0128 \text{ m}^3/\text{h} = 12.8 \text{ l/h}$$

En un tiempo de retención hidráulica de cuatro horas nuestro caudal es de 12.8 l/h

c.- biofiltro N°3

$$\text{Sabemos TRH} = \frac{\rho V_s}{Q}$$

$$\text{TRH} = \frac{80\% \times 0.048}{2.88 \times 10^{-4}}$$

$$\text{TRH} = 133.3 \text{ h} = 5.55 \text{ días}$$

Según Bravo Marinni (2019) cumple para 5.55 días el tiempo mínimo de retención hidráulica de dos horas. Si consideramos para un caudal mínimo en un tiempo de retención hidráulica de dos horas indicado por el autor y un caudal para un tiempo de retención de 4 horas obtenemos:

- Para 2 horas de retención hidráulica

$$\text{TRH} = \frac{\rho V_s}{Q}$$

Reemplazando

$$2 = \frac{80\% \times 0.048}{Q}$$

$$Q = 0.02 \text{ m}^3/\text{h} = 20 \text{ l/h}$$

En un tiempo de retención hidráulica de dos horas nuestro caudal mínimo es de 20 l/h

- Para 4 horas de retención hidráulica

$$\text{TRH} = \frac{\rho V_s}{Q}$$

Reemplazando

$$4 = \frac{80\% \times 0.048}{Q}$$

$$Q = 0.0096 \text{ m}^3/\text{h} = 9.6 \text{ l/h}$$

En un tiempo de retención hidráulica de cuatro horas nuestro caudal es de 9.6 l/h

d.- biofiltro N°4

$$\text{Sabemos TRH} = \frac{\rho V_s}{Q}$$

$$\text{TRH} = \frac{80\% \times 0.064}{3.09 \times 10^{-4}}$$

$$\text{TRH} = 165.69 \text{ h} = 6.9 \text{ días}$$

Según Bravo Marinni (2019) cumple para 6.9 días el tiempo mínimo de retención hidráulica de dos horas. Si consideramos para un caudal mínimo en un tiempo de retención hidráulica de dos horas indicado por el autor y un caudal para un tiempo de retención de 4 horas obtenemos:

- Para 2 horas de retención hidráulica

$$\text{TRH} = \frac{\rho V_s}{Q}$$

Reemplazando

$$2 = \frac{80\% \times 0.064}{Q}$$

$$Q = 0.025 \text{ m}^3/\text{h} = 25 \text{ l/h}$$

En un tiempo de retención hidráulica de dos horas nuestro caudal mínimo es de 25 l/h

- Para 4 horas de retención hidráulica

$$\text{TRH} = \frac{\rho V_s}{Q}$$

Reemplazando

$$4 = \frac{80\% \times 0.064}{Q}$$

$$Q = 0.0128 \text{ m}^3/\text{h} = 12.8 \text{ l/h}$$

En un tiempo de retención hidráulica de cuatro horas nuestro caudal es de 12.8 l/h

- ✓ Tasa de carga hidráulica (TCH)

La tasa la carga hidráulica fue calculada para los cuatro biofiltros, compuestas de diferentes lechos filtrantes, del efluente residual de la industria láctea Fe y Alegría CEFOP Celendín.

$$TCH = \frac{V_{Ar}}{A.T}$$

Donde:

TCH: Tasa de carga hidráulica ($m^3/m^2 \cdot día$)

V_{Ar} : Volumen de agua residual (m^3)

A: Área de material filtrante (m^2)

t: tiempo que demora en escurrir (día)

Para el biofiltro N° 1

$$TCH = \frac{V_{Ar}}{A.T}$$

$$TCH = \frac{0.02}{0.16 \times 4.44}$$

TCH = $0.028 m^3/m^2 \cdot día$ Según Li et al (2009), si la TCH es menor $1 m^3/m^2 \cdot día$, es un tratamiento eficiente y estable.

Para el biofiltro N° 2

$$TCH = \frac{V_{Ar}}{A.T}$$

$$TCH = \frac{0.02}{0.16 \times 5.33}$$

TCH = $0.023 m^3/m^2 \cdot día$ Según Li et al (2009), si la TCH es menor $1 m^3/m^2 \cdot día$, es un tratamiento eficiente y estable.

Para el biofiltro N° 3

$$TCH = \frac{V_{Ar}}{A.T}$$

$$TCH = \frac{0.02}{0.16 \times 5.55}$$

TCH = $0.02 m^3/m^2 \cdot día$ Según Li et al (2009), si la TCH es menor $1 m^3/m^2 \cdot día$, es un tratamiento eficiente y estable.

Para el biofiltro N°4

$$TCH = \frac{V_{Ar}}{A.T}$$

$$TCH = \frac{0.02}{0.16 \times 5.18}$$

TCH = 0.02 m³/m². día Según Li et al (2009), si la TCH es menor 1m³/m².día, es un tratamiento eficiente y estable.

✓ Rotulado del Biofiltro

Los Biofiltros fueron rotulados para ser identificados en cada uno de los tratamientos.

Figura 16

Rotulado de los cuatro Biofiltro del sistema Tohá de flujo vertical



✓ Caudal del efluente de la industria láctea

El caudal del efluente de la industria láctea se utilizó el método volumétrico el cual nos permitió medir el aforo realizando cinco repeticiones recomendado por el autor Barreto Sáenz (2009), se requirió un recipiente graduado de 5 litros obteniendo los tiempos de: 58 segundos, 55 segundos, 57 segundos, 55 segundos y 56 segundos; con estos datos calculamos el tiempo promedio.

$$T = \frac{\text{Suma de tiempos}}{\text{Numero de veces}}$$

Donde:

T: tiempo

$$T = \frac{58+55+57+55+56}{5}$$

$$T = 56.2 \text{ segundos}$$

El tiempo promedio es de 56.2 segundos, remplazamos para calcular el caudal:

$$Q = \frac{V}{T}$$

Donde:

Q= Caudal (l/s)

V= Volumen (l)

T= Tiempo (T)

Reemplazando tenemos:

$$Q = \frac{5}{56.2}$$

$$Q = 0.09 \text{ l/s}$$

Por lo tanto, el caudal del efluente de la industria láctea es 0.09 l/s.

✓ Abastecimiento de agua residual al Biofiltro

El ingreso de abastecimiento se realizó según lo que recomienda Samal et al (2018) pasó por un tubo de PVC agujerado a un caudal constante y no variable, para medir este caudal se medirá empleando el método volumétrico tres veces en un tiempo de un minuto. De esta manera, el agua residual industrial pueda ser repartida homogéneamente al sustrato del Lombrifiltro del Biofiltro de flujo vertical pasando por sus lechos filtrantes hasta obtener el efluente tratado, los caudales promedios medidos en nuestro sistema del Biofiltro Tohá de flujo vertical fueron en el Biofiltro N°1 de 120 gotas/minuto, Biofiltro N°2 de 100 gotas/minuto, Biofiltro N°3 de 96 gotas/minuto, Biofiltro N°4 de 103 gotas/minuto

Figura 17

Abastecimiento del efluente por goteo de la industria láctea Fe y Alegría CEFOP - Celendín



✓ Instalación del Biofiltro tipo Tohá

Para el acondicionamiento de los Biofiltros se utilizaron cuatro contenedores, de dimensiones 0.9 m x 0.40 m x 0.40 m. El sistema, se diseñó teniendo en cuenta a la investigación Ramón et al. 2015 considera que la distribución se debe realizar por capas, tomando en cuenta este criterio en la parte inferior de cada Biofiltro se colocó una capa conformada por grava mediana, una capa de grava fina haciendo altura de 0.20 m y 0.30 m definidas en cada uno de los Biofiltros y en la parte superior se dispondrá de una capa mezclada de aserrín más turba y la Lombriz *Eisenia Foetida* alcanzando alturas de 0.30 m y 0.40 m con la siguientes medidas mostradas a continuación.

Tabla 10
Medidas del Biofiltro

Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Volumen (m³)
0.90	0.40	0.40	0.144

✓ Esquema de los tratamientos a realizarse

Tabla 11
Conformación de lechos filtrantes para cada Biofiltro

Biofiltro	Altura de la capa de grava (m)	Altura de la capa de aserrín + Lombriz (m)	Volumen de la grava (m³)	Cantidad de Lombriz (unid)	Volumen aserrín + Lombriz + turba (m³)
Biofiltro N° 01	0.20	0.30	0.04	480	0.048
Biofiltro N°2	0.20	0.40	0.04	640	0.064
Biofiltro N°3	0.30	0.30	0.05	480	0.048
Biofiltro N°4	0.30	0.40	0.045	640	0.064

Figura 18
Esquema Biofiltro N° 01

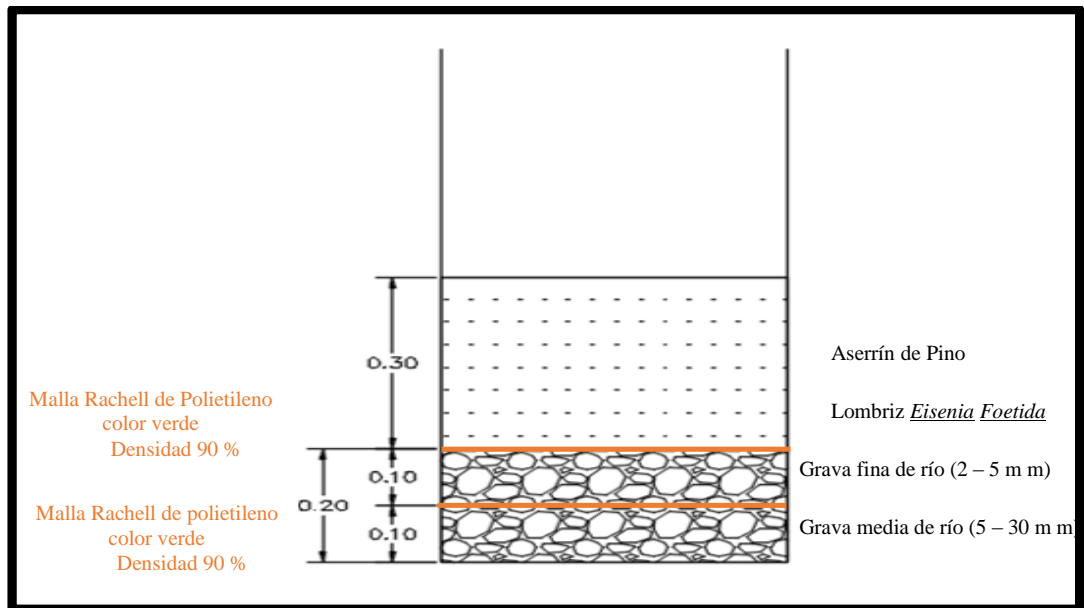


Figura 19
Esquema del Biofiltro N° 02

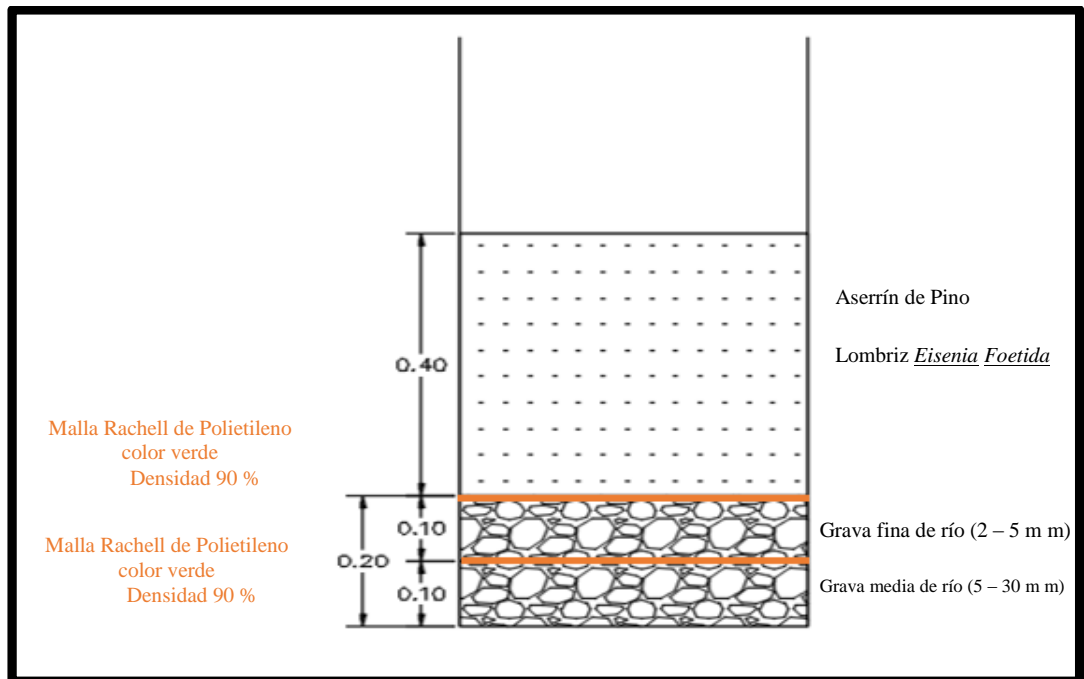


Figura 20
Esquema Biofiltro N° 03

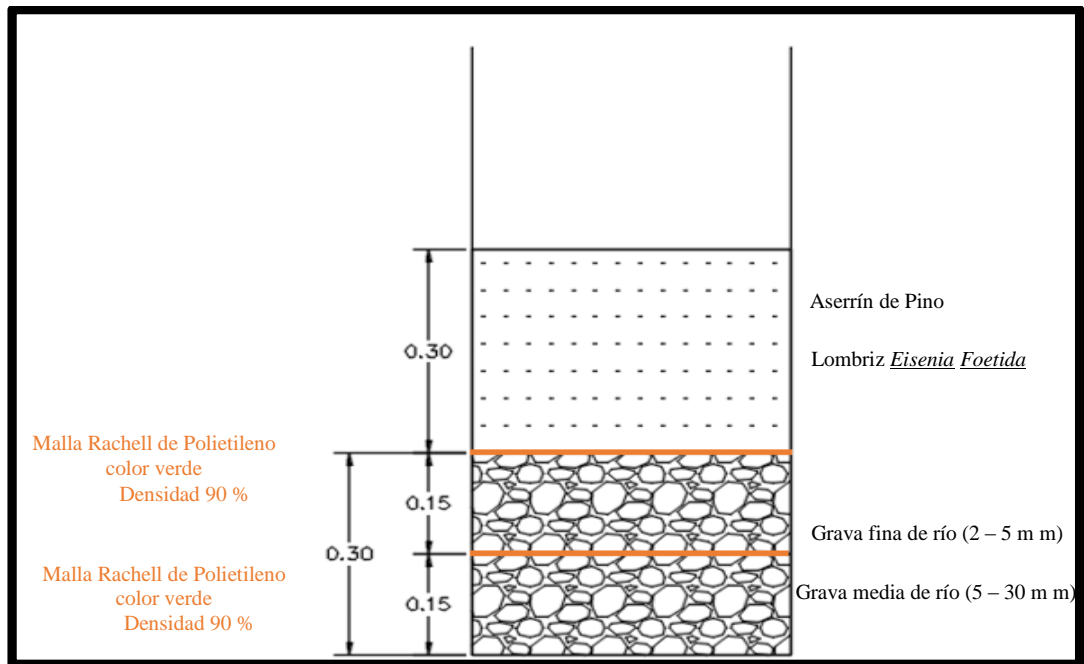


Figura 21
Esquema Biofiltro N° 04

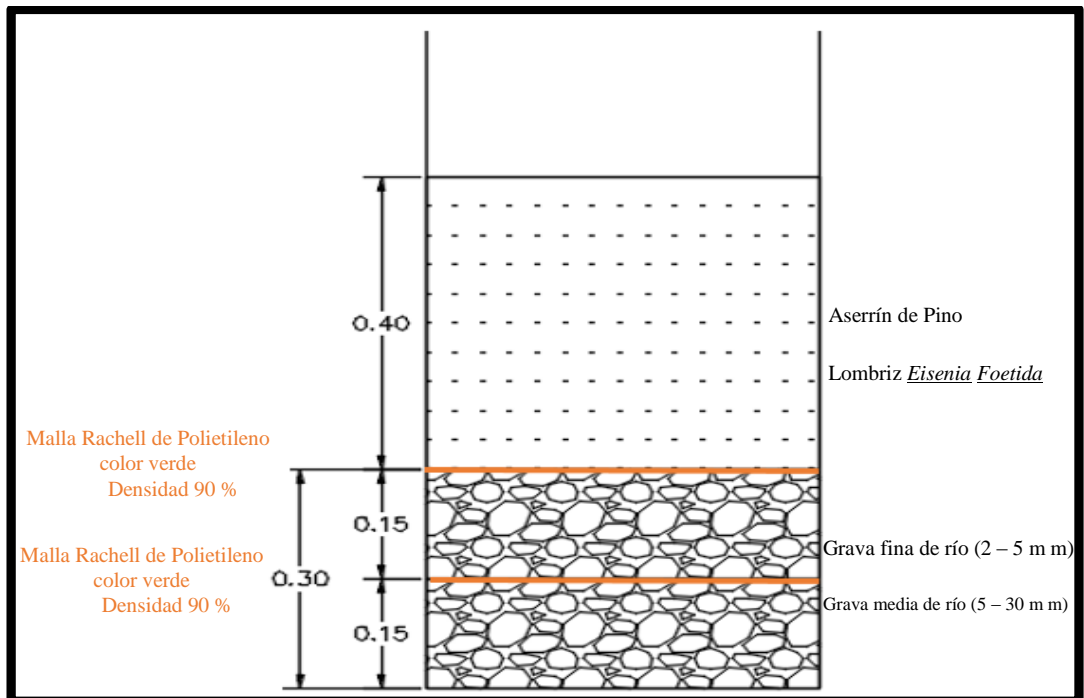


Figura 22

Instalación del sistema tohá para la puesta en marcha, con la supervisión del asesor ing. Agustín Medina Chávez



✓ Operación, Monitoreo y mantenimiento del sistema Tohá

Según A.V.F INGENIERIA AMBIENTAL (2003) para realizar la operación, monitoreo y mantenimiento del sistema Tohá se debe cumplir y realizar:

- La vida útil de sistema tohá es sostenible en el tiempo, las lombrices se reproducen en condiciones óptimas de Ph, humedad y temperatura, el aserrín se agrega por la disminución del sustrato, el agregado se lava.

- Realizar el horqueteo de la viruta superficial del lecho, para mejorar la permeabilidad de éste evitando aposamiento de aguas, para el correcto funcionamiento del Lombrifiltro.

- No debe haber aposamientos en el sustrato, debe estar saturado cumplir con la humedad debido a que la lombriz se aleja se debe horquetear.

- Si hay crecimiento de vegetación se debe desmalezar.

- Cada 4 meses se debe agregar aserrín de pino al sustrato.

- Limpiar las tuberías por acumulación de grasa y que el flujo sea uniforme en el riego

Figura 23

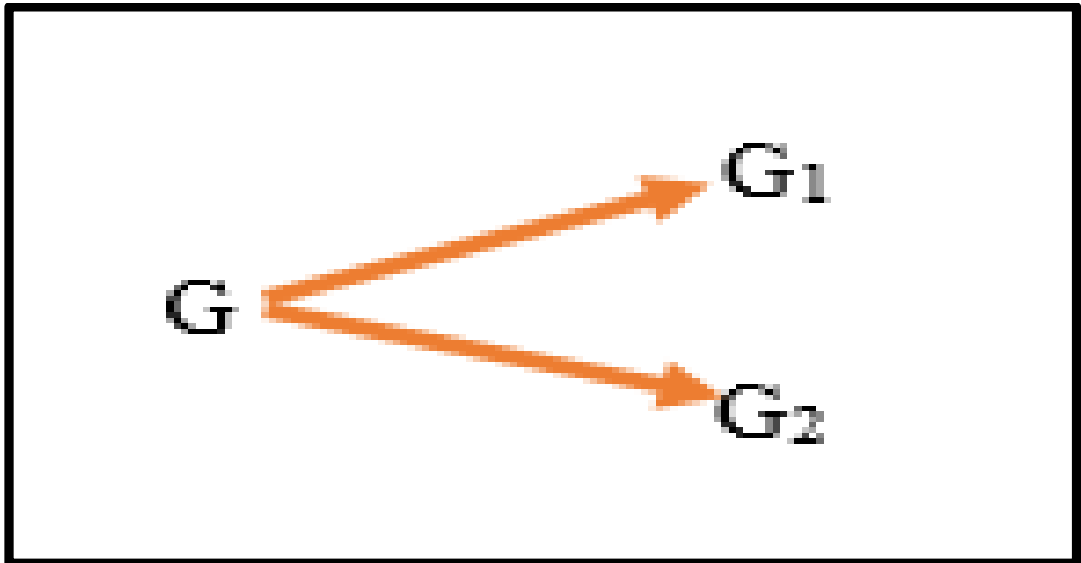
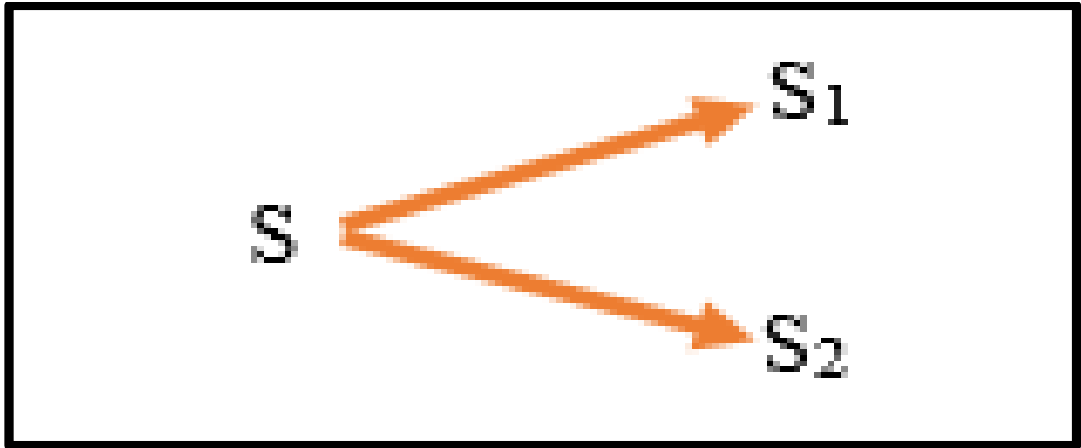
Verificación de aposamiento en el biofiltro y medición de Ph



✓ Diseño estadístico.

El experimento se desarrollará realizando cuatro tratamientos con diferentes espesores de material biológico *Eisenia Foetida* en los estratos de cada Biofiltro.

Los tratamientos serán distribuidos con el diseño estadístico utilizando, cuatro tratamientos en función del espesor de sus lechos que conformará cada capa del Biofiltro y se realizará tres (3) repeticiones.



Donde:

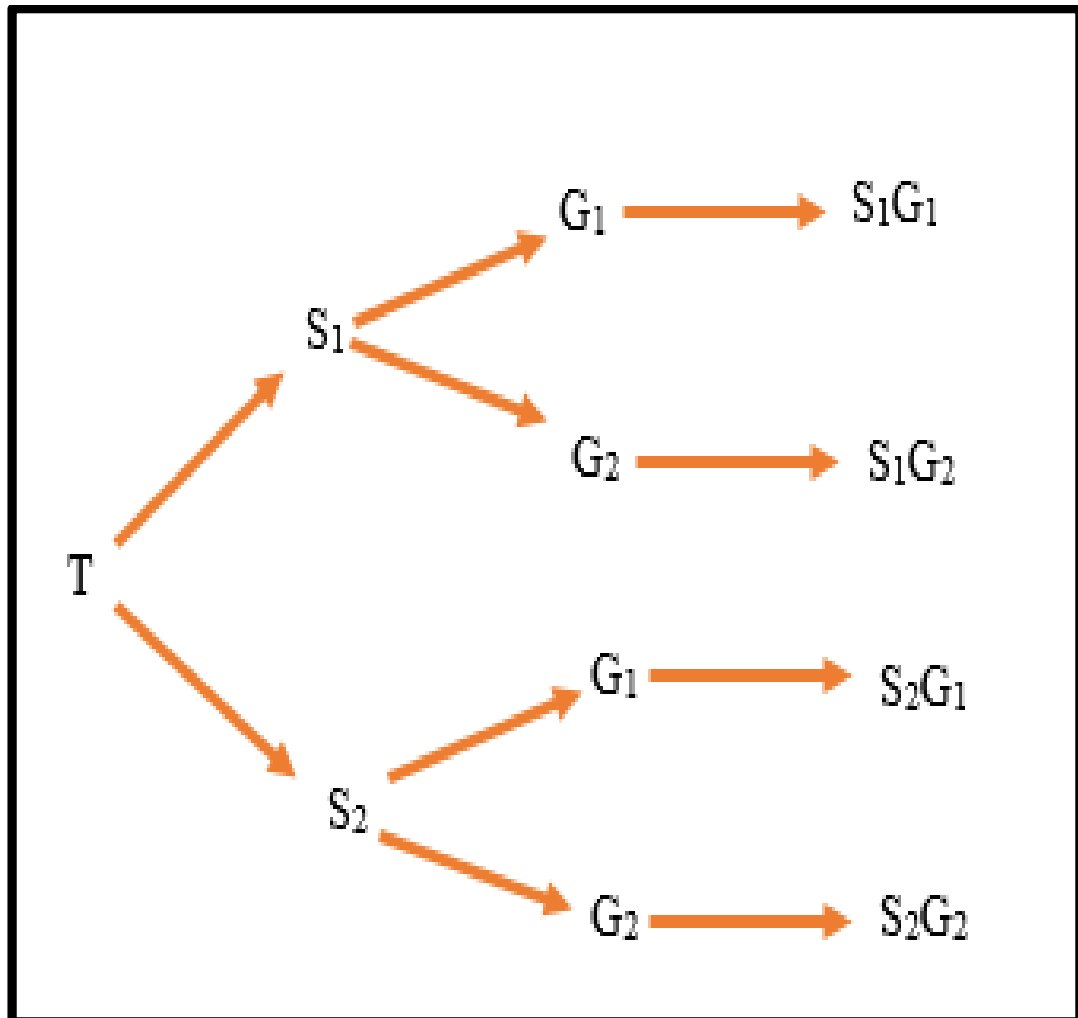
- | | |
|--|--|
| S. Altura de la capa de grava | (Grava mediana + grava fina) |
| S ₁ : Capa de grava de 20 cm de altura | (Grava mediana 10 cm + grava fina 10 cm) |
| S ₂ : Capa de grava de 30 cm de altura | (Grava mediana 15 cm + grava fina 15 cm) |
| G. Altura de la capa orgánica | (Aserrín + Lombriz + humus) |
| G ₁ : Capa orgánica de 30 cm de espesor | (Aserrín, Lombriz roja y humus) |
| G ₂ : Capa orgánica de 40 cm de espesor | (Aserrín, Lombriz roja y humus) |

✓ Diagrama del árbol de los tratamientos (T).

Se muestra el diagrama del árbol de los cuatro (4) tratamientos

Figura 24

Diagrama del árbol con cuatro tratamientos (T)



✓ Diseño experimental del proyecto

Cada uno de los tratamientos estará conformado por distintas alturas de las capas que conforman cada Biofiltro, teniendo un total de cuatro tratamientos a los cuales se les aplicara por medio de goteo el agua del efluente crudo proveniente de la industria láctea Fe y Alegría 57 – CEFOP Celendín.

Se realizará tres repeticiones por cada uno de los cuatro tratamientos, a continuación, se describe como se distribuirá el tratamiento por Biofiltros tipo Tohá:

Tabla 12
Diseño experimental del proyecto

ITEM	Tratamiento	Repeticiones		
01	S ₁ G ₁	R11	R12	R13
02	S ₁ G ₂	R21	R22	R23
03	S ₂ G ₁	R31	R32	R33
04	S ₂ G ₂	R41	R42	R43

Donde:

S₁G₁: Lecho de grava de 20 cm de espesor (10 cm de grava mediana y 10 cm de grava fina) y lecho orgánico 30 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

S₁G₂: Lecho de grava de 20 cm de espesor (10 cm de grava mediana y 10 cm de grava fina) y lecho orgánico 40 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

S₂G₁: Lecho de grava de 30 cm de espesor (15 cm de grava mediana y 15 cm de grava fina) y lecho orgánico 30 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

S₂G₂: Lecho de grava de 30 cm de espesor (15 cm de grava mediana y 15 cm de grava fina) y lecho orgánico 40 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

✓ Técnica e instrumentos de recolección de datos

Se realizó el análisis de los Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos Totales (SST), aceites y grasas (A y G) una vez cada quince días para cada Biofiltro. Para la toma de muestras se usará los protocolos de muestreo correspondientes y seguidamente se enviarán al Laboratorio Regional del Agua para la realización del análisis correspondiente.

Tabla 13
Técnicas de recolección de muestras

Monitoreo	Frecuencia	Parámetros analizados
1	31/07/2023	
2	23/08/2023	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda
3	13/09/2023	Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos
4	18/09/2023	Totales (SST), Aceites y Grasas (A y G)
5	05/10/2023	

Figura 25
Recolección de muestras, para el análisis de muestras en el Laboratorio Regional de Cajamarca



- ✓ Recolección de muestras y envío al laboratorio

Se realizó la toma de muestras una vez cada 15 días y posteriormente las muestras tomadas fueron enviadas al Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca, para su respectivo análisis de los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos Totales (SST), Aceites y Grasas (AG).

Figura 26

Toma de muestras del efluente tratado del Biofiltro, sistema Tohá



- ✓ Parámetros de control

La Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales (ACTAF, 2017) en su investigación manifiesta que para la medición de la humedad debemos de tener en cuenta en el sustrato si la masa apretada no toma la forma del puño cerrado, no gotea la humedad es menor al 70 % hay que regar; si la masa apretada toma la forma del

puño cerrado y no gotea, luego la humedad es entre 70 % y 80 % no regar; si la masa apretada toma la forma del puño cerrado y gotea menor a 10 gotas en un minuto, la humedad es de un 85 % y 90 % no regar peligro para las Lombrices; el exceso de humedad genera una oxigenación deficiente; la medición de Ph y de la temperatura son medidos en el sustrato insitu.

Figura 27

Medición de Ph en los biofiltros del sistema Tohá



Figura 28
Medición de temperatura en cada biofiltro



Figura 29
Medición de la humedad por el método del puño



c) Fase final de Gabinete

✓ Eficiencia del Biofiltro

Los valores obtenidos en el Laboratorio Regional del Agua de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Aceites y Grasas (A y G); en cada uno de los Biofiltros se procederá a calcular el porcentaje de remoción en cada parámetro analizado, para cada uno de los tratamientos con Biofiltros del tipo Tohá, basado en la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Remoción DBO} = \frac{\text{DBO afluente} - \text{DBO efluente}}{\text{DBO afluente}} * 100$$

$$\% \text{ Remoción DQO} = \frac{\text{DQO afluente} - \text{DQO efluente}}{\text{DQO afluente}} * 100$$

$$\% \text{ Remoción SST} = \frac{\text{SST afluente} - \text{SST efluente}}{\text{SST afluente}} * 100$$

$$\% \text{ Remoción Aceites y Grasas} = \frac{\text{AG afluente} - \text{AG efluente}}{\text{AG afluente}} * 100$$

Fuente: Caicedo Campoverde (2017)

✓ Análisis de varianza (ANOVA)

Lara Porras (2000) considera el diseño factorial 2^2 con dos factores en el que hay a niveles para el factor A y b niveles para el factor B, cada réplica del experimento contiene todas las posibles combinaciones de tratamientos, es decir contiene los ab tratamientos posibles.

Montgomery y Runger (2003) manifiestan que el experimento factorial con dos factores es un diseño completamente aleatorio, las observaciones pueden describirse con el modelo estadístico lineal a continuación:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$i = 1, 2, \dots, a$

$j = 1, 2, \dots, b$

$k = 1, 2, \dots, n$

μ es el efecto promedio global, τ_i es el efecto del i -ésimo nivel del factor A, β_j es el efecto de j -ésimo nivel del factor B, $(\tau\beta)_{ij}$ es el efecto de la interacción entre A y B y ε_{ijk} un componente de error aleatorio que tiene una distribución normal con media cero y varianza σ^2 .

Tabla 14

Arreglo de datos para un diseño factorial con dos factores

Esesor del sustrato (m)	Esesor de la grava (m)	A	B	Eficiencias	Total
0.30	0.2	-1	-1	$Y_{111}, Y_{112},$ Y_{113}	$Y_{111} + Y_{112} +$ Y_{113}
0.40	0.2	+1	-1	$Y_{211}, Y_{212},$ Y_{213}	$Y_{211} + Y_{212} +$ Y_{213}
0.30	0.30	-1	+1	$Y_{311}, Y_{312},$ Y_{313}	$Y_{311} + Y_{312} +$ Y_{313}
0.40	0.30	+1	+1	$Y_{411}, Y_{412},$ Y_{413}	$Y_{411} + Y_{412} +$ Y_{413}

Fuente: Montgomery y Runger (2003)

En los cuatro parámetros tenemos una tabla de diseño factorial completo (ver tabla 15), debido a que estamos trabajando con dos factores a dos niveles cada factor nivel bajo y alto, tomándose tres replicas por combinación a continuación, mostramos la tabla de varianza modelo factorial 2^2 (Anova).

Tabla 15
Análisis de varianza modelo factorial 2^2 (ANOVA)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	Fo
Factor A	a-1	SCA	CMA	CMA/CMR
Factor B	b-1	SCB	CMB	CMB/CMR
Interacción	(a-1)(b-1)	SC(AB)	CM(AB)	CM(AB)/CMR
Residual	ab(r-1)	SCR	CMR	-
Total	abr-1	SCT	CMT	-

Fuente: Lara Porras (2000)

Las hipótesis por probar son las siguientes según Montgomery y Runger (2003)

1. $H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$ (ningún efecto principal del factor A)

H_1 : al menos para un $\tau_i \neq 0$

2. $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$ (ningún efecto principal del factor B)

H_1 : al menos para un $\beta_j \neq 0$

3. $H_0: (\tau\beta)_{11} = (\tau\beta)_{12} = \dots = (\tau\beta)_{ab} = 0$ (no hay interacción)

H_1 : al menos para un $(\tau\beta)_{ij} \neq 0$

CAPÍTULO V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Parámetros medidos en campo

5.1.1 Humedad

Se obtuvo el porcentaje de humedad (%) con la prueba del puño y también en el laboratorio de Biología y química de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, utilizando una estufa a 105° durante 24 horas para cada uno de los biofiltros, el sustrato conformado por humus y *Eisenia Foetida*, mostramos a continuación los resultados obtenidos:

Tabla 16

Porcentaje de humedad (%) en los biofiltros del sistema Tohá

Repeticiones	Porcentaje de humedad (%)			
	Biofiltro			
	B N°1	B N°2	B N°3	B N°4
Primera repetición	74.08	76.56	73.44	76.88
Segunda repetición	74.26	73.34	71.89	77.05
Tercera repetición	78.05	77.17	74.23	74.53
Promedio	75.47	75.69	73.19	76.15

Donde:

Biofiltro N°1 (B N°1): Lecho de grava de 20 cm de espesor (10 cm de grava mediana y 10 cm de grava fina) y lecho orgánico 30 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

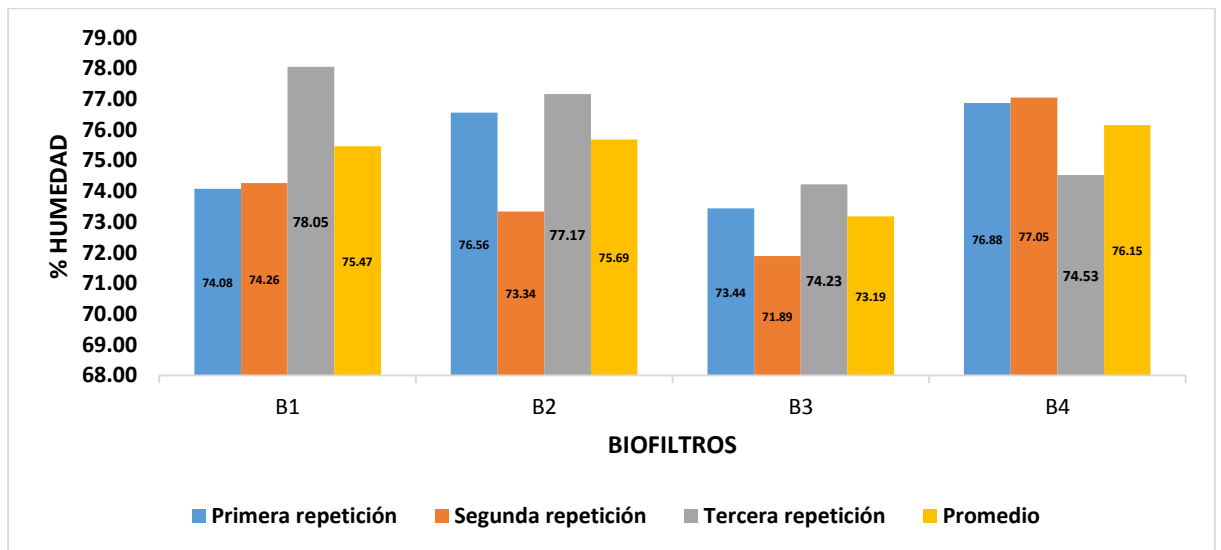
Biofiltro N°2 (B N°2): Lecho de grava de 20 cm de espesor (10 cm de grava mediana y 10 cm de grava fina) y lecho orgánico 40 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

Biofiltro N°3 (B N°3): Lecho de grava de 30 cm de espesor (15 cm de grava mediana y 15 cm de grava fina) y lecho orgánico 30 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

Biofiltro N°4 (B N°4): Lecho de grava de 30 cm de espesor (15 cm de grava mediana y 15 cm de grava fina) y lecho orgánico 40 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

Figura 30

Gráfico porcentaje de humedad (%) en el sustrato de cada biofiltro del sistema Tohá



Discusión:

Los biofiltros cumplen según Bollo Tapia (1999) están comprendidos en un rango adecuado de 70 – 80 % de humedad, en las que pueden vivir las Lombrices *Eisenia Foetida* y pueden producir materia orgánica.

5.1.2 Temperatura

Realizamos la medición de temperatura (°C) a cada uno de los biofiltros en la parte de los sustratos durante los 15 días para cada repetición utilizando un termómetro de suelo; para lo cual obtuvimos los siguientes datos:

Tabla 17

Temperatura (°C) en cada uno de los biofiltros del sistema Tohá

Repeticiones	TEMPERATURA (°C)			
	Biofiltro			
	B N°1	B N°2	B N°3	B N°4
Primera repetición	18	18	18	18
Segunda repetición	17	17	18	18
Tercera repetición	13	13	13	13
Promedio	16	16	16	16

Donde:

Biofiltro N°1 (B N°1): Lecho de grava de 20 cm de espesor (10 cm de grava mediana y 10 cm de grava fina) y lecho orgánico 30 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

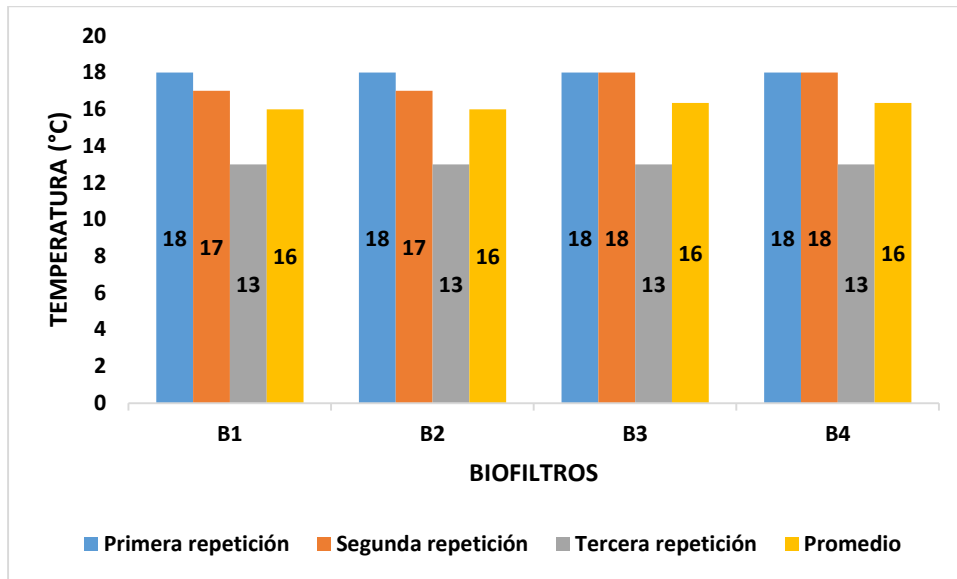
Biofiltro N°2 (B N°2): Lecho de grava de 20 cm de espesor (10 cm de grava mediana y 10 cm de grava fina) y lecho orgánico 40 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

Biofiltro N°3 (B N°3): Lecho de grava de 30 cm de espesor (15 cm de grava mediana y 15 cm de grava fina) y lecho orgánico 30 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

Biofiltro N°4 (B N°4): Lecho de grava de 30 cm de espesor (15 cm de grava mediana y 15 cm de grava fina) y lecho orgánico 40 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

Figura 31

Gráfico de temperatura (°C) en el sustrato de cada biofiltro del sistema Tohá



Discusión:

Las temperaturas (°C) obtenidas según Bollo Tapia (1999) deben estar comprendidas entre 15 - 24 °C las cuales cumplen para la primera repetición de 18 °C, segunda repetición de 18 °C; pero para la tercera repetición disminuyó a 13 °C, esto es un indicador que hay menor consumo de alimento por las lombrices *Eisenia Foetida*, que no están en condiciones para poder sobrevivir y operar en cada uno de los biofiltros.

5.1.3 Ph

La medición del Ph se tomaron datos con un instrumento llamado Ph metro digital en la parte del sustrato de cada uno de los biofiltros durante los 15 días para cada repetición, obteniendo siguientes resultados:

Tabla 18

Ph tomados en cada uno de los biofiltros del sistema Tohá

Repeticiones	Ph				
	Afluente	B N°1	B N°2	B N°3	B N°4
Primera repetición	4.5	6.56	6.55	6.56	6.55
Segunda repetición	4.5	6.54	6.53	6.53	6.55
Tercera repetición	3.2	3.56	3.53	3.55	3.52

Donde:

Biofiltro N°1 (B N°1): Lecho de grava de 20 cm de espesor (10 cm de grava mediana y 10 cm de grava fina) y lecho orgánico 30 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

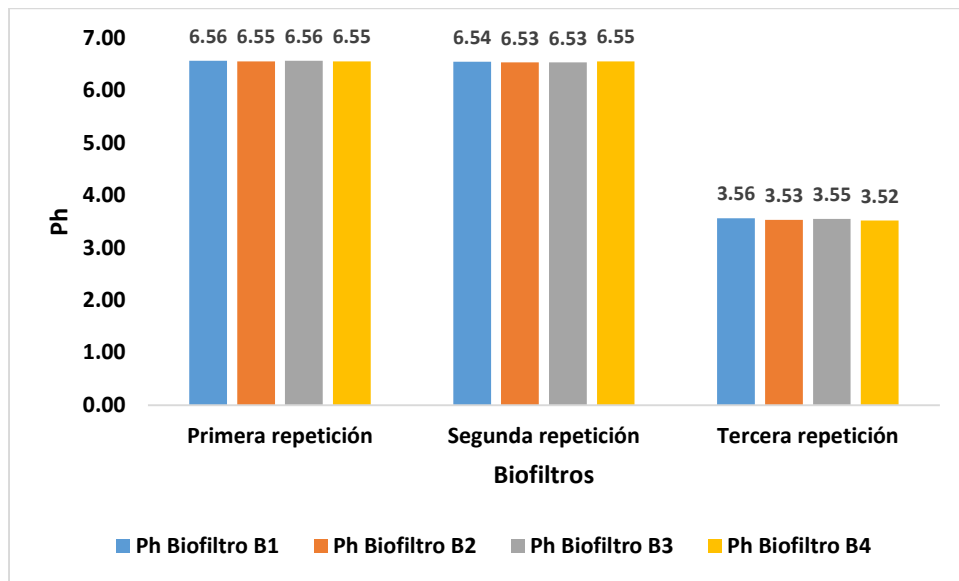
Biofiltro N°2 (B N°2): Lecho de grava de 20 cm de espesor (10 cm de grava mediana y 10 cm de grava fina) y lecho orgánico 40 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

Biofiltro N°3 (B N°3): Lecho de grava de 30 cm de espesor (15 cm de grava mediana y 15 cm de grava fina) y lecho orgánico 30 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

Biofiltro N°4 (B N°4): Lecho de grava de 30 cm de espesor (15 cm de grava mediana y 15 cm de grava fina) y lecho orgánico 40 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

Figura 32

Gráfico de Ph en el sustrato de cada biofiltro del sistema Tohá



Discusión:

El Ph medido en la primera y segunda repetición estuvieron comprendidos entre 6.53 y 6.56, Bollo Tapia (1999) manifiesta que están dentro del rango para optimas operaciones; pero en la tercera repetición el Ph en los biofiltros es de 3.52 – 3.56 por el insumo ácido cítrico usado en planta de la industria láctea para procesos de productos lácteos, el mismo autor indica que es un Ph inadecuado para la operación y sobrevivencia de la Lombriz *Eisenia Foetida*.

5.2 Parámetros medidos en el laboratorio Regional del Agua

5.2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La Demanda Bioquímica de Oxígeno de nuestras muestras fueron analizadas por el Laboratorio Regional del Agua, acreditada por INACAL, tomadas al ingreso y salida del biofiltro, para poder medir la eficiencia en cada uno de los biofiltros del sistema Tohá.

Tabla 19

Análisis de muestras de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el afluente y efluente de los biofiltros del sistema Tohá.

Repeticiones	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO ₅)								
	Afluente del Biofiltro	Efluente del Biofiltro (mg/l)				Eficiencia del biofiltro (%)			
		B N°1	B N°2	B N°3	B N°4	B N°1	B N°2	B N°3	B N°4
Primera repetición	33435.10	2167.50	2297.50	2445.00	2137.50	93.52	93.13	92.69	93.61
Segunda repetición	29550.00	7814.80	8742.50	6114.30	6972.40	73.55	70.41	79.31	76.40
Tercera repetición	23411.4	22113.80	15960.00	9848.00	11124.30	5.54	31.83	57.94	52.48
Promedio		10698.70	9000.00	6135.77	6744.73	57.54	65.12	76.64	74.17

Donde:

Biofiltro N°1 (B N°1): Lecho de grava de 20 cm de espesor (10 cm de grava mediana y 10 cm de grava fina) y lecho orgánico 30 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

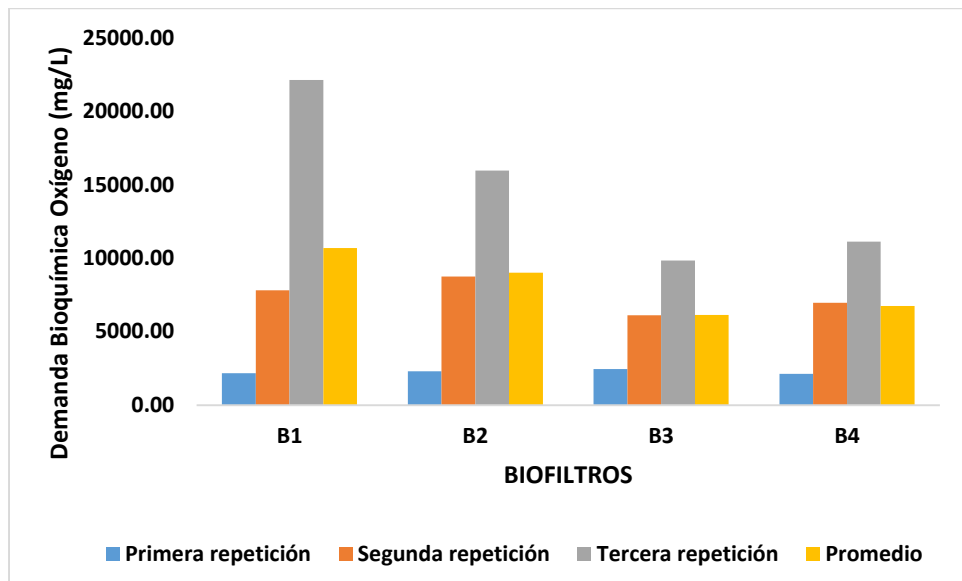
Biofiltro N°2 (B N°2): Lecho de grava de 20 cm de espesor (10 cm de grava mediana y 10 cm de grava fina) y lecho orgánico 40 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

Biofiltro N°3 (B N°3): Lecho de grava de 30 cm de espesor (15 cm de grava mediana y 15 cm de grava fina) y lecho orgánico 30 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

Biofiltro N°4 (B N°4): Lecho de grava de 30 cm de espesor (15 cm de grava mediana y 15 cm de grava fina) y lecho orgánico 40 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

Figura 33

Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el efluente del biofiltro



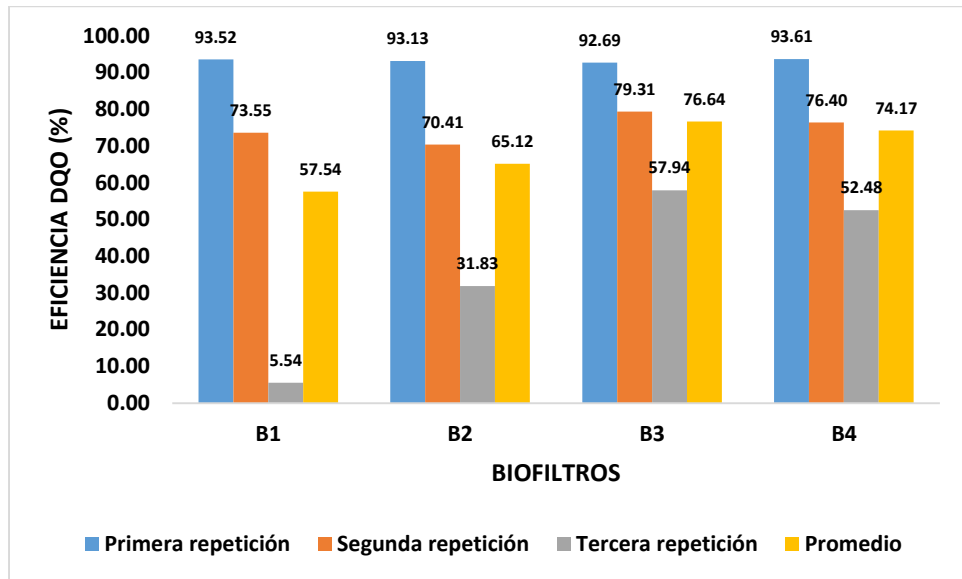
Discusión:

Comparando según lo mencionado por visnathan et al (2015) observamos que el Biofiltro N°1 de lecho 0.20 cm grava y 0.30 cm de sustrato presenta un mayor promedio de Demanda Bioquímica de Oxígeno de 10698.70 mg/l, en comparación con Biofiltro N°3 de 0.30 cm de grava y 0.30 cm de sustrato presenta menor promedio Demanda Bioquímica de Oxígeno de 6135.77 mg/l, esto es un indicador que la grava tiene menor remoción para degradar la DBO que la capa biológica.

En el Biofiltro N°1 DBO 10698.70 mg/l, Biofiltro N°2 DBO 9000.00 mg/l, Biofiltro N°3 DBO 6135.77 mg/l y Biofiltro N°4 DBO 6744.73 mg/l superan los Valores Máximos Admisibles 500 mg/l DBO del anexo N°1, según el Ministerio de Construcción y Saneamiento DS 010 – 2019 Vivienda.

Figura 34

Eficiencias de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el sistema Tohá



Discusión:

La mayor eficiencia en la Demanda Bioquímica de Oxígeno, se obtuvo en el Biofiltro N°4 de 74.17 %, conformada con lechos de grava 0.30 cm y sustrato 0.40 cm; mientras que para el Biofiltro N°1 los lechos de grava 0.20 cm y 0.30 cm de sustrato presenta menor eficiencia de 57.54 %; las cuales son menores a un 80 - 90 % de eficiencia indicado por (visnathan et al 2015).

5.2.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Para la Demanda Química de Oxígeno se analizó en el Laboratorio Regional del Agua, acreditada por INACAL, las muestras fueron tomadas en el afluente y efluente del biofiltro del sistema Tohá, para poder medir la eficiencia en cada uno de los biofiltros del sistema Tohá.

Tabla 20

Análisis de muestras de la Demanda Química de Oxígeno en el afluente y efluente de los biofiltros del sistema Tohá.

Repeticiones	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)								
	Afluente del Biofiltro	Efluente del Biofiltro (mg/l)				Eficiencia del biofiltro (%)			
		B N°1	B N°2	B N°3	B N°4	B N°1	B N°2	B N°3	B N°4
Primera repetición	76071.40	4821.40	4785.70	4892.90	4857.10	93.66	93.71	93.57	93.62
Segunda repetición	69285.70	36428.60	37857.10	28214.30	26071.40	47.42	45.36	59.28	62.37
Tercera repetición	59285.7	41785.70	31607.10	36785.70	37500.00	29.52	46.69	37.95	36.75
Promedio		27678.57	24749.97	23297.63	22809.50	56.87	61.92	63.60	64.24

Donde:

Biofiltro N°1 (B N°1): Lecho de grava de 20 cm de espesor (10 cm de grava mediana y 10 cm de grava fina) y lecho orgánico 30 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

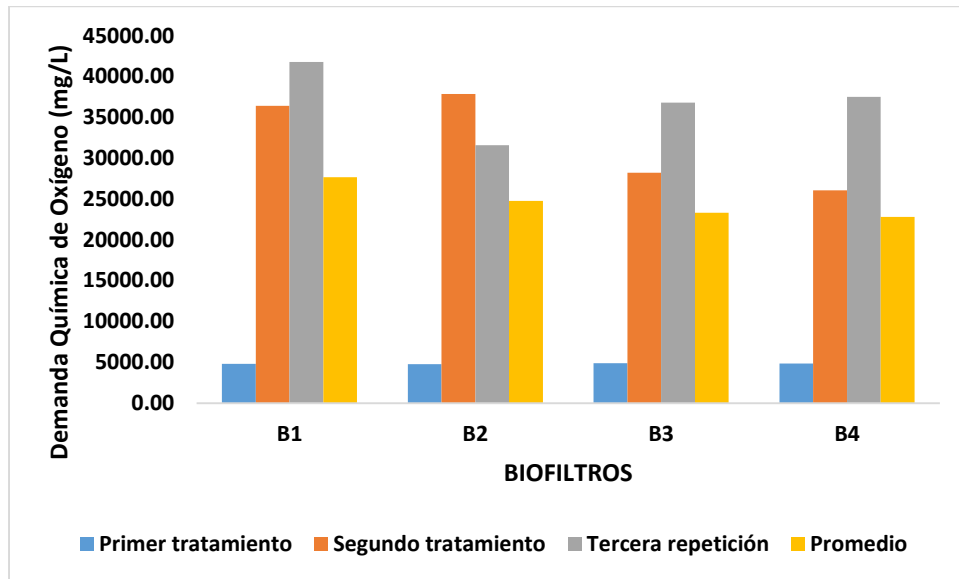
Biofiltro N°2 (B N°2): Lecho de grava de 20 cm de espesor (10 cm de grava mediana y 10 cm de grava fina) y lecho orgánico 40 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

Biofiltro N°3 (B N°3): Lecho de grava de 30 cm de espesor (15 cm de grava mediana y 15 cm de grava fina) y lecho orgánico 30 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

Biofiltro N°4 (B N°4): Lecho de grava de 30 cm de espesor (15 cm de grava mediana y 15 cm de grava fina) y lecho orgánico 40 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

Figura 35

Resultados de la Demanda Química de Oxígeno en el efluente del biofiltro



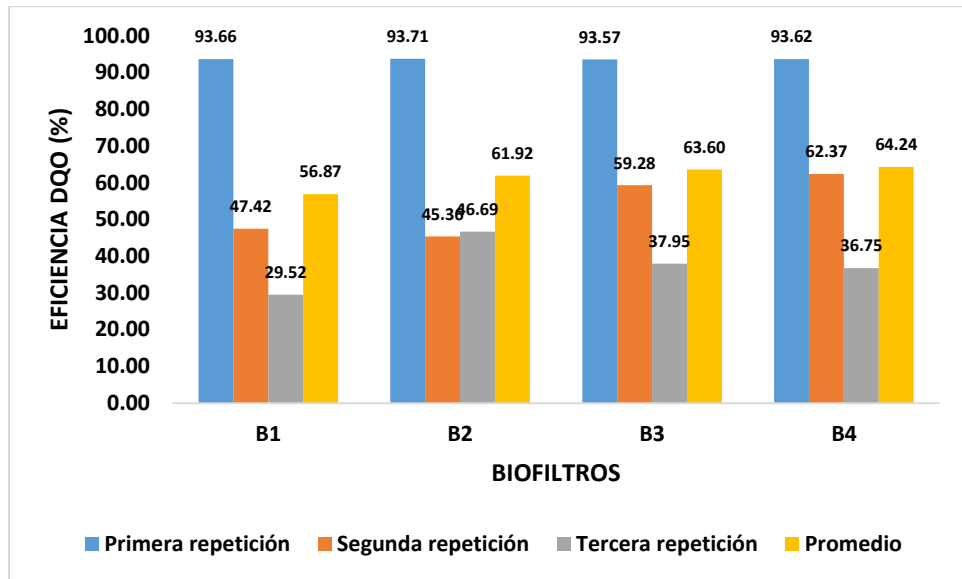
Discusión:

Según visnathan et al (2015) podemos apreciar que el Biofiltro N°1 de lechos 0.20 cm de grava y 0.30 cm de sustrato, presenta una mayor Demanda Química de Oxígeno 27678.57 mg/l; mientras que para el Biofiltro N°4 de 0.30 cm de grava y 0.40 cm de sustrato presenta menor promedio Demanda Química de Oxígeno de 22809.50 mg/l.

Además, el Biofiltro N°1 DQO 27678.57 mg/l, Biofiltro N°2 DQO 24749.97 mg/l, Biofiltro N°3 DQO 23297.63 mg/l y Biofiltro N°4 DQO 22809.50 mg/l superan los Valores Máximos Admisibles 1000 mg/l del anexo N°1, según el Ministerio de Construcción y Saneamiento DS 010 – 2019 Vivienda.

Figura 36

Eficiencias de la Demanda Química de Oxígeno en el sistema Tohá



Discusión:

La Demanda Química de Oxígeno en el Biofiltro N°4 en los lechos de grava 0.30 cm y sustrato 0.40 cm es la que presenta mayor eficiencia 64.24 %; mientras que para el Biofiltro N°1 conformada por lechos de grava 0.20 cm y 0.30 cm de sustrato presenta menor eficiencia de 56.87 %, Según lo mencionado visnathan et al (2015) no alcanzan la eficiencia mínima del 80 % para la remoción de DQO.

5.2.3 Sólidos Suspendidos Totales (SST)

En los Sólidos Suspendidos Totales las muestras se analizaron en el Laboratorio Regional del Agua, acreditada por INACAL, fueron tomadas en el afluente y efluente del biofiltro del sistema Tohá, para poder medir la eficiencia en cada uno de los biofiltros del sistema Tohá.

Tabla 21

Análisis de muestras de los Sólidos Suspendidos Totales en el afluente y efluente de los biofiltros del sistema Tohá.

Repeticiones	Sólidos Suspendidos Totales (SST)								
	Afluente del Biofiltro	Efluente del Biofiltro (mg/l)				Eficiencia del biofiltro (%)			
		B N°1	B N°2	B N°3	B N°4	B N°1	B N°2	B N°3	B N°4
Primera repetición	3252.00	124.00	162.00	158.00	142.00	96.19	95.02	95.14	95.63
Segunda repetición	3720.00	189.00	1420.00	890.00	565.00	94.92	61.83	76.08	84.81
Tercera repetición	3000	707.00	382.00	584.00	680.00	76.43	87.27	80.53	77.33
Promedio		340.00	654.67	544.00	462.33	89.18	81.37	83.92	85.93

Donde:

Biofiltro N°1 (B N°1): Lecho de grava de 20 cm de espesor (10 cm de grava mediana y 10 cm de grava fina) y lecho orgánico 30 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

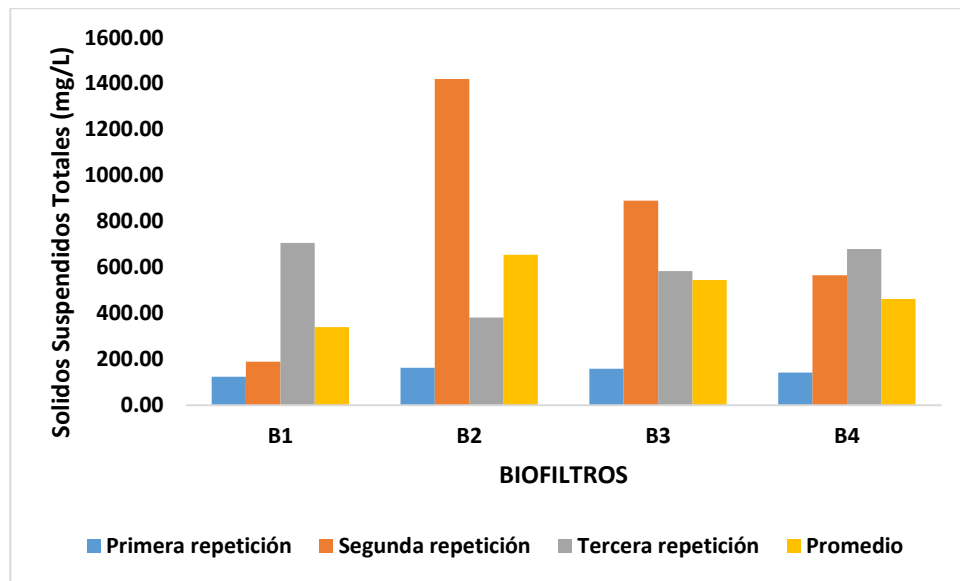
Biofiltro N°2 (B N°2): Lecho de grava de 20 cm de espesor (10 cm de grava mediana y 10 cm de grava fina) y lecho orgánico 40 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

Biofiltro N°3 (B N°3): Lecho de grava de 30 cm de espesor (15 cm de grava mediana y 15 cm de grava fina) y lecho orgánico 30 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

Biofiltro N°4 (B N°4): Lecho de grava de 30 cm de espesor (15 cm de grava mediana y 15 cm de grava fina) y lecho orgánico 40 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

Figura 37

Resultados de los Sólidos Suspendedos Totales en el efluente del biofiltro



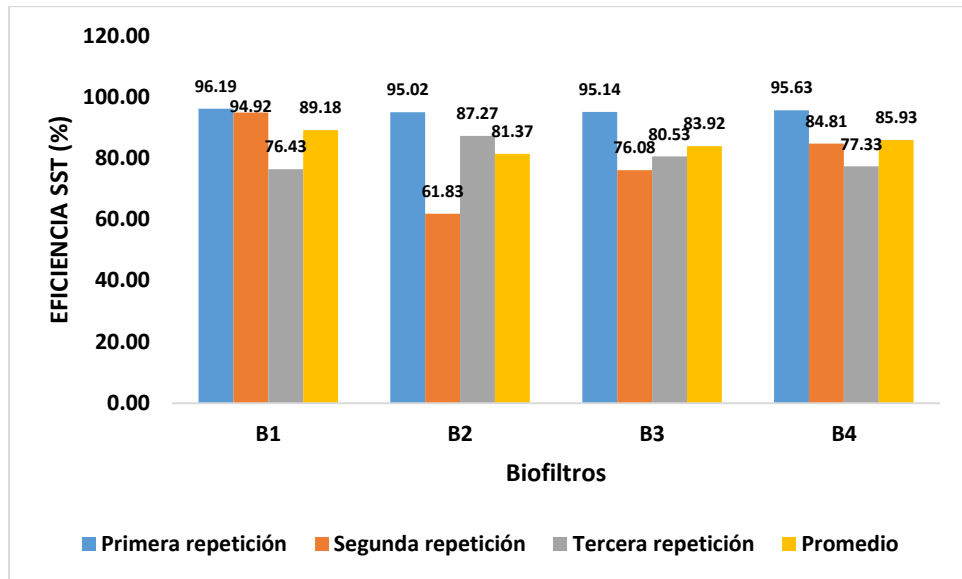
Discusión:

Lo expuesto por visnathan et al (2015), podemos observar en nuestros tratamientos que el Biofiltro N°2 del lecho de 0.20 cm grava y 0.40 cm de sustrato presenta un mayor contenido de Sólidos Suspendedos Totales 654.67 mg/l, mientras que el Biofiltro N°1 de 0.20 cm de grava y 0.30 cm de sustrato presenta menor Sólidos Suspendedos Totales de 340.00 mg/l.

En el Biofiltro N°1 SST 340 mg/l, y Biofiltro N°4 SST 462.33 mg/l cumplen con los Valores Máximos Admisibles 500 mg/l SST del anexo N°1, según el D.S 010-2019 del Ministerio de Construcción y Saneamiento DS 010 – 2019 Vivienda, mientras que los Biofiltro N°2 SST 654.67 mg/l, Biofiltro N°3 SST 544.00 mg/l superan los Valores Máximos Admisibles.

Figura 38

Eficiencias de los Sólidos Suspendidos Totales en el sistema Tohá



Discusión:

Los Sólidos Suspendidos Totales en el Biofiltro N°1 en los lechos de grava 0.20 cm y sustrato 0.30 cm es la que presenta mayor eficiencia 89.18 %; en comparación con el Biofiltro N°2 conformada por lechos de grava 0.20 cm y 0.40 cm de sustrato, que presenta menor eficiencia 81.37 %; según el sostenimiento de visnathan et al (2015), en su investigación la remoción de SST alcanza la eficiencia del 90 %.

5.2.4 Aceites y Grasas (A y G)

Para Aceites y Grasas las muestras se analizaron en el Laboratorio Regional del Agua, acreditada por INACAL, fueron tomadas en el afluente y efluente del biofiltro del sistema Tohá, para poder medir la eficiencia en cada uno de los biofiltros del sistema Tohá.

Tabla 22

Análisis de muestras de Aceites y Grasas en el afluente y efluente de los biofiltros del sistema Tohá.

Repeticiones	Aceites y Grasas (A y G)								
	Afluente del Biofiltro	Efluente del Biofiltro (mg/l)				Eficiencia del biofiltro (%)			
		B N°1	B N°2	B N°3	B N°4	B N°1	B N°2	B N°3	B N°4
Primera repetición	376.20	128.70	139.30	144.10	122.20	65.79	62.97	61.70	67.52
Segunda repetición	459.30	329.50	411.40	184.30	202.10	28.26	10.43	59.87	56.00
Tercera repetición	761.3	473.10	311.20	267.50	271.00	37.86	59.12	64.86	64.40
Promedio		310.43	287.30	198.63	198.43	43.97	44.17	62.14	62.64

Donde:

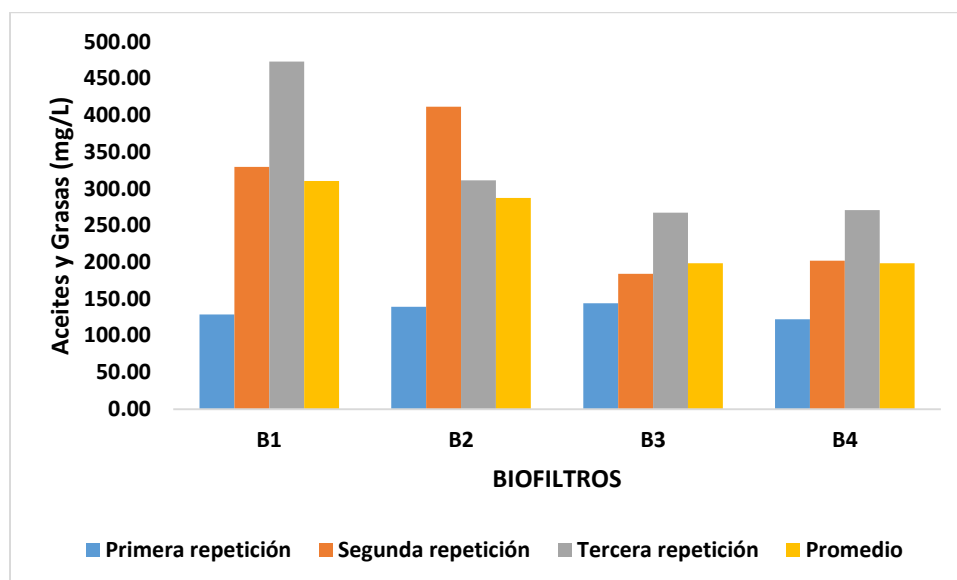
Biofiltro N°1 (B N°1): Lecho de grava de 20 cm de espesor (10 cm de grava mediana y 10 cm de grava fina) y lecho orgánico 30 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

Biofiltro N°2 (B N°2): Lecho de grava de 20 cm de espesor (10 cm de grava mediana y 10 cm de grava fina) y lecho orgánico 40 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

Biofiltro N°3 (B N°3): Lecho de grava de 30 cm de espesor (15 cm de grava mediana y 15 cm de grava fina) y lecho orgánico 30 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

Biofiltro N°4 (B N°4): Lecho de grava de 30 cm de espesor (15 cm de grava mediana y 15 cm de grava fina) y lecho orgánico 40 cm de espesor (Aserrín, Lombriz *Eisenia Foetida* y turba)

Figura 39
Resultados de Aceites y Grasas en el efluente del biofiltro

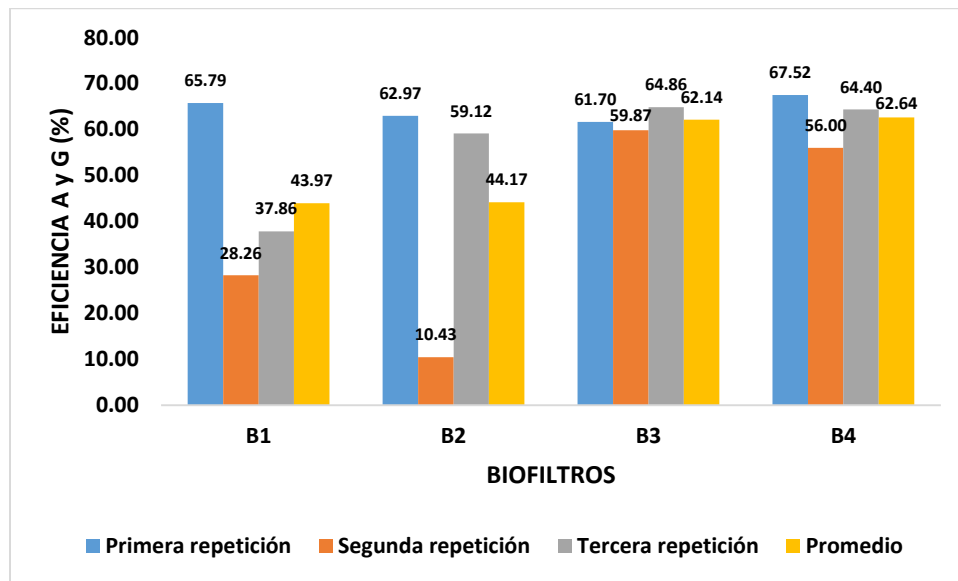


Discusión:

Por lo expuesto por Tiquillahuanca (2018) podemos afirmar en nuestro tratamiento el Biofiltro N°1 del lecho de 0.20 cm grava y 0.30 cm de sustrato presenta un mayor contenido de Aceites y Grasas 310.43 mg/l, mientras que para el Biofiltro N°4 de 0.30 cm de grava y 0.40 cm de sustrato presenta menor remoción de Aceites y Grasas de 198 mg/l.

El Biofiltro N°1 A y G 310.43 mg/l, Biofiltro N°2 A y G 287.30 mg/l, Biofiltro N°3 A y G 198.63 mg/l y Biofiltro N°4 A y G 198.43 mg/l superan los Valores Máximos Admisibles 100 mg/l A y G del anexo N°1, según el Ministerio de Construcción y Saneamiento DS 010 – 2019 Vivienda.

Figura 40
Eficiencias en Aceites y Grasas en el sistema Tohá



Discusión:

Los Aceites y Grasas en el Biofiltro N°4 en los lechos de grava 0.30 cm y sustrato 0.40 cm es la que presenta mayor eficiencia 62.64 % de remoción; mientras que para el Biofiltro N°1 conformada por lechos de grava 0.20 cm y 0.30 cm de sustrato es la que presenta menor eficiencia 43.97 %, según Arias y Tiquillahuanca (2018) no supera la remoción en un 95 % de aceites y grasas.

5.2.5 Prueba de Hipótesis

Se realizó la prueba de hipótesis con la metodología de Análisis de Varianza factorial con dos factores sugerida por el autor (Lara Porras, 2000), con un nivel de significancia de la prueba ($\alpha=0.05$), y nivel de confianza del 95 %, para cada uno de los parámetros usando el software Minitab.

Tabla 23

Eficiencias Promedio de los Biofiltros (%)

Eficiencia promedio del biofiltro (%)				
Parámetro	B1	B2	B3	B4
DBO	57.54	65.12	76.64	74.17
DQO	56.87	61.92	63.60	64.24
SST	89.18	81.37	83.92	85.93
A y G	43.97	44.17	62.14	62.64

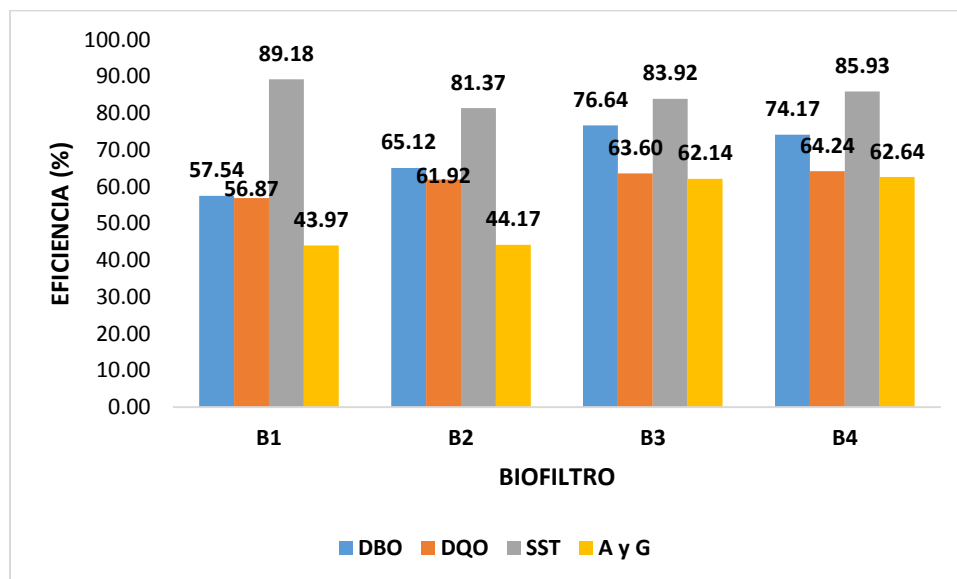
Leyenda:

■ Eficiencia máxima (%)

■ Eficiencia mínima (%)

Figura 41

Eficiencia de los biofiltros para cada parámetro



A) Demanda Bioquímica de Oxígeno

Hipótesis nula: La eficiencia de la Demanda bioquímica de Oxígeno en los Biofiltros del sistema Tohá de flujo vertical en función al espesor de sus lechos filtrantes son las mismas.

Hipótesis alterna: La eficiencia de la Demanda bioquímica de Oxígeno en los Biofiltros del sistema Tohá de flujo vertical en función al espesor de sus lechos filtrantes son diferentes.

Tabla 24
Análisis de Varianza factorial

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	689.90	229.97	0.24	0.866
Lineal	2	613.85	306.92	0.32	0.734
Espesor de sustrato	1	19.53	19.53	0.02	0.890
Espesor de grava	1	594.32	594.32	0.62	0.453
Interacciones de 2 términos	1	76.05	76.05	0.08	0.785
A*B	1	76.05	76.05	0.08	0.785
Error	8	7643.41	955.43		
Total	11	8333.32			

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{EFICIENCIA} = 68.37 + 1.28 A + 7.04 B - 2.52 A*B$$

A: Espesor del sustrato

B: Espesor de grava

Si $P < 0.05$ entonces la hipótesis nula se rechaza, de lo contrario no se rechaza.

Discusión:

En el modelo la respuesta no es respaldada significativamente por ninguno de sus factores tampoco por la interacción.

Decisión

En consecuencia, se acepta y se válida la hipótesis nula, la eficiencia de la Demanda bioquímica de Oxígeno en los Biofiltros del sistema Tohá de flujo vertical en función al espesor de sus lechos filtrantes son las mismas.

Verificación gráfica de los supuestos:

Figura 42

Gráfica de Probabilidad Normal (tabla 20)

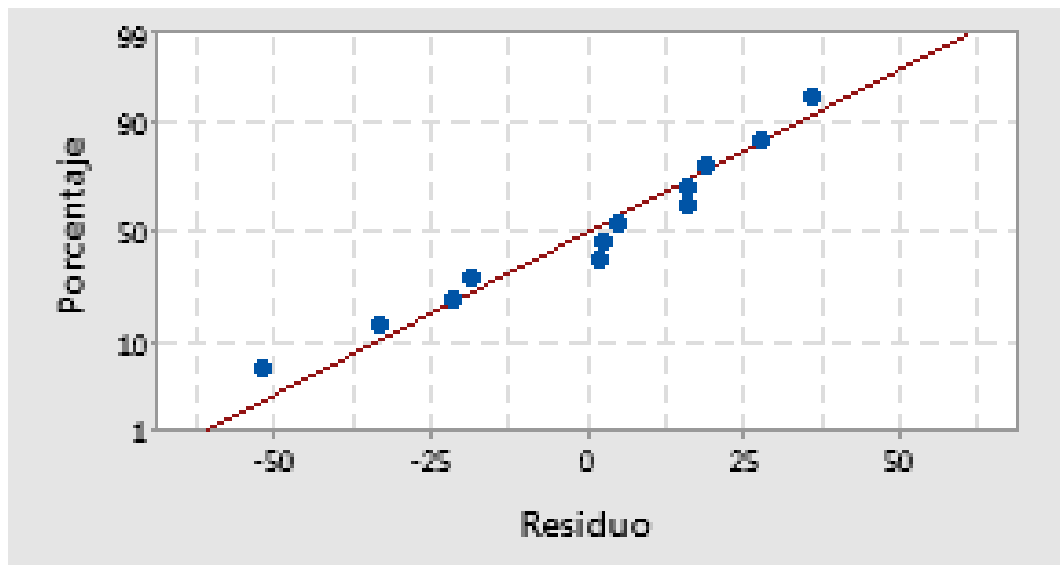


Figura 43

Gráfica de Residuo vs Valor ajustado (tabla 20)

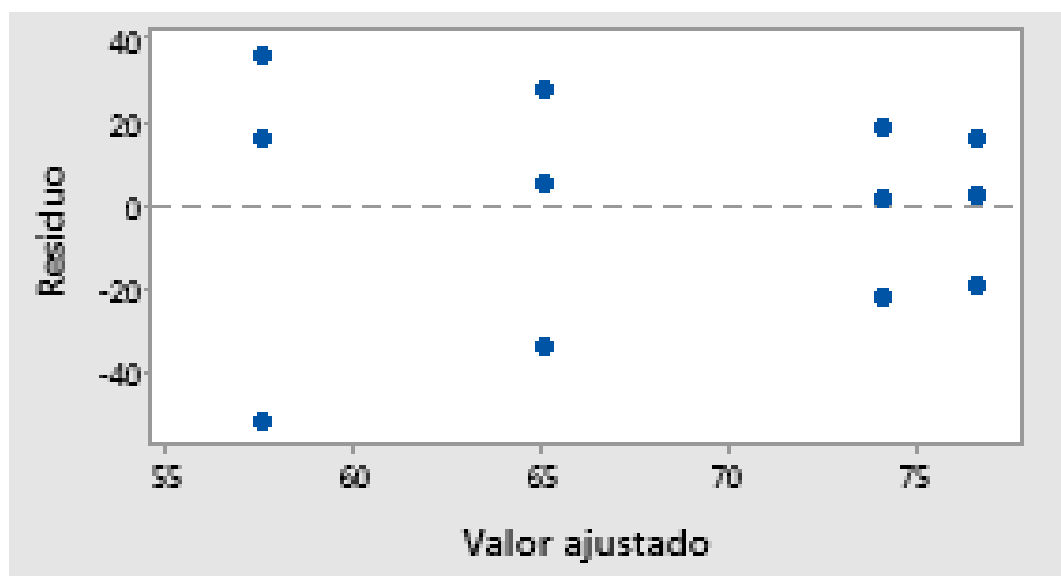


Figura 44
Gráfica de Histograma (tabla 20)

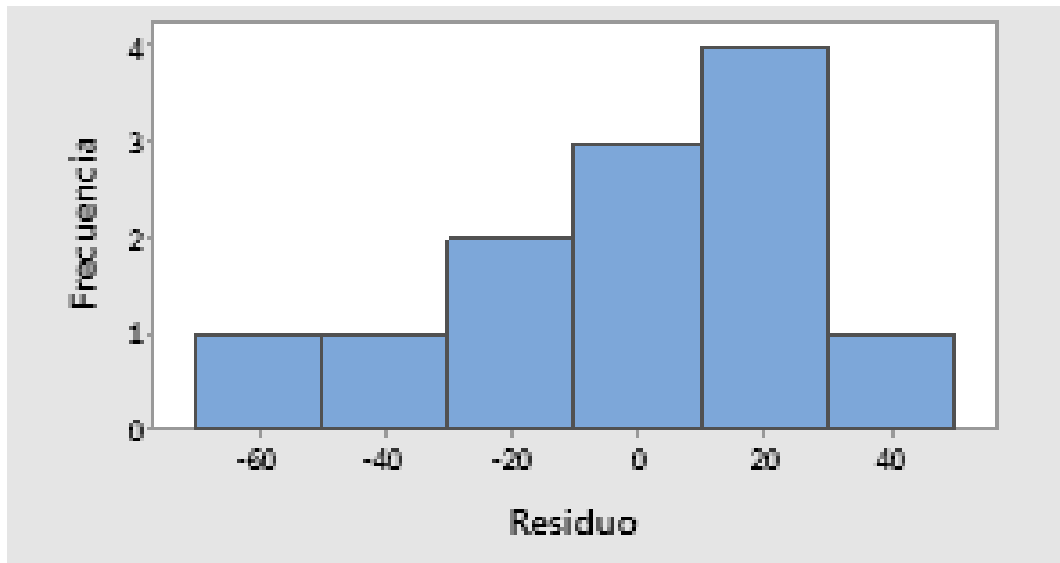
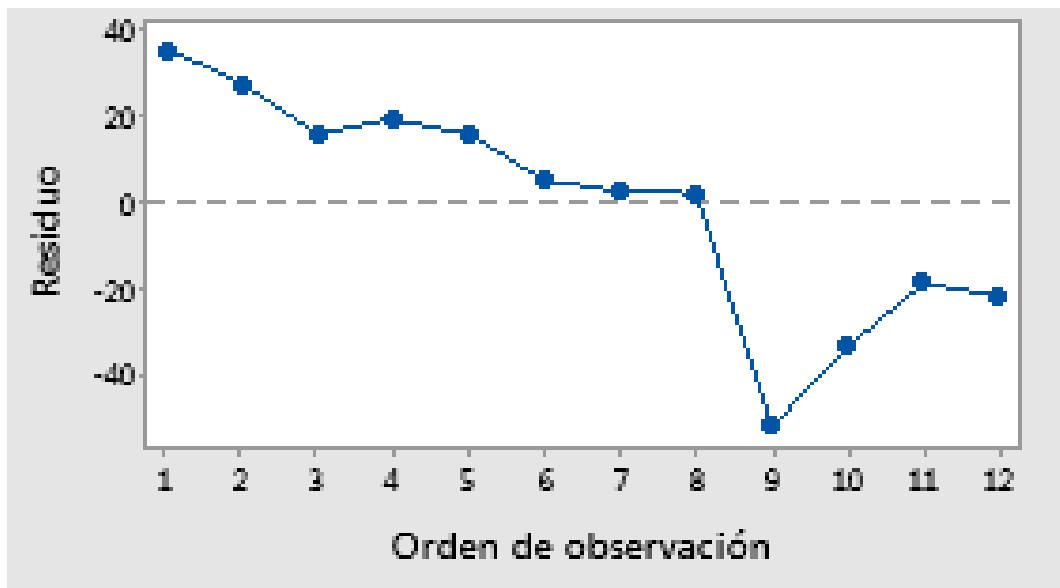


Figura 45
Gráfica de Residuo vs Orden de observación (tabla 20)



Discusión:

El experimento cumple con los requisitos de normalidad (ver gráfico 47, 48 y 49) y homogeneidad de varianzas conocidas como la homocedasticidad (ver gráfico 50).

B) Demanda Química de Oxígeno

Hipótesis nula: La eficiencia de la Demanda Química de Oxígeno en los Biofiltros del sistema Tohá de flujo vertical en función al espesor de sus lechos filtrantes son las mismas.

Hipótesis alterna: La eficiencia de la Demanda Química de Oxígeno en los Biofiltros del sistema Tohá de flujo vertical en función al espesor de sus lechos filtrantes son diferentes.

Tabla 25
Análisis de varianza factorial

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	98.96	32.99	0.04	0.989
Lineal	2	83.73	41.87	0.05	0.953
Espesor de sustrato	1	23.52	23.52	0.03	0.873
Espesor de grava	1	60.21	60.21	0.07	0.799
Interacciones de 2 términos	1	15.23	15.23	0.02	0.898
A*B	1	15.23	15.23	0.02	0.898
Error	8	6921.34	865.17		
Total	11	7020.31			

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{EFICIENCIA} = 1 + 141 A + 203 B - 451 A*B$$

A: Espesor del sustrato

B: Espesor de grava

Si $P < 0.05$ entonces la hipótesis nula se rechaza, de lo contrario no se rechaza

Discusión:

En el modelo la respuesta no es respaldada significativamente por ninguno de sus factores tampoco por la interacción.

En consecuencia, se acepta y se válida la hipótesis nula, la eficiencia de la Demanda Química de Oxígeno en los Biofiltros del sistema Tohá de flujo vertical en función al espesor de sus lechos filtrantes son las mismas.

Verificación gráfica de los supuestos:

Figura 46
Gráfica de Probabilidad Normal (tabla 21)

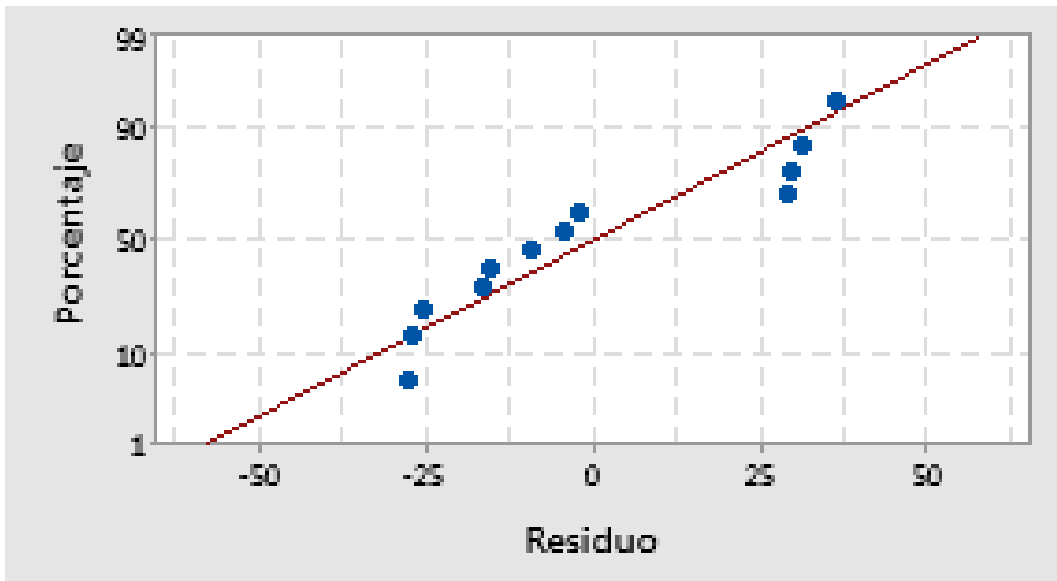


Figura 47
Gráfica de Residuo vs Valor ajustado (tabla 21)

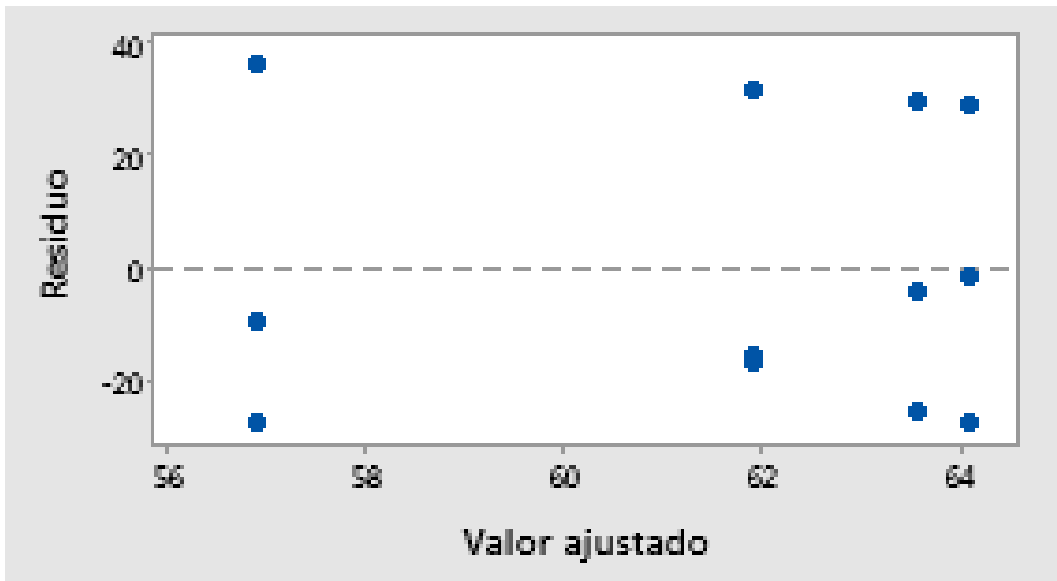


Figura 48
Gráfica de Histograma (tabla 21)

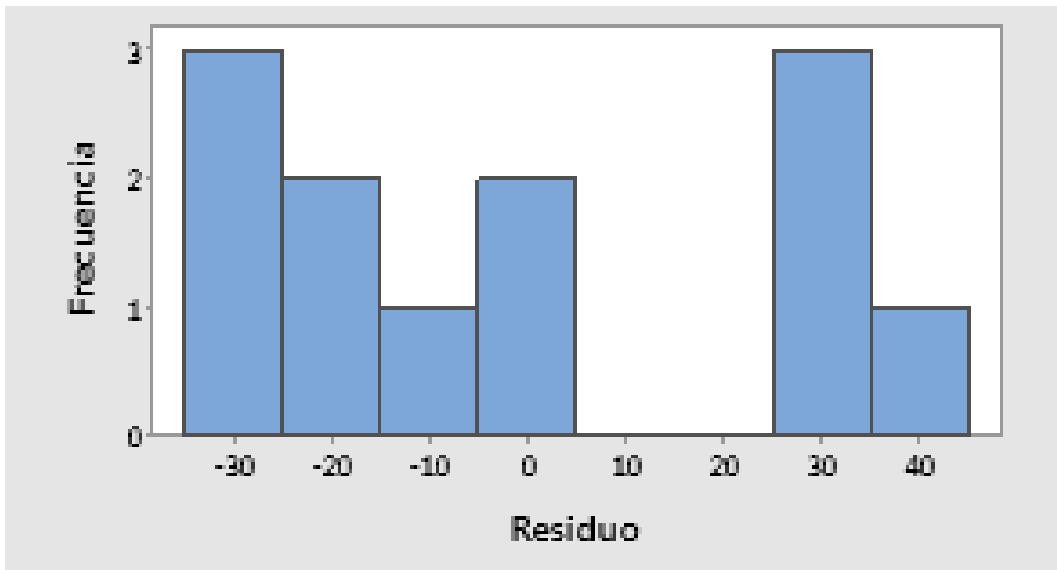
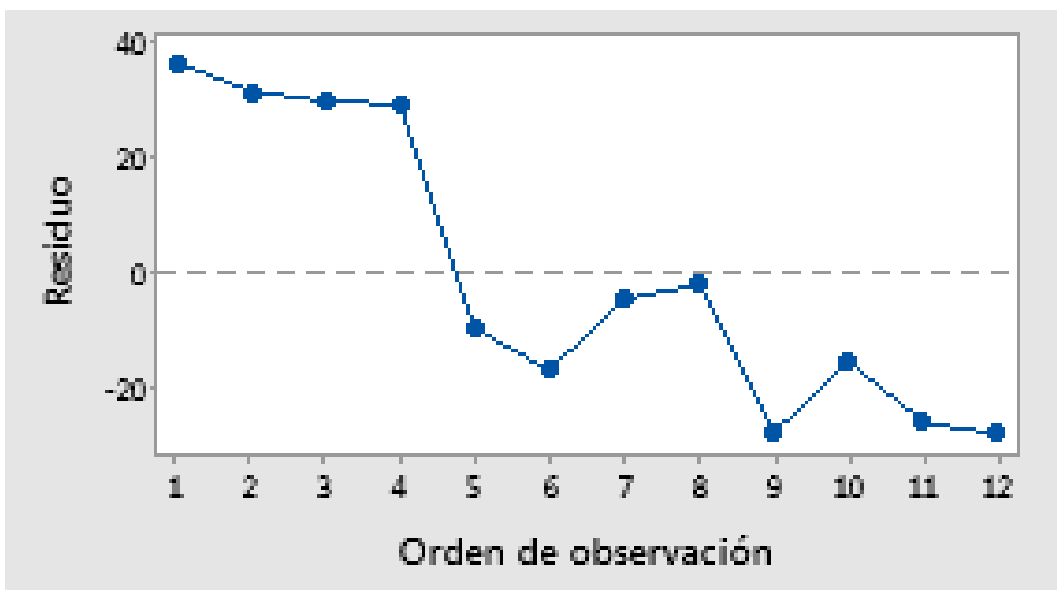


Figura 49
Gráfica de Residuo vs Orden de observación (tabla 21)



Discusión:

El experimento cumple con los requisitos de normalidad (ver gráfico 51, 52 y 53) y homogeneidad de varianzas conocidas como la homocedasticidad (ver gráfico 54).

C) Solidos Suspendidos Totales

Hipótesis nula: La eficiencia de los Solidos Suspendidos Totales en los Biofiltros del sistema Tohá de flujo vertical en función al espesor de sus lechos filtrantes son las mismas.

Hipótesis alterna: La eficiencia de los Solidos Suspendidos Totales en los Biofiltros del sistema Tohá de flujo vertical en función al espesor de sus lechos filtrantes son diferentes.

Tabla 26
Análisis de varianza factorial

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	98.54	32.846	0.22	0.882
Lineal	2	24.34	12.168	0.08	0.923
Espesor de sustrato	1	24.08	24.083	0.16	0.700
Espesor de grava	1	0.25	0.252	0.00	0.968
Interacciones de 2 términos	1	74.20	74.202	0.49	0.503
A*B	1	74.20	74.202	0.49	0.503
Error	8	1208.98	151.122		
Total	11	1307.51			

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{EFICIENCIA} = 183 - 277 A - 351 B + 995 A*B$$

A: Espesor del sustrato

B: Espesor de grava

Si $P < 0.05$ entonces la hipótesis nula se rechaza, de lo contrario no se rechaza

Discusión:

En el modelo la respuesta no es respaldada significativamente por ninguno de sus factores tampoco por la interacción.

Decisión:

En consecuencia, se acepta y se válida la hipótesis nula, la eficiencia de los Solidos Suspendidos Totales en los Biofiltros del sistema Tohá de flujo vertical en función al espesor de sus lechos filtrantes son las mismas.

Verificación gráfica de los supuestos:

Figura 50
Gráfica de Probabilidad Normal (tabla 22)

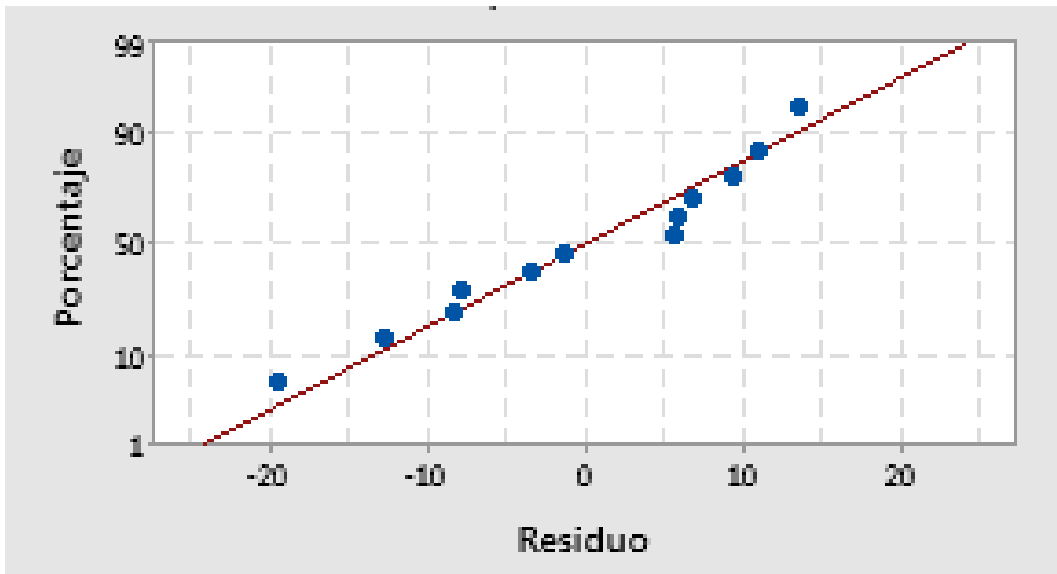


Figura 51
Gráfica de Residuo vs Valor ajustado (tabla 22)

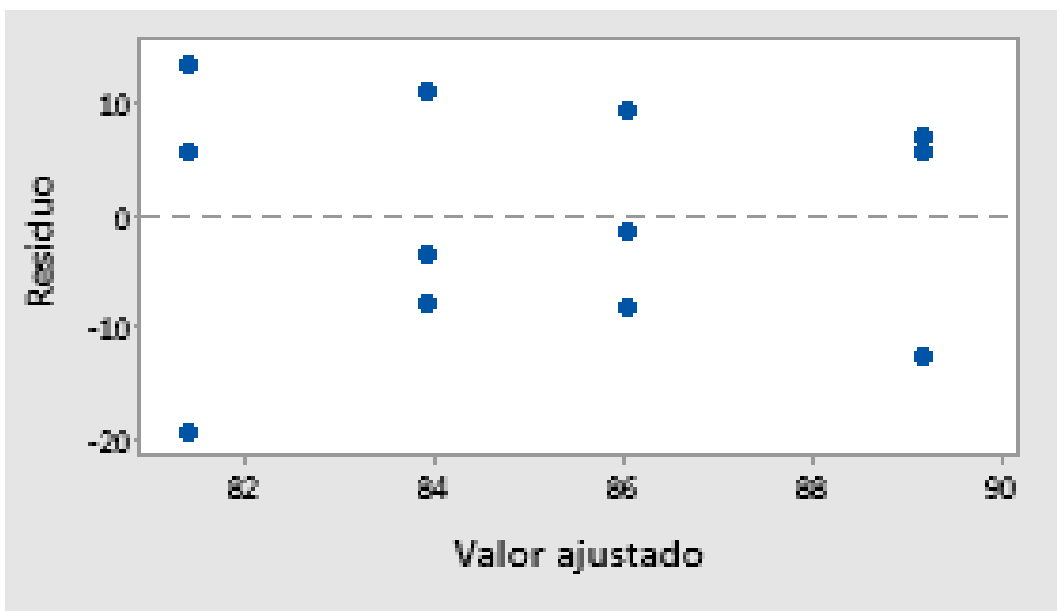


Figura 52
Gráfica de Histograma (tabla 22)

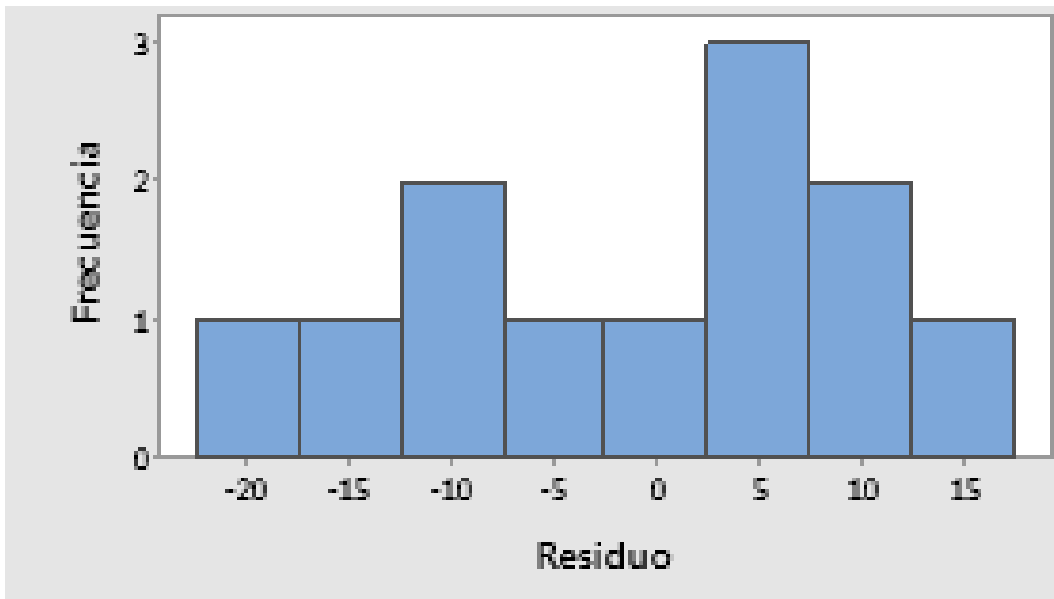
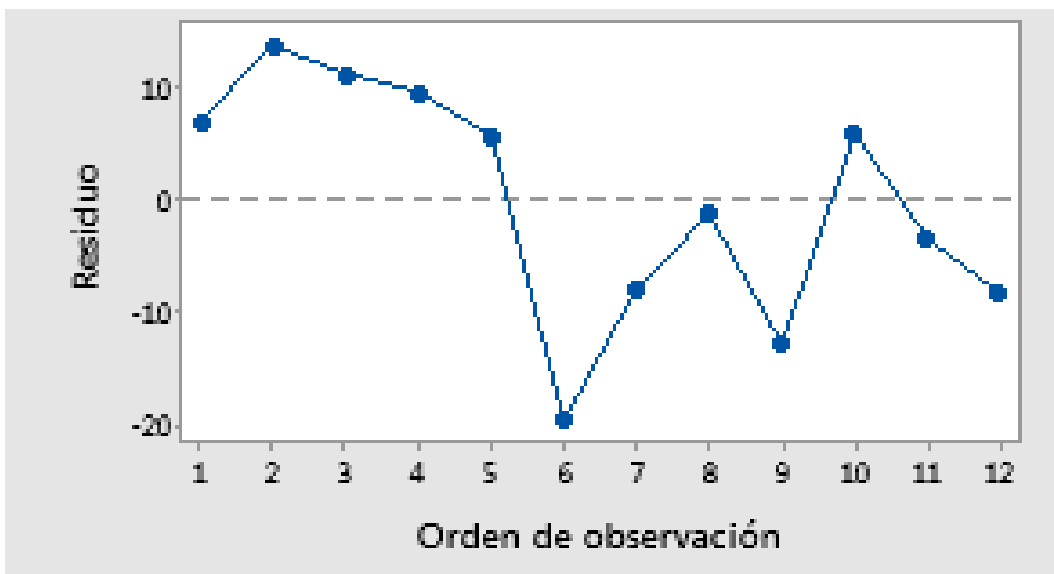


Figura 53
Gráfica de Residuo vs Orden de observación (tabla 22)



Discusión:

El experimento cumple con los requisitos de normalidad (ver gráfico 55, 56 y 57) y homogeneidad de varianzas conocidas como la homocedasticidad (ver gráfico 58).

B) Aceites y Grasas

Hipótesis nula: La eficiencia de Aceites y Grasas en los Biofiltros del sistema Tohá de flujo vertical en función al espesor de sus lechos filtrantes son las mismas.

Hipótesis alterna: La eficiencia de Aceites y Grasas en los Biofiltros del sistema Tohá de flujo vertical en función al espesor de sus lechos filtrantes son diferentes.

Tabla 27

Análisis de varianza factorial

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	731.56	243.85	0.53	0.674
Lineal	2	693.64	346.82	0.76	0.501
Espesor de sustrato	1	28.06	28.06	0.06	0.811
Espesor de grava	1	665.58	665.58	1.45	0.263
Interacciones de 2 términos	1	37.91	37.91	0.08	0.781
A*B	1	37.91	37.91	0.08	0.781
Error	8	3673.21	459.15		
Total	11	4404.77			

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{EFICIENCIA} = 91 - 208 A - 100 B + 711 A*B$$

A: Espesor del sustrato

B: Espesor de grava

Si $P < 0.05$ entonces la hipótesis nula se rechaza, de lo contrario no se rechaza

Discusión:

En el modelo la respuesta no es respaldada significativamente por ninguno de sus factores tampoco por la interacción.

Decisión:

En consecuencia, se acepta y se válida la hipótesis nula, la eficiencia de Aceites y Grasas en los Biofiltros del sistema Tohá de flujo vertical en función al espesor de sus lechos filtrantes son las mismas.

Verificación gráfica de los supuestos:

Figura 54

Gráfica de Probabilidad Normal (tabla 23)

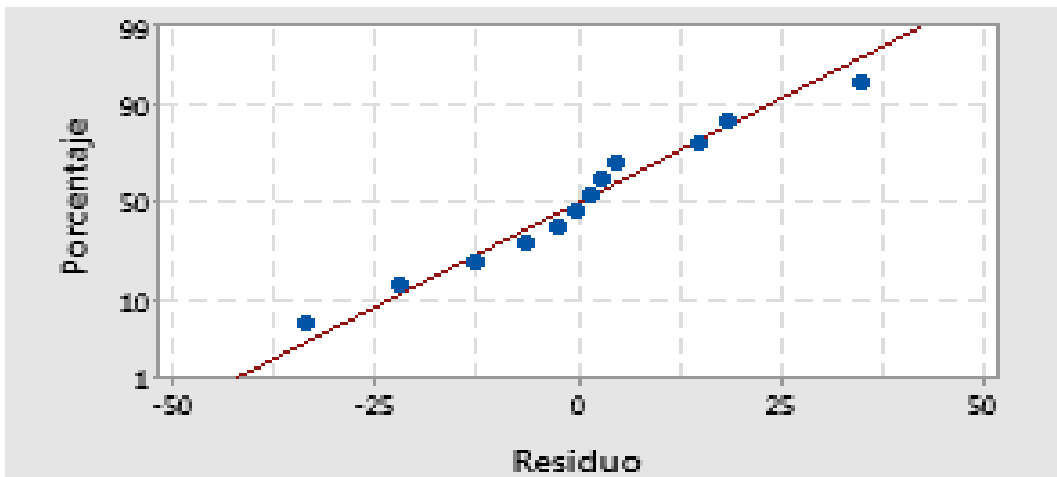


Figura 55

Gráfica de Residuo vs Valor ajustado (tabla 23)

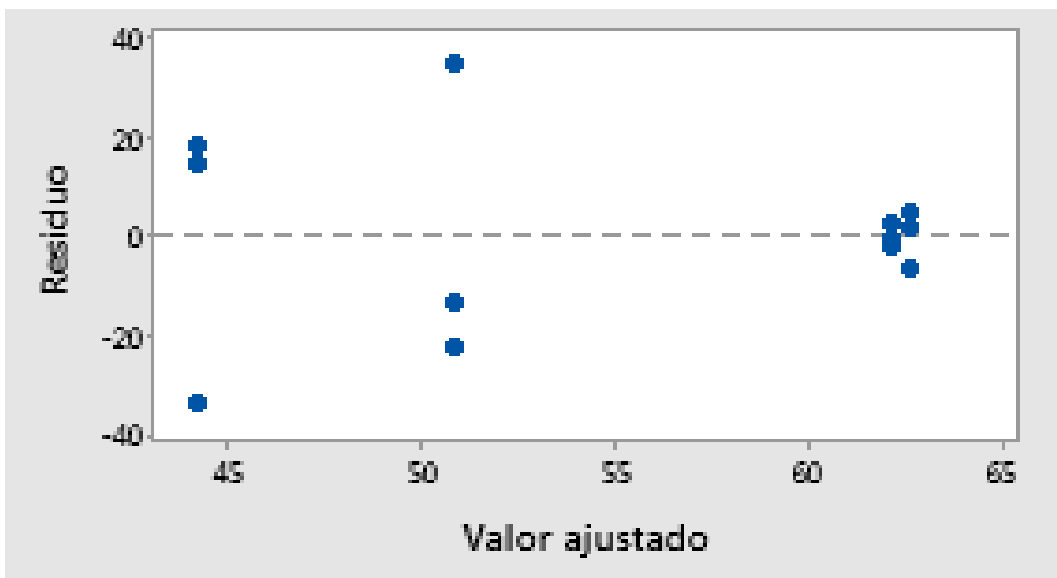


Figura 56
Gráfica de Histograma (tabla 23)

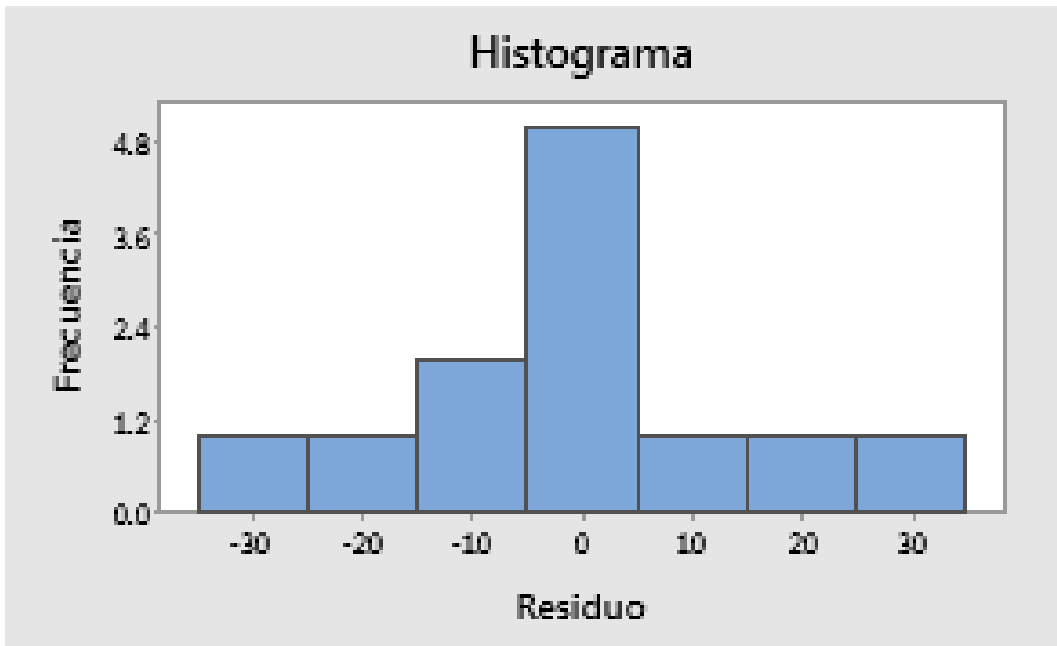
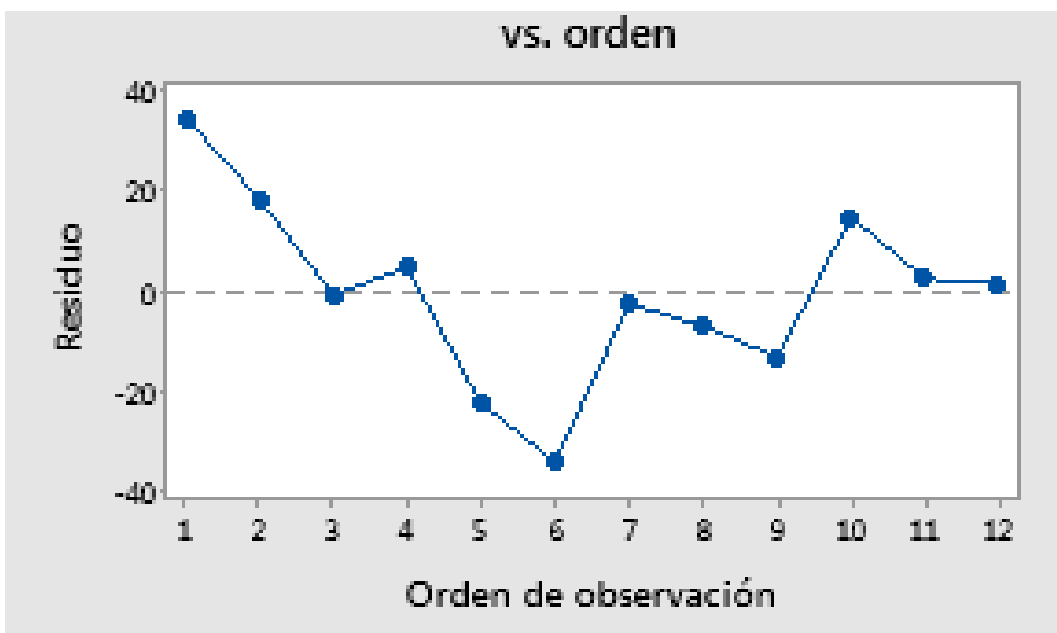


Figura 57
Gráfica de Residuo vs Orden de Observación (tabla 23)



Discusión:

El experimento cumple con los requisitos de normalidad (ver gráfico 59, 60 y 61) y homogeneidad de varianzas conocidas como la homocedasticidad (ver gráfico 62).

Conclusión:

Realizada la prueba de hipótesis la Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales y Aceites y Grasas los efectos de los factores en los lechos filtrantes del sustrato y de grava sobre la eficiencia para cada uno de los parámetros no son significativos, en forma similar la interacción también se encontró que no es significativa.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

a) Luego de analizar los resultados se obtuvo que la eficiencia del Biofiltro tipo Tohá de flujo vertical en función del espesor de su lecho filtrante para el tratamiento del efluente de la Industria láctea Fe y Alegría 57 - CEFOP Celendín, evaluado en los correspondientes parámetros, son los siguientes:

- ✓ Respecto al parámetro DBO el Biofiltro B3 presenta la mayor eficiencia de 76.64 % y el B1 presenta la menor eficiencia 57.54 %.
- ✓ Para el parámetro DQO el Biofiltro B4 presenta la mayor eficiencia de 64.24 % y el B1 presenta la menor eficiencia 56.87 %.
- ✓ En el parámetro de SST el Biofiltro B1 presenta la mayor eficiencia de 89.18 % y el B2 presenta la menor eficiencia 81.37 %.
- ✓ Por último, el parámetro Aceites y Grasas (A y G) el Biofiltro B4 presenta la mayor eficiencia de 62.64 % y el B1 presenta la menor eficiencia 43.97 %.

b) Los valores de los resultados en los parámetros analizados en el agua residual del afluente de los biofiltros del sistema Tohá son los siguientes:

- ✓ DBO en la primera repetición 33435.10 mg/l, segunda repetición 29550 mg/l y en la tercera repetición 23411.4 mg/l.
- ✓ DQO en la primera repetición 76071.40 mg/l, segunda repetición 69285.70 mg/l y en la tercera repetición 59285.70 mg/l.
- ✓ SST en la primera repetición 3252 mg/l, segunda repetición 3720 mg/l y en la tercera repetición 3000 mg/l.
- ✓ Aceites y Grasas (A y G) en la primera repetición 376.20 mg/l, segunda repetición 459.30 mg/l y en la tercera repetición 761.30 mg/l.

c) Los valores de los resultados en los parámetros analizados en el agua residual del efluente de los biofiltros del sistema Tohá son los siguientes:

- ✓ DBO: 10698.70 mg/l en el Biofiltro B1, 9000 mg/l en el Biofiltro B2, 6135.77 mg/l Biofiltro en el B3 y 6744.73 mg/l Biofiltro en el B4.

- ✓ DQO: 27678.57 mg/l en el Biofiltro B1, 24749.97 mg/l en el Biofiltro B2, 23297.63 mg/l en el Biofiltro B3 y 22809.50 mg/l en el Biofiltro B4.
- ✓ SST: 340 mg/l en el Biofiltro B1, 654.667 mg/l en el Biofiltro B2, 544 mg/l en el Biofiltro B3 y 462.33 mg/l en el Biofiltro B4.
- ✓ Aceites y Grasas (A y G) 310.43 mg/l en el Biofiltro B1, 287.30 mg/l en el Biofiltro B2, 198.63 mg/l en el Biofiltro B3, 198.43 mg/l Biofiltro en el B4.

d) Determinamos el caudal promedio de 0.09 l/s del efluente de la industria láctea Fe y Alegría 57 – CEFOP Celendín.

6.2 Recomendaciones

- ✓ Analizar parámetros del lecho del humus generado por la Lombriz *Eisenia Foetida* en cada biofiltro para ser aprovechados o requieran un tratamiento.
- ✓ Realizar el lavado de grava para determinar la eficiencia de los biofiltros en los tratamientos posteriores.
- ✓ Colocar un componente primario para la remoción de grasas antes de ingresar al sistema Tohá.
- ✓ Realizar tratamientos que tengan mayores diferencias entre sus espesores de sus lechos filtrantes.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- A.V.F INGENIERIA AMBIENTAL. (2003). *Programa de Descontaminación de Aguas, Biofiltro*. Universidad de Chile.
- Apaza Aquino, H. (2018). *Sistema combinado electrocuagulación- filtro biológico para la remoción de carga orgánica de los efluentes lácteos*. Lima.
- Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales (ACTAF). (2017). *Las Lombrices*. Cuba.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA - MINAGRI). (2018). *Protocolo de Monitoreo de la Calidad de Recursos Hídricos*.
- Badillo, J., & Rodriguez, R. (2005). *Fundamentos de la mecánica de suelos*. México.
- Barbado, J. (2003). *Cría de lombrices su empresa la lombricultura*.
- Barreto Saénz, P. (2009). *Instructivo de medición de caudal*. Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo.
- Bollo Tapia, E. (1999). *Lombricultura, una alternativa de reciclaje*. Ecuador.
- Caicedo Campoverde, J. A. (2017). *Diseño, construcción y evaluación de un prototipo biológico compuesto de Eisenia Fetida y agave filifera, para el tratamiento de aguas residuales en la granja del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Riobamba*. Riobamba, Ecuador.
- Calvache, w., M, C., & Duran, C. (2002). *Tratamiento de aguas: taratamiento primario y parametros hidraulicos*. Universidad Central del Ecuador.
- Chambi Rojas, J., S, E. D., & Guere Rupay, M. (2016). *Diseño de una planta de tratamiento de efluentes industriales para su disposición en el sistema de alcantarillado sanitario*.
- Chávez Rodrigo, J. C. (2017). *Eficiencia de un biofiltro en la reducción de carga orgánica de un efluente industrial en la ciudad de Celendín*. Celendín.

- Cruz Huaracha, C. L., & Rivero Callohuanca, A. G. (2020). *Disminución de costos en el tratamiento de aguas residuales industriales lácteas utilizando un prototipo de Lombrifiltro*. Arequipa.
- Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA). (2018). *Muestreo de efluentes y cuerpos receptores en el marco de la autorización sanitaria de vertimiento*. Lima.
- Figuroa Paez, P. (1993). *Establecimiento y Manejo de un criadero de lombrices en el Perú*. Lima.
- González de Vallejo, L. I. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Pearson Educación.
- Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. (2017). *Aguas Residuales el Recurso Desaprovechado*. Francia.
- Iza Santo, A. A., & Toapanta Moposita, A. D. (2019). *Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la industria láctea Pastolac*. Latacunga - Ecuador.
- Juarez Badillo, E., & Rico Rodriguez, A. (2005). *Mecánica de suelos* (Vol. Tomo I). Mexico.
- Lara Porras, A. (2000). *Diseño Estadístico de Experimentos, Análisis de Varianza y Temas Relacionados: Tratamiento Informático mediante SPSS*. Proyecto Sur de Ediciones.
- Li, Y.-S., Xiao, Y.-Q., Qui, J.-P., Dai, Y.-Q., & Robin, P. (2009). *Continuous village sewage treatment by vermifiltration and activated sludge process*. *Water Science and Technology*.
- Loro Ocampos, A. C. (2018). *Evaluación de la eficiencia del tratamiento secundario de aguas residuales utilizando un biofiltro con Eisenia Foetida y un biofiltro convencional*. Universidad Científica del Sur, Lima.
- Medina Vásquez, L. M. (2018). *Eficiencia de un Biofiltro tipo Tohá en función de la altura de sus lechos para el tratamiento de un efluente de industria láctea Celendín*. Celendín.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). (2019). *Decreto Supremo N° 010-2019- Vivienda, Reglamento de Valores Maximos Admisibles*. Lima.
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2003). *Probabilidad y Estadística aplicadas a la Ingeniería*. México: Limusa.

- Núñez Mateluna, E. J. (2018). *Rediseño de la planta de riles de la empresa Quillayes – Surlat ubicada en la calera de Tango*. Santiago - Chile.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental "OEFA". (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. Lima.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2023). *Producción de Productos Lácteos*. Roma.
- Orozco Villalba, P. A., Sanchez Cherez, W. R., & Mejia Lopez, A. (2020). *Biorremediación de las aguas residuales provenientes de la industria láctea a escala de laboratorio mediante el sistema Tohá*. Riobamaba, Ecuador.
- Peña Salamanca, E., Madera Parra, C., & Medina Vasquez, J. (2013). *Bioprospección de plantas nativas para su uso en procesos de biorremediación: Caso heliconia psittacorum (Heliconacea)*. Colombia.
- Pineda–Pineda, J., Castillo, F. S., Ramírez–Arias, A., Castillo–González, A. M., Valdés–Aguilar, L. A., & Moreno–Pérez, E. d. (2012). *Aserrín de pino como sustrato hidropónico. I: Variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo*.
- Portero Pesantes, M. B., & Amat Marchán, V. A. (2017). *Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Babahoyo*. Guayaquil, Ecuador.
- Quispe Apaza, N. (2019). *Producción de biogás como una alternativa para tratar el lactosuero en un reactor Bacth de una planta quesera*. Universidad Científica del Sur, Lima.
- Ramon, J. A., Leon, J. A., & Catillo, N. (2015). *Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie Eisenia Foetida*. Mutis.
- Ramos Pacha, L. R., & Paredes Urquieta De Chavez, P. (2015). *Captación, evaluación, tratamiento y diseño de una planta de consumo de agua potable en la localidad Pampas distrito de Mollepata*. Arequipa.
- Samal, k., Roshan Dash, R., & Bhunia, P. (2018). *A comparative study of macrophytes influence on performance of hybrid vermifilter for dairy wastewater treatment*. Paises bajos: Journal of Environmental Chemical Engineering.

- Sardi, L. (1991). *Producción de compost*. Lima.
- Serret-Guasch, N., Giralt-Ortega, G., & Quintero-Ríos, M. (2016). *Caracterización de aserrín de diferentes maderas*. Universidad de Oriente, Cuba.
- Siever, M. (2021). *Sistema Tohá - Tratamiento de aguas servidas con Lombrices*. Chile.
- Tineo Bermudez, A. L. (1994). *Crianza y manejo de Lombrices de tierra con fines agrícolas*. Ayacucho.
- Valencia, D., & Ramirez Castillo, E. (2009). *La industria de la leche y la contaminación del agua*. México.
- Vasquez Mejia, G., & Ortega Aguilar, R. E. (2013). *Fraccionamiento de DQO del agua residual de Toluca por el protocolo STOWA*. México.
- Visvanathan, C., Trankler, J. J., & Nagendran, R. (2005). *Vermicomposting as an Eco-Tool in Sustainable Solid Waste Managemen*. Chidambaram.
- Wang, L., Zheng, Z., Luo, X., & Zhang, J. (2011). *Performance and mechanisms of a microbial-earthworm ecofilter for removing organic matter and nitrogen from synthetic domestic wastewater*. EE.UU.
- Zegarra Marín, T. (2020). *Producción de leche freca en Celendín. Asociación Movimiento de Unidad Sucrense*.

ANEXOS

Figura 58

Ficha de acreditación de lombrices *Eisenia Foetida* Californianas



MUNICIPALIDAD
PROVINCIAL DE
CAJAMARCA
... renace.

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CAJAMARCA
SUBGERENCIA DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS
PROGRAMA RECICLA - SEGREGACIÓN EN LA FUENTE Y RECOLECCIÓN SELECTIVA DE
RESIDUOS SÓLIDOS INORGÁNICOS



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

La coordinación del Programa RECICLA - Subgerencia de Gestión Integral de Residuos Sólidos - Gerencia de Desarrollo Ambiental de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, otorga la siguiente:

CONSTANCIA

Al Sr. Miguel Ángel Atalaya Abanto con DNI N°72961540; domiciliado en el Jr. Dos de Mayo N° 361-Celendin, con N° de celular 916077794, Egresado de la Escuela Académico Profesional de INGENIERIA SANITARIA de la Universidad Nacional de Cajamarca, se hace CONSTAR que el día 20 de junio del 2023 en las instalaciones del Vivero Venecia se le entregó al Sr. Miguel Atalaya 6 kilos de Lombrices Californianas adultas para realizar su proyecto de investigación

Sirva la presente para los fines que estime conveniente.



MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CAJAMARCA
GERENCIA DE DESARROLLO AMBIENTAL
Subgerencia de Gestión Integral de Residuos Sólidos
Ing. Teófilo Bueno Santillán
Responsable del Programa de Segregación de Residuos
CIP 36567

Cajamarca, 30 de Enero del 2024.



Av. Alameda de los Incas
Cajamarca - Perú

076 602660 - 076 602661

contactenos@municaj.gob.pe

Figura 59
Primera toma de muestra del afluyente

 <p>LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA</p>	<p>LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA CON REGISTRO N° LE-084</p>	 <p>INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado Registro N° LE-084</p>	
INFORME DE ENSAYO N° IE 08230801			
DATOS DEL CLIENTE			
Razon Social/Nombre	MIGUEL ANGEL ATALAYA ABANTO		
Dirección	-		
Persona de contacto	MIGUEL ANGEL ATALAYA ABANTO	Correo electrónico	atalaya_14@unc.edu.pe
DATOS DE LA MUESTRA			
Fecha del Muestreo	31.07.23	Hora de Muestreo	18:00
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de puntos de muestreo	01		
Ensayos solicitados	Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación		
Referencia de la Muestra:	Celendin- Cajamarca		
DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO			
N° Contrato	SC-987	Cadena de Custodia	CC - 0801 - 23
Fecha y Hora de Recepción	01.08.23	08:46	Inicio de Ensayo 01.08.23 09:00
Reporte Resultado	11.08.23	15:30	



**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**



Oficina Regional de Promoción y Fomento de la Calidad
Cajamarca

Edder Neyra Jalco
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Figura 60

Primer reporte de resultados del afluente del biofiltro

15



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 08230801

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos					
Código de la Muestra			Afluente N° 1	.	.	.	.	.
Código Laboratorio			08230801-01	.	.	.	.	.
Matriz			Residual	.	.	.	.	.
Descripción			Industrial	.	.	.	.	.
Localización de la Muestra			CEPOP- Celanese	.	.	.	.	.
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos					
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	2.5	3262.0	.	.	.	.	.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.6	33495.1	.	.	.	.	.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	8.3	78871.4	.	.	.	.	.
Aceites y Grasas	mg/L	1.7	376.2	.	.	.	.	.

Leyenda: LCM Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (traza)



Firmado digitalmente por
 NERYA JACO RIVERA Miquel
 PAFI 20483744158 así
 Múltiple. Usa el sello de
 conformidad.
 Fecha: 11.08.2023 09:13 p.m.

Figura 61

Muestreo del efluente del biofiltro y muestreo del segundo afluente al biofiltro



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 08231022

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre	MIGUEL ANGEL ATALAYA ABANTO		
Dirección	-		
Persona de contacto	MIGUEL ANGEL ATALAYA ABANTO	Correo electrónico	matalaya_14@unc.edu.pe

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	23.08.23	Hora de Muestreo	11:40 a 11:52
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de puntos de muestreo	06		
Ensayos solicitados	Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación		
Referencia de la Muestra:	Celendin- Cajamarca		

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato	SC-1164	Cadena de Custodia	CC - 1022 - 23
Fecha y Hora de Recepción	23.08.23	15:30	Inicio de Ensayo 23.08.23 16:00
Reporte Resultado	04.09.23	16:40	

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA



Firmado digitalmente por EIDER NEYRA JAICO
 Id: 00000000-0000-0000-0000-000000000000
 Fecha: 04/09/2023 05:21 p.m.

Elder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Figura 62

Primer resultado del efluente y resultados de la segunda toma afluente



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



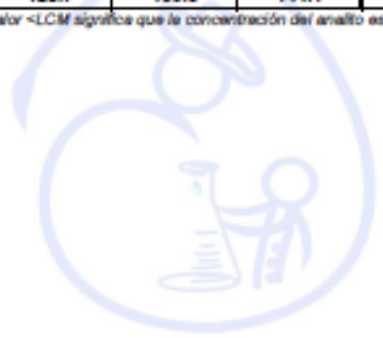
INFORME DE ENSAYO N° IE 08231022

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos					
Código de la Muestra			E1 B1	E1 B2	E1 B3	E1 B4	Afluente N° 2	-
Código Laboratorio			08231022-01	08231022-02	08231022-03	08231022-04	08231022-05	-
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	-
Descripción			Industrial	Industrial	Industrial	Industrial	Industrial	-
Localización de la Muestra			CEPOP- Celendin	CEPOP- Celendin	CEPOP- Celendin	CEPOP- Celendin	CEPOP- Celendin	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos					
Sólidos Suspensos Totales	mg/L	2.5	124.0	182.0	168.0	142.0	3720.0	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.6	2187.600	2297.600	2446.000	2137.600	28560.000	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	8.3	4821.4	4786.7	4882.8	4867.1	89286.7	-
Aceites y Grasas	mg/L	1.7	128.7	139.3	144.1	122.2	459.3	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación de Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (traza)



Firmado digitalmente por
NAYRA JACCO RIVERA Miguel
PAU 20432746188.pdf
Motivo: Visto en señal de conformidad
Fecha: 06/05/2023 08:31 p.m.



LABORATORIO REGIONAL

Figura 63

Toma de muestras del segundo efluente del biofiltro



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 09231150

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **MIGUEL ANGEL ATALAYA ABANTO**

Dirección -

Persona de contacto **MIGUEL ANGEL ATALAYA ABANTO** Correo electrónico matalaya_14@unc.edu.pe

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **13.09.23** Hora de Muestreo **6:00 a 6:12**

Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -

Procedimiento de Muestreo -

Tipo de Muestreo **Puntual**

Número de puntos de muestreo **04**

Ensayos solicitados **Químicos Instrumentales- Físicoquímicos**

Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación**

Referencia de la Muestra: **Celendín- Cajamarca**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-1252** Cadena de Custodia **CC - 1150 - 23**

Fecha y Hora de Recepción **13.09.23 10:39** Inicio de Ensayo **13.09.23 11:00**

Reporte Resultado **22.09.23 16:50**

LABORATORIO REGIONAL

Figura 64
Resultados del segundo efluente del biofiltro



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 09231150

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Físicoquímicos					
Código de la Muestra			EB-1	EB-2	EB-3	EB-4	-	-
Código Laboratorio			09231150-01	09231150-02	09231150-03	09231150-04	-	-
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	-	-
Descripción			Industrial	Industrial	Industrial	Industrial	-	-
Localización de la Muestra			CEFOP- Celendin	CEFOP- Celendin	CEFOP- Celendin	CEFOP- Celendin	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Físicoquímicos					
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	2.5	1890.0	1420.0	890.0	565.0	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.6	7814.8	8742.5	6114.3	6972.4	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	8.3	36428.6	37857.1	28214.3	26071.4	-	-
Aceites y Grasas	mg/L	1.7	329.5	411.4	184.3	202.1	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)



Firmado digitalmente por
NEYRA JAICO Edder Miguel
PAU 20483744168 soft
Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 22/08/2023 06:27 p.m.

Figura 65

Tercera toma del afluente del biofiltro



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 09231193

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **MIGUEL ANGEL ATALAYA ABANTO**

Dirección -

Persona de contacto **MIGUEL ANGEL ATALAYA ABANTO** Correo electrónico matalavaa14@unc.edu.pe

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **18.09.23** Hora de Muestreo **17:25**

Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -

Procedimiento de Muestreo -

Tipo de Muestreo **Puntual**

Número de puntos de muestreo **01**

Ensayos solicitados **Químicos Instrumentales- Físicoquímicos**

Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación**

Referencia de la Muestra: **Celendin-Cajamarca**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-1252** Cadena de Custodia **CC - 1193 - 23**

Fecha y Hora de Recepción **19.09.23 07:36** Inicio de Ensayo **19.09.23 07:50**

Reporte Resultado **28.09.23 16:00**

LABORATORIO REGIONAL

Figura 66

Resultados de la tercera muestra del afluente del biofiltro



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 09231193

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos				
Código de la Muestra	Afluente N°3	-	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	09231193-01	-	-	-	-	-	-
Matriz	Residual	-	-	-	-	-	-
Descripción	Industrial	-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	CEFOP-Celendin	-	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos				
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	2.5	3000.0	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.6	23411.4	-	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	8.3	59285.7	-	-	-	-
Aceites y Grasas	mg/L	1.7	761.3	-	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)



Firmado digitalmente por
NEYRA JAICO Eder Miguel
FAU 20453744166 soft
Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 20/09/2023 08:32 p.m.

Figura 67

Tercera muestra del efluente del biofiltro



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
 GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
 LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
 ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
 CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 10231275

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **MIGUEL ANGEL ATALAYA ABANTO**

Dirección -

Persona de contacto **MIGUEL ANGEL ATALAYA ABANTO** Correo electrónico matalavaa14@unc.edu.pe

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **05.10.23** Hora de Muestreo **16:00 a 16:12**

Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -

Procedimiento de Muestreo -

Tipo de Muestreo **Puntual**

Número de puntos de muestreo **04**

Ensayos solicitados **Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos**

Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación**

Referencia de la Muestra: **Celendin-Cajamarca**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-525** Cadena de Custodia **CC - 1275 - 23**

Fecha y Hora de Recepción **06.10.23 09:50** Inicio de Ensayo **06.10.23 11:00**

Reporte Resultado **19.10.23 16:15**

LABORATORIO REGIONAL

Figura 68

Resultados de la tercera muestra del efluente del biofiltro



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 10231275

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Físicoquímicos					
Código de la Muestra			EB-1	EB-2	EB-3	EB-4	-	-
Código Laboratorio			10231275-01	10231275-02	10231275-03	10231275-04	-	-
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	-	-
Descripción			Industrial	Industrial	Industrial	Industrial	-	-
Localización de la Muestra			CEPOP	CEPOP	CEPOP	CEPOP	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Físicoquímicos					
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.5	707.0	382.0	584.0	680.0	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.6	22113.8	15960.0	9848.2	11124.3	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	8.3	41785.7	31607.1	36785.7	37500.0	-	-
Aceites y Grasas	mg/L	1.7	473.1	311.2	267.5	271.0	-	-

Legenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)



Firmado digitalmente por
LOPEZ LEON Freddy Humberto
FAU 20453744160.scf
Motivo: Visto en señal de conformidad
Fecha: 19/10/2023 04:54 p. m.

Figura 70

Zarandeado de grava fina y grava media en el Valle de Lluquat



Figura 69

Elaboración, construcción de biofiltros del sistema tipo Tohá



Figura 72

Secado de las muestras del biofiltro en la estufa a 105 °C



Figura 71

Preservando la muestra con H_2SO_4



Figura 74
Generación de humus a los 15 días por la lombriz *Eisenia Foetida*



Figura 73
Peso de 0.42g de la lombriz *Eisenia Foetida*



Figura 75
Medición de la Lombriz *Eisenia Foetida* de 9 cm

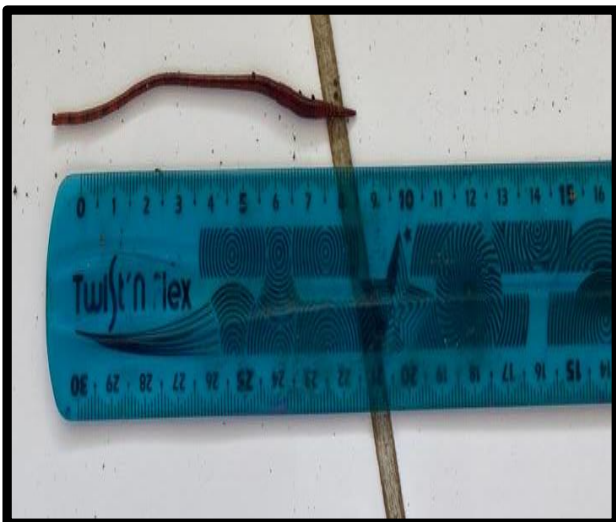


Figura 76
Segunda supervisión de nuestro asesor Ing. Agustín Medina Chávez

