

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

PROTOTIPO DE TRAMPA DE GRASAS HECHO CON MATERIAL
RECICLADO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
NO DOMÉSTICAS, TACNA 2024

TESIS

Presentada por:

Bach. Leonardo Flavio Gómez Franco

Para optar por el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

TACNA - PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

TESIS

PROTOTIPO DE TRÁMPA DE GRASAS HECHO CON MATERIAL

RECICLADO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS

RESIDUALES NO DOMÉSTICAS, TACNA 2024

SUSTENTADA Y APROBADA EL 29 DE DICIEMBRE DEL 2025, SIENDO EL
JURADO CALIFICADOR:

PRESIDENTE:

.....
Dr. Efrén Eugenio Chaparro Montoya

SECRETARIO:

.....
Dr. Carlos Francisco Tito Varga

VOCAL:

.....
Dr. César Julio Cáceda Quiroz

ASESOR:

.....
Dr. César Julio Cáceda Quiroz

CERTIFICADO DE SIMILITUD

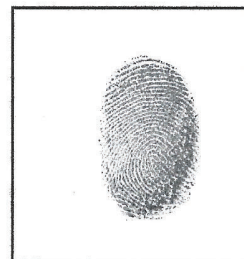
Yo, **Dr. César Julio Cáceda Quiroz**, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 8613-2024-FCAG de la tesis titulada: **"PROTOTIPO DE TRAMPA DE GRASAS HECHO CON MATERIAL RECICLADO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS, TACNA 2024"**. Presentado por el Bachiller **Leonardo Flavio Gómez Franco**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual considerando que, según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual Turnitin cuenta con un nivel de similitud del **7 %**, el cual se encuentra dentro del margen permitido por la institución.

Por lo que, **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciada líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para la obtención de título profesional, según corresponda consiguiente la publicación en el repositorio institucional.

FIRMA ASESOR:

Nombres y Apellidos y DNI

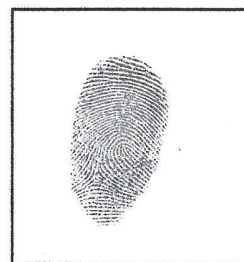

Dr. César Cáceda Quiroz
DNI: 00997214



FIRMA TESISTA:

Nombres y Apellidos y DNI


Leonardo Flavio Gómez Franco
71239470



DEDICATORIA

Dedico esta tesis a las mujeres que han marcado mi vida. A mi madre, Dina Andreina Franco Rios, por su amor y por impulsarme a ser mejor cada día. A Kihara Davila Huamachuco, por tener la paciencia y comprensión necesarias para caminar a mi lado en este proceso.

Y muy especialmente a Ninfa Rios Llaclla, quien, aunque ya no esté en cuerpo físico, siempre estará presente en mi alma. Sé que desde el cielo celebras este logro conmigo.

AGRADECIMIENTOS

A los integrantes de la familia Franco, mi eterno agradecimiento, pues sin ustedes no hubiese sido posible la realización de este trabajo de investigación.

De manera especial a Dina Andreina Franco Rios, por su apoyo incondicional. Gracias por estar siempre dispuesta a apoyarme cuando lo necesité y por ser el impulso constante para cumplir mis metas.

Agradezco también a la Sra. Nelly García Soto, por incentivar y brindarme las facilidades para desarrollar esta investigación.

Y a mi asesor, el Dr. César Julio Cáceda Quiroz, por su dirección y consejos durante todo el proceso de mi tesis.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del problema.....	6
1.2 Formulación del problema.....	8
1.2.1 Formulación del problema general.....	8
1.2.2 Formulación de los problemas específicos.....	8
1.3 Delimitación de la investigación.....	9
1.3.1 Delimitación temporal.....	9
1.3.2 Delimitación espacial.....	9
1.4 Justificación de la investigación.....	10
1.4.1 Justificación ambiental.....	10
1.4.2 Justificación social.....	11
1.4.3 Justificación económica.....	12
1.5 Limitaciones.....	13
CAPÍTULO II: OBJETIVOS E HIPÓTESIS	
2.1 Objetivos.....	14
2.1.1 Objetivo general.....	14
2.1.2 Objetivos específicos.....	14
2.2 Hipótesis.....	15
2.2.1 Hipótesis general.....	15
2.2.2 Hipótesis específicas.....	15
2.3 Variables.....	15
2.3.1 Variable independiente.....	15
2.3.2 Variable dependiente.....	16

2.3.3 Operacionalización de variables.....	16
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	
3.1 Antecedentes bibliográficos.....	17
3.2 Bases teóricas.....	20
3.2.1 Aguas residuales.....	20
3.2.2 Parámetros de los Valores Máximos Admisibles (VMA).....	23
3.2.3 Proceso para el pretratamiento de aguas residuales no domésticas....	27
3.3 Definición de términos.....	30
3.3.1 Usuario No Doméstico (UND).....	30
3.3.2 Trampa de grasa.....	31
3.3.3 Material reciclado.....	31
3.3.4 Turbidez.....	31
3.3.5 Sólidos Suspendidos Totales (SST).....	32
3.3.6 Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO5).....	32
3.3.7 Demanda Química De Oxígeno (DQO).....	33
3.3.8 Eficiencia de remoción.....	33
3.3.9 Pretratamiento.....	33
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
4.1 Tipo y diseño de investigación.....	35
4.1.1 Tipo de investigación.....	35
4.1.2 Nivel de investigación.....	35
4.1.3 Diseño de investigación.....	35
4.2 Población y muestra de estudio.....	35
4.2.1 Población.....	35
4.2.2 Muestra.....	36
4.2.3 Muestreo.....	37
4.3 Metodología.....	38
4.3.1 Diseño estadístico.....	38
4.3.2 Procedimiento experimental.....	38
4.3.3 Materiales y equipos.....	47

4.4	Análisis estadístico.....	47
CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN		
5.1	Resultados.....	50
5.1.1	Determinación de la influencia de la concentración, caudal y secciones internas del prototipo de trampa de grasa en la acumulación de aceites y grasas totales de aguas residuales no domésticas.....	50
5.1.2	Eficiencia del prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado en la remoción de los parámetros fisicoquímicos de aguas residuales no domésticas.....	53
5.1.3	Eficiencia del material reciclado en términos de costos y viabilidad para la fabricación de un prototipo de trampa de grasas.....	63
5.2	Discusión de resultados.....	73
5.2.1	Influencia del caudal y tiempo de retención hidráulica en la acumulación de aceites, grasas y sólidos sedimentables totales de aguas residuales no domésticas.....	73
5.2.2	Prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado en la remoción de los parámetros fisicoquímicos de aguas residuales no domésticas.....	74
5.2.3	Material reciclado en términos de costos y viabilidad para la fabricación de un prototipo de trampa de grasas.....	78
CONCLUSIONES.....		82
RECOMENDACIONES.....		84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		85

ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Matriz de consistencia.....	94
Anexo 2. Panel fotográfico.....	96
Anexo 3. Análisis de laboratorio.....	103

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de las variables	16
Tabla 2. Niveles de parámetros de control	38
Valores obtenidos al medir la altura de la grasa con concentraciones	
Tabla 3. y caudales diferentes en las 3 secciones del prototipo	50
Análisis de varianza de la influencia de la concentración, caudal y	
secciones internas de compartimiento del prototipo de trampa de	
grasa en la acumulación de aceites y grasas totales de aguas	
Tabla 4. residuales no domésticas	51
Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) la acumulación de	
aceites y grasas totales de aguas residuales no domésticas según	
Tabla 5. las secciones internas del prototipo de trampa de grasa	52
Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) la acumulación de	
aceites y grasas totales de aguas residuales no domésticas según	
Tabla 6. la concentración inicial de aceites y grasas del afluente	53
Tabla 7. Valores obtenidos al medir los parámetros de campo	54
Tabla 8. Valores obtenidos al medir los parámetros en laboratorio	55
Valores obtenidos al pasar los datos de la Tabla 8 en la fórmula de	
Tabla 9. eficiencia de remoción.	56
Análisis de varianza de la eficiencia de remoción de la DQO (%) de	
Tabla 10. aguas residuales no domésticas en el prototipo de trampa de grasa	56
Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la	
Tabla 11. eficiencia de remoción de la DQO (%) según la concentración inicial	57
Análisis de varianza de la eficiencia de remoción de la DBO5 (%) de	
Tabla 12. aguas residuales no domésticas en el prototipo de trampa de grasa	57
Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la	
Tabla 13. eficiencia de remoción de la DBO5 (%) según la concentración inicial	58

	Análisis de varianza de la eficiencia de remoción de aceites y grasas (%) de aguas residuales no domésticas en el prototipo de trampa de	
Tabla 14.	grasa	58
	Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la eficiencia de remoción de aceites y grasas (%) según la	
Tabla 15.	concentración inicial	59
	Análisis de varianza de la eficiencia de remoción de la conductividad (%) de aguas residuales no domésticas en el prototipo de trampa de	
Tabla 16.	grasa	59
	Análisis de varianza de la eficiencia de remoción de la turbidez (%) de aguas residuales no domésticas en el prototipo de trampa de	
Tabla 17.	grasa	60
	Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la eficiencia de remoción de la turbidez (%) según la concentración	
Tabla 18.	inicial	61
	Análisis de varianza de la eficiencia de remoción de los sólidos suspendidos totales (SST), de aguas residuales no domésticas en el	
Tabla 19.	prototipo de trampa de grasa	62
	Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la	
Tabla 20.	eficiencia de remoción de los SST (%) según la concentración inicial	62
	Análisis de varianza de la eficiencia de remoción de los sólidos disueltos totales – TDS (%) de aguas residuales no domésticas en el	
Tabla 21.	prototipo de trampa de grasa	63
	Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la	
Tabla 22.	eficiencia de remoción de los TDS (%) según la concentración inicial	63
Tabla 23.	Insumos que componen la mezcla del mortero	66
Tabla 24.	Insumos que componen los accesorios de las conexiones	68
	Análisis comparativo de viabilidad económica por horizontes	
Tabla 25.	temporales	71
	Comparación de costos de la trampa de grasa hecha con material	
Tabla 26.	reciclado y una trampa de grasa convencional	72

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación de locales comerciales – C.P. Francisco Bolognesi.....	37
Figura 2. Flujograma de las principales etapas del desarrollo de la experimentación.....	39
Figura 3. Diseño del prototipo de trampa de grasa.....	41

RESUMEN

Se evaluó un prototipo de trampa de grasas construido con materiales reciclados para el pretratamiento de aguas residuales no domésticas (ARND). El estudio analizó: (i) la influencia del diseño interno y de la concentración de aceites y grasas (AyG) sobre la acumulación por compartimientos; (ii) la eficiencia de remoción de DQO, DBO₅, turbidez, conductividad eléctrica, TDS y SST; y (iii) la viabilidad económica. La acumulación de AyG mostró un gradiente decreciente desde la entrada hacia la salida (1,36; 0,88; 0,11 cm) y aumentó con la carga de entrada (0,39; 0,76; 1,19 cm para 10 000, 20 000 y 30 000 mg/L), con diferencias significativas entre secciones y concentraciones (Tukey, $p < 0,05$). La eficiencia de remoción de DQO y DBO₅ fue muy alta en todos los tratamientos, con valores superiores al 98 % y diferencias asociadas a la concentración: 98,56 % frente a 99,88–99,54 % para DQO, y 98,69 % frente a 99,90–99,85 % para DBO₅ (ANOVA/Tukey, $p < 0,05$). Para turbidez y SST se observaron remociones moderadas y sensibles a la concentración (turbidez: 2,26; 33,27; 41,53 %; SST: 1,88; 23,19; 31,18 %, $p = 0,00$). En los parámetros de la fracción disuelta (TDS y conductividad eléctrica) la remoción fue baja, coherente con el principio de separación por gravedad del dispositivo; caso contrario fue observado en los parámetros asociados a material particulado/coloidal (turbidez y SST) se observaron remociones moderadas. El análisis económico estimó un costo inicial de S/ 240 para el prototipo frente a S/ 1 800 de una alternativa comercial (ahorro de 86,7 %). El costo anual equivalente fue S/ 213,31 y el costo nivelado osciló

entre S/ 3,56–1,19 por m³ según el uso; a 10 años, S/ 1,89 por m³. Se concluye que la segmentación interna, carga de AyG y desempeño (acumulación y remoción) son factores que apoyan decisiones de pretratamiento en aguas residuales no domésticas.

Palabras clave: Aceites y grasas, aguas residuales no domésticas, materiales reciclados, trampa de grasas.

ABSTRACT

A prototype grease interceptor constructed from recycled materials was evaluated for the pretreatment of non-domestic wastewater (NDW). The study examined: (i) the influence of internal design and influent fats, oils, and grease (FOG) concentration on compartment-wise accumulation; (ii) removal efficiency for COD, BOD5, turbidity, electrical conductivity, total dissolved solids (TDS), and total suspended solids (TSS); and (iii) economic feasibility. FOG accumulation exhibited a decreasing gradient from inlet to outlet (1,36; 0,88; 0,11 cm) and increased with influent load (0,39; 0,76; 1,19 cm at 10 000, 20 000, and 30 000 mg/L), with significant differences across compartments and concentrations (Tukey, $p < 0.05$). COD and BOD5 removal efficiencies were very high across all treatments, exceeding 98%, with concentration-dependent differences: 98,56% versus 99,88–99,54% for COD, and 98,69% versus 99,90–99,85% for BOD5 (ANOVA/Tukey, $p < 0,05$). For turbidity and TSS, moderate, load-sensitive removals were observed (turbidity: 2,26%, 33,27%, 41,53%, TSS: 1,88%, 23,19%, 31,18%; ANOVA, $p = 0,00$). For parameters representing the dissolved fraction (TDS and electrical conductivity), removal was low, consistent with the device's gravity-separation mechanism; by contrast, parameters associated with particulate/colloidal matter (turbidity and TSS) showed moderate removals. The economic analysis estimated an initial cost of S/ 240 for the prototype versus S/ 1 800 for a commercial unit (86,7% savings). The equivalent annual cost was S/ 213,31 and the levelized cost ranged from S/ 3,56 to 1,19 per m^3 depending on utilization; over a 10-year horizon,

S/ 1,89 per m³. Overall, the findings indicate that internal segmentation, influent FOG load, and performance metrics (accumulation and removal) inform pretreatment decision-making for NDW.

Keywords: Fats, oils, and grease (FOG); non-domestic wastewater; recycled materials; grease interceptor.

INTRODUCCIÓN

La gestión segura de las aguas residuales es un componente esencial de la salud pública y de la resiliencia ambiental. Los sistemas de agua, saneamiento e higiene (WASH) son determinantes para prevenir enfermedades, sostener los medios de vida y reducir riesgos ambientales, por lo que el tratamiento adecuado de las descargas líquidas constituye una prioridad transversal en políticas de salud y ambiente (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2019).

Dentro de las corrientes no domésticas, las aguas residuales generadas por servicios de alimentación (restaurantes, comedores institucionales y afines) se caracterizan por cargas significativas de materia orgánica y, especialmente, de aceites y grasas (AyG/FOG). Estas fracciones, que pueden encontrarse en forma libre, dispersa o emulsionada según las operaciones de lavado y la presencia de tensioactivos, son problemáticas en los sistemas de alcantarillado y en las plantas de tratamiento. Investigaciones sobre efluentes de establecimientos de alimentos han documentado concentraciones elevadas de DQO, DBO₅ y AyG, así como altos niveles de emulsificación en particular en corrientes de lavavajillas, que dificultan la separación por gravedad y favorecen el transporte de AyG hacia la red (Environmental Protection Agency [EPA], 2012).

El vertimiento de AyG no controlados contribuye a la formación y crecimiento de depósitos en colectores, bombas y accesorios, incrementando la frecuencia de

atascos, sobrecostos de operación y eventos de desborde. A nivel internacional, el sector de saneamiento reporta un número sustantivo de bloqueos por año, con una fracción mayoritaria atribuible a AyG y a prácticas inadecuadas de disposición de residuos sólidos asociados (como toallitas húmedas, residuos de comida, entre otros); este fenómeno, popularmente referido como “fatbergs”, ha sido documentado por utilidades y asociaciones del Reino Unido, con estimaciones de cientos de miles de obstrucciones anuales y hasta el 70 % relacionadas con AyG y materiales indebidamente vertidos (Chavez, 2020).

En respuesta a estos impactos, numerosos marcos regulatorios exigen pretratamientos en origen. En el Perú, la normativa de Valores Máximos Admisibles (VMA) para descargas de aguas residuales no domésticas a sistemas de alcantarillado sanitario, aprobada por el D. S. N° 021-2009-VIVIENDA y modificada posteriormente, establece parámetros de control (entre ellos, AyG), procedimientos y obligaciones para los usuarios, con el objetivo de proteger la infraestructura y asegurar la operación de los sistemas (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019). En paralelo, los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua (D.S. N° 004-2017-MINAM) fijan metas de calidad a nivel de cuerpos receptores, reforzando la necesidad de tratamientos efectivos a lo largo del ciclo urbano del agua.

La trampa de grasas (o separador de AyG) es el dispositivo más extendido como primera barrera en establecimientos generadores. Su principio es

mayormente gravitacional: extender el tiempo de residencia hidráulica y promover la separación por diferencia de densidades, asistida por baffles o medios coalescentes. Guías técnicas sectoriales describen su función, criterios de dimensionamiento e instalación, así como requerimientos de operación y mantenimiento (O&M) para evitar cortocircuitos hidráulicos, arrastres de AyG y pérdidas de eficiencia. Sin embargo, se ha reportado que el desempeño real de las trampas varía ampliamente en campo por factores de diseño, carga, temperatura, detergentes y, sobre todo, por O&M insuficiente (sub dimensionamiento, limpieza tardía o inadecuada).

La literatura actual refleja esta variabilidad, estudios en interceptores comerciales señalan que, si bien las unidades reducen AyG, no siempre lo hacen de manera consistente bajo condiciones reales de operación, pudiendo descargar concentraciones significativas cuando existen emulsiones estables o el equipo y su mantenimiento no son adecuados. Estas observaciones sustentan la necesidad de caracterizaciones más finas, tanto hidráulicas como fisicoquímicas, y de evaluar configuraciones que mejoren la coalescencia y el control del arrastre (Pérez, 2024).

En este contexto, soluciones de bajo costo y fabricación local adquieren relevancia para pequeñas y medianas operaciones alimentarias, especialmente en entornos con restricciones presupuestales. Manuales y experiencias de campo describen diseños pasivos, materiales de fácil acceso y esquemas de O&M que, correctamente implementados, pueden reducir los costos iniciales y facilitar la

adopción del pretratamiento. Paralelamente, investigaciones científicas demuestran la factibilidad de prototipos económicos y el potencial de valorización de los residuos capturados (en cadenas de biodiésel u otros), lo que se alinea con estrategias de economía circular.

A pesar de estos avances, persisten brechas técnicas: (i) falta de datos controlados que vinculen diseño interno (segmentación, geometría, medios coalescentes) con perfiles espaciales de acumulación de AyG y con eficiencias de remoción de indicadores como DQO, DBO₅, turbidez, SST y TDS; (ii) escasez de evaluaciones que aíslen el efecto de la concentración de entrada y del tiempo de residencia en condiciones reproducibles; y (iii) evaluaciones técnico-económicas comparables (costos nivelados por metro cúbico tratado o por kilogramo de AyG removido) que permitan decidir entre alternativas comerciales y prototipos locales con materiales reciclados.

La presente investigación se inscribe en ese vacío de conocimiento. Se fabrica y evalúa un prototipo de trampa de grasas construido con materiales reciclados, analizando cómo la segmentación interna y la carga de AyG inciden en la acumulación por compartimientos y en el arrastre; también se estudia la eficiencia de remoción de parámetros fisicoquímicos representativos de agua residual no doméstica asociada a servicios de alimentación; y la viabilidad económica mediante costos nivelados bajo supuestos operativos explícitos. Con ello, se buscó generar evidencia aplicable para decisiones de pretratamiento en establecimientos de

menor escala y aportar criterios de diseño y operación alineados con el marco normativo peruano y las mejores prácticas sectoriales.

Por consiguiente, la estructura de esta investigación se organiza en cinco capítulos. El Capítulo I presenta el planteamiento del problema, que abarca la descripción, formulación, justificación, importancia, alcances y limitaciones del estudio. El Capítulo II expone los objetivos, las hipótesis y las variables de investigación. El Capítulo III desarrolla los antecedentes, las bases teóricas y la definición de términos clave. El Capítulo IV describe el marco metodológico, incluyendo el tipo y diseño de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección, así como el procesamiento y análisis de datos. Finalmente, el Capítulo V muestra los resultados obtenidos, la discusión con base en estudios previos. Seguidamente se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Tacna, ciudad emblemática por su dinámico sector comercial, se ve enfrentada a un desafío crucial en la gestión de aguas residuales no domésticas originadas en diversos establecimientos, como panaderías, restaurantes, mercados y centros comerciales. Según datos recientes, el 65 % de estos negocios carecen de sistemas de tratamiento de aguas residuales adecuados, lo que los deja incapaces de cumplir con los valores máximos admisibles (VMA) establecidos para usuarios no domésticos (Sistema Nacional de Información Ambiental [SINIA], 2021). Esta deficiencia acarrea graves consecuencias, ya que estos efluentes sin tratar presentan concentraciones considerables de grasas, aceites y sedimentos, lo que incrementa significativamente el riesgo de obstrucciones y deterioro progresivo del sistema de alcantarillado sanitario (Díaz, 2018).

La descarga de aguas residuales con altos contenidos de grasas y aceites, procedentes de establecimientos comerciales, se configura como una grave amenaza para el correcto funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Esta problemática compromete la capacidad de estas instalaciones para procesar eficazmente estos efluentes y cumplir con los estándares ambientales establecidos (Hidalgo & Huayama, 2022). Los compuestos grasos y oleosos forman capas adherentes en las instalaciones de las PTAR, lo que

reduce significativamente la capacidad de sedimentación y aumenta la carga orgánica en los procesos de tratamiento biológico. A su vez, esta situación genera un incremento sustancial en los costos operativos asociados a la limpieza y mantenimiento constante de los equipos (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS], 2022). Por lo tanto, la ausencia de un enfoque efectivo para gestionar estos compuestos grasos y oleosos no solo acarrea graves consecuencias para la infraestructura local, sino que también impacta negativamente en el medio ambiente y la salud pública (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA - INEI], 2019). La contaminación por aceites y grasas puede provocar la eutrofización de cuerpos de agua, la proliferación de microorganismos patógenos y la alteración de ecosistemas acuáticos; además, la exposición a estos contaminantes puede generar problemas de salud como enfermedades gastrointestinales y respiratorias (Cabezas-Zábala & Hernández-Torres, 2019).

En el marco de este panorama, se evidencia la necesidad de implementar soluciones localizadas que aborden los desafíos específicos de la ciudad de Tacna. Los establecimientos comerciales constituyen un componente importante de la dinámica económica; sin embargo, la inadecuada gestión de las aguas residuales genera impactos negativos tanto en la población como en la infraestructura de saneamiento, evidenciando deficiencias en los sistemas de tratamiento existentes (Huarachi & Huanacuni, 2021; Autoridad Nacional del Agua, 2016). Con la creciente conciencia ambiental y la necesidad de cumplir con regulaciones sanitarias, la

implementación de una de trampa de grasas emerge como una solución potencialmente eficaz y sostenible (Vásquez, 2022). Además, al incorporar en su diseño y construcción con materiales reciclados, no solo se aborda la problemática de los residuos, sino que también se fomenta la economía circular y se reducen los impactos negativos en el entorno local (Calderon & Sotelo, 2021).

En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo comprender y evaluar la viabilidad de la implementación de una trampa de grasas mediante el diseño y construcción de un prototipo fabricado a partir de material reciclado como una alternativa del tratamiento de aguas residuales no domésticas en Tacna durante el año 2024.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Formulación del problema general

¿En qué medida un prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado contribuye en el tratamiento de aguas residuales no domésticas en la ciudad de Tacna durante el año 2024?

1.2.2 Formulación de los problemas específicos

¿Cómo influyen la concentración, caudal y las secciones de compartimiento del prototipo de trampa de grasa diseñado y construido con materiales reciclados para el tratamiento de aguas residuales no domésticas en la acumulación de aceites y grasas totales de las aguas residuales no domésticas?

¿Cuál será la eficiencia de un prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado en la remoción de los parámetros fisicoquímicos de aguas residuales no doméstica?

¿Qué tan eficiente serán los materiales reciclados (PET y EPS) en términos de costos y viabilidad para la construcción de un prototipo de trampa de grasas?

1.3 Delimitación de la investigación

1.3.1 Delimitación temporal

La fase experimental de la investigación se estructuró en tres etapas consecutivas; determinación del prototipo (fase de diseño y planificación), construcción del prototipo (fase de Implementación y ejecución) y búsqueda de resultados (fase de análisis y conclusiones).

1.3.2 Delimitación espacial

La elaboración del prototipo y la experimentación se realizó en Tacna. El análisis de laboratorio se realizó en dos laboratorios, en el Laboratorio de Análisis de Aguas (LAA) de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG) y en el laboratorio de CERTIFICACIONES DEL PERÚ S. A. (CERPER).

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 *Justificación ambiental*

La implementación de una trampa de grasas elaborado con material reciclado se alinea a la necesidad imperante de abordar los desafíos asociados al tratamiento de aguas residuales no domésticas de manera sostenible (Quilcate et al., 2021). La adopción de esta trampa de grasas no solo apunta a la reducción de contaminantes en las aguas residuales no domésticas, sino que también busca mejorar la calidad del agua vertida al sistema de alcantarillado. Este enfoque es esencial para preservar la integridad del sistema de alcantarillado y garantizar que la calidad del agua residual no doméstica que llega a la PTAR cumpla con los parámetros admisibles. De esta manera, se propicia un entorno propicio para llevar a cabo un tratamiento efectivo y eficiente de las aguas residuales, asegurando que se encuentren dentro de los límites aceptables para el proceso de tratamiento en la PTAR (Vizcardo, 2019).

Adicionalmente, la incorporación de material reciclado para la construcción de éste fomenta la economía circular al reutilizar recursos existentes, reduciendo la demanda de nuevos materiales y disminuyendo la generación de residuos (Castañeda et al., 2020). La utilización de materiales reciclados implica un menor impacto en los recursos naturales, ya que se evita la extracción de materias primas y se aprovechan materiales existentes que de otra manera podrían contribuir a la contaminación ambiental (Calderon & Sotelo, 2021).

Finalmente, a través de la investigación y aplicación de prácticas sostenibles, se orientó la promoción de la conciencia ambiental en la comunidad de Tacna y destaca la importancia de adoptar tecnologías respetuosas con el entorno.

1.4.2 Justificación social

La implementación de una trampa de grasas elaborada con material reciclado adquiere una relevancia social trascendental al abordar la problemática de las aguas residuales no domésticas generadas por restaurantes y pequeños negocios en Tacna en consecuencia de que estas, al tener altas concentraciones de aceites, grasas y sólidos que, si no son tratados adecuadamente, pueden ocasionar obstrucciones significativas en las redes de alcantarillado. Dichas obstrucciones pueden provocar desbordamientos de aguas residuales, lo que a su vez puede conducir a inundaciones en zonas urbanas (SUNASS, 2022).

Las inundaciones por desbordamiento de aguas residuales exponen a la población a diversos riesgos para la salud. En primer lugar, las personas se ven expuestas a malos olores desagradables y molestos, lo que puede afectar su calidad de vida y bienestar; además, estas aguas residuales contienen una amplia gama de contaminantes y microorganismos patógenos, como bacterias, virus, parásitos y otros agentes infecciosos (Hidalgo & Huayama, 2022). La exposición a estos agentes puede provocar diversas enfermedades, como enfermedades gastrointestinales, infecciones de la piel y los ojos, y otras afecciones de salud (Almeyda, 2018)

Por lo tanto, la falta de tratamiento adecuado de estas aguas residuales no solo afecta la salud ambiental, sino que también tiene repercusiones directas en la salud de la población. La mejora en la gestión de estas aguas contribuirá a la preservación de la calidad del agua en la comunidad, reduciendo el riesgo de enfermedades relacionadas con la contaminación hídrica; asimismo, al promover la adopción de prácticas sostenibles entre los negocios locales, se fomenta una cultura de responsabilidad ambiental y social que repercute positivamente en el bienestar colectivo (Vizcardo, 2019).

1.4.3 Justificación económica

Desde una perspectiva económica, la implementación de trampas de grasas en restaurantes y pequeños negocios en Tacna representa una inversión estratégica y crucial para la sostenibilidad a largo plazo de estos negocios. La acumulación de aceites y grasas en las tuberías puede provocar obstrucciones y daños significativos en el sistema de drenaje, además de tener que realizar tareas adicionales de mantenimiento en las tuberías, lo que puede resultar en costosos servicios de plomería (Solís & Neira, 2018). Estas reparaciones no solo implican gastos directos, sino también la interrupción temporal de las operaciones comerciales, lo que puede generar pérdidas económicas adicionales. Otra razón económica sustancial para implementar trampas de grasas es evitar los costos asociados a multas y sanciones por incumplimiento de las normativas impuestas por las entidades reguladoras (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú [MVCS], 2019). De tal modo, cumplir con la colocación de una trampa de

grasas que sea elaborado con material reciclado no solo redundó en beneficios medioambientales, sino que también generó ahorros significativos para los propietarios de negocios.

Al prevenir la acumulación de grasas y contaminantes en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales y en el sistema de alcantarillado, se reducirán los costos asociados con mantenimientos y reparaciones. Además, la posibilidad de incorporar material reciclado para construir el prototipo de trampa de grasas implica una alternativa económicamente viable en comparación con métodos convencionales, beneficiando a los propietarios de negocios al ofrecerles una solución efectiva a un costo razonable.

1.5 Limitaciones

La obtención de agua residual no doméstica de un establecimiento se presentó como una limitación, por lo que se decidió en utilizar muestras de agua residual sintética que fueron preparadas ajustando previamente las concentraciones establecidas en la metodología de la investigación.

Del mismo modo, se presentó limitaciones en el acceso a equipos y materiales de laboratorio en el Laboratorio de Análisis de Agua (LAA) para la obtención de los resultados finales dado a la falta de la UNJBG.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos

2.1.1 *Objetivo general*

Evaluar el funcionamiento de un prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado en el tratamiento de aguas residuales no domésticas en la ciudad de Tacna durante el año 2024.

2.1.2 *Objetivos específicos*

Determinar la influencia de la concentración, caudal y sección de compartimiento del prototipo de trampa de grasa en la acumulación de aceites y grasa totales de aguas residuales no domésticas mediante la implementación de un prototipo de trampa de grasa hecho con material reciclado.

Analizar la eficiencia de un prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado (PET y EPS) en la remoción de los parámetros fisicoquímicos de aguas residuales no domésticas.

Evaluar la eficiencia del material reciclado en términos de costos y viabilidad para la fabricación de un prototipo de trampa de grasas.

2.2 Hipótesis

2.2.1 Hipótesis general

La aplicación de un prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado demuestra una diferencia significativa en el tratamiento de aguas residuales no domésticas en Tacna durante el año 2024.

2.2.2 Hipótesis específicas

La concentración, caudal y las secciones de compartimiento influyen en la acumulación de aceites y grasas totales en el prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado.

El prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado presenta una eficiencia significativa en la remoción de los parámetros fisicoquímicos de aguas residuales no domésticas.

La eficiencia del material reciclado (PET y EPS) en términos de costos y viabilidad para la fabricación de un prototipo de trampa de grasas es significativa en comparación con el uso de materiales convencionales.

2.3 Variables

2.3.1 Variable independiente

Prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado.

2.3.2 Variable dependiente

Agua residual no doméstica.

2.3.3 Operacionalización de variables

En la Tabla 1 se observa las variables, identificación de la dimensión e indicadores que serán aplicados en la investigación.

Tabla 1

Operacionalización de las variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Tipo
Independiente			
X ₁ = Prototipo de trampa de grasas hecha con material reciclado	Física	Caudal (L/s) Concentración (g/L) Tiempo (fases)	Continua Continua Nominal
Dependiente			
Y= Agua residual no doméstica (sintética)	Fisicoquímicos	Eficiencia de: • Turbidez (NTU) • Aceites y grasas (mg/L) • SST (mg/L) • DBO₅ (mg/L) • DQO (mg/L)	Continua Continua Continua Continua Continua

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

3.1 Antecedentes bibliográficos

Ayquipa (2021), en su tesis titulada "Evaluación de la eficiencia de una trampa de grasa (interceptor de grasa hidromecánico) para el pretratamiento de aguas residuales grises en viviendas unifamiliares del distrito de Lares-Cusco", construyó un prototipo de vidrio que permitió observar el comportamiento del flujo y manipular el caudal de ingreso mediante una válvula reguladora. Los resultados demostraron una relación inversa significativa entre la velocidad del flujo y la capacidad de retención del sistema; específicamente, se determinó que, a mayor caudal de ingreso, la eficiencia de remoción disminuye debido a la reducción del tiempo de retención hidráulica y el aumento de la turbulencia interna. El estudio concluyó que, al controlar y optimizar el caudal de entrada a un nivel operativo ideal, se logró alcanzar una eficiencia máxima de remoción del 99% en el prototipo, validando así que el control del caudal es la variable crítica para el diseño efectivo de estos interceptores.

Gonzales (2020), en su investigación titulada "Evaluación de la eficiencia de las trampas de grasa en comparación con las trampas de grasa con microorganismos eficientes para efluentes de restaurantes en el distrito de Tarapoto", caracterizó inicialmente los efluentes de restaurantes, donde se reportó una concentración promedio de aceites y grasas de 1,39 g/L (1 394,74 mg/L), valor

que excedía significativamente los Límites Máximos Permisibles (LMP) para descargas al alcantarillado. Los resultados evidenciaron que, ante estas elevadas concentraciones de ingreso, el sistema convencional presentó limitaciones, mientras que el sistema mejorado (con adición biológica) logró una eficiencia de remoción del 98,39% para aceites y grasas, reduciendo drásticamente la concentración final. Este estudio concluye que la eficiencia del prototipo es altamente sensible a la concentración inicial del contaminante, demostrando que para cargas superiores a 1 g/L es indispensable implementar mejoras tecnológicas en el diseño de las trampas (como la propuesta en tu tesis con materiales reciclados) para garantizar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

Huarachi y Huanacuni (2021), en su investigación titulada "Sistema de tratamiento de aguas residuales del matadero municipal de Tacna", aplicó un diseño pre-experimental con mediciones comparativas en dos fases temporales del flujo: el "antes" (afluente crudo) y el "después" (efluente tratado). Los resultados de la fase comparativa fueron contundentes respecto al indicador de eficiencia: mientras que el afluente ingresaba con una concentración masiva de 1 797 mg/L de aceites y grasas, tras el paso por el sistema de tratamiento (fase posterior), esta carga descendió drásticamente a 26,20 mg/L. Esta diferencia significativa entre las fases de entrada y salida representa una eficiencia de remoción superior al 98%, demostrando estadísticamente cómo un pretratamiento adecuado transforma las propiedades fisicoquímicas del agua en un tiempo de retención determinado,

logrando cumplir con los Valores Máximos Admisibles (VMA) estipulados por la normativa peruana.

Rodríguez (2022), en su tesis "Eficiencia de un sistema de pretratamiento para la remoción de carga contaminante en efluentes de una industria de alimentos en Lima", midió la turbidez como uno de los indicadores principales de calidad, dado que la presencia de aceites emulsionados genera una alta opacidad en el afluente. Los resultados obtenidos fueron contundentes respecto al aclaramiento del agua: el afluente ingresaba con una turbidez promedio de 285 NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez), lo cual indicaba una alta presencia de materia orgánica y grasas en suspensión. Tras el proceso de retención en la trampa, el efluente final registró un valor de 42 NTU, logrando una eficiencia de reducción del 85.2%. El autor concluye que existe una correlación directa entre la remoción de grasas y la disminución de la turbidez, validando el uso de este parámetro (NTU) como un indicador rápido y confiable para monitorear el funcionamiento correcto de los sistemas de retención de grasas.

Espinoza (2021), en su investigación titulada "Eficiencia de la trampa de grasa en la reducción de parámetros fisicoquímicos en aguas residuales de un restaurante en el distrito de San Martín de Porres", analizó efluentes con una carga orgánica crítica generada por la actividad gastronómica intensiva (pollería). Los resultados de laboratorio fueron reveladores respecto al indicador de concentración: el afluente ingresaba al sistema con una carga promedio de 1 250 mg/L de aceites

y grasas, superando ampliamente los límites permitidos para la descarga en la red de alcantarillado. Tras el paso por la unidad de retención, la concentración en el efluente descendió a 80,5 mg/L, logrando una eficiencia de remoción del 93,56%. El autor concluye que, para garantizar que la concentración de salida cumpla con los Valores Máximos Admisibles (VMA) estipulados en el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, es determinante que el diseño de la trampa asegure un tiempo de residencia que permita la flotación y separación efectiva de las partículas lipídicas.

Mendoza (2021), en su tesis titulada "Eficiencia de remoción de contaminantes básicos en el tratamiento de aguas residuales de un camal municipal utilizando un sistema de trampas en serie", analizó la variable de Sólidos Suspendidos Totales (SST) en efluentes con alta carga de residuos orgánicos particulados. Los resultados obtenidos fueron significativos para este indicador: el afluente ingresaba con una concentración media de 1 450 mg/L de SST, lo que representaba una gran cantidad de materia sólida flotante y sedimentable. Tras el paso por el sistema de retención, la concentración disminuyó a 280 mg/L, logrando una eficiencia de remoción del 80,6%. El autor concluye que la trampa de grasa actúa eficazmente como una unidad de sedimentación, permitiendo que los sólidos más pesados se depositen en el fondo y los suspendidos queden atrapados en la capa de nata superficial, reduciendo así la carga física que ingresa a los sistemas de alcantarillado o tratamientos posteriores.

Meza y Solis (2020), en su tesis "Evaluación de la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales del camal municipal de Chupaca para la mejora de la calidad del efluente", analizó efluentes con características no domésticas críticas, donde la presencia de sangre, grasas y restos orgánicos elevaba drásticamente la demanda de oxígeno. Los resultados respecto al indicador DBO5 mostraron que el efluente crudo ingresaba con una concentración media de 1 840 mg/L, un valor extremadamente alto que indicaba un fuerte potencial contaminante y de putrefacción. Tras pasar por el sistema de pretratamiento (que incluía la retención de sólidos y grasas), la DBO5 se redujo a 680 mg/L. Aunque el pretratamiento por sí solo no potabiliza el agua, logró una reducción de la carga orgánica del 63%, demostrando que la retención física de grasas y sólidos tiene un impacto directo y significativo en la disminución de la DBO5, facilitando así los procesos de tratamiento biológico posteriores o reduciendo el impacto del vertimiento.

Sánchez (2021), en su investigación "Evaluación de la eficiencia de remoción de carga orgánica en aguas residuales de restaurantes mediante sistemas de pretratamiento en la ciudad de Chiclayo", se centró en efluentes "no domésticos" con alta presencia de aceites quemados y restos de comida, factores que disparan los valores de DQO. Los resultados demostraron que la DQO es un indicador altamente sensible a la presencia de grasas. El afluente crudo presentaba una DQO promedio de 3 250 mg/L, un valor que refleja una contaminación química severa. Tras el tratamiento en la unidad de trampa de grasa, este valor descendió a 1 150 mg/L, logrando una eficiencia de remoción global del 64,6%. El autor

concluye que una parte significativa de la DQO en este tipo de aguas está compuesta por DQO particulada (asociada a las grasas y sólidos suspendidos), por lo que un prototipo físico de retención es la primera barrera indispensable para reducir la carga química antes de cualquier tratamiento biológico secundario.

El trabajo de Arellano & Sánchez (2017) “Propuesta de mejora de diseño de una trampa de grasa para restaurantes” quienes llevaron a cabo un trabajo de investigación enfocado en la mejora del diseño de trampas de grasa para restaurantes. Se llevaron a cabo acciones de mantenimiento correctivo y preventivo en diversas trampas de grasa, buscando una solución eficiente dadas las condiciones específicas de ubicación de estos dispositivos. Los resultados obtenidos indicaron que el nuevo diseño de la trampa de grasa se ajustó a las necesidades identificadas, demostrando la posibilidad de lograr un mantenimiento eficiente. No obstante, se enfatizó la necesidad de poner a prueba este dispositivo en condiciones reales para evaluar su comportamiento y realizar mantenimiento en un entorno práctico, especialmente en un restaurante de comida mexicana. Estos antecedentes subrayaron la relevancia de abordar la problemática de las trampas de grasas desde una perspectiva práctica y adaptada a condiciones específicas.

Por otro lado Saltos (2017), demostró en su trabajo “Estudio de un sistema de trampas de grasa en la empresa de catering Los Almendros y su incidencia en el cuidado del medio ambiente”, que el sistema de trampa de grasas alcanzó una retención del 33% por mililitro cúbico, logrando así una reducción diaria del 65% en

la contaminación ambiental por residuos grasos en el efluente de establecimientos de comida rápida.

Chinchilla (2016) en “Relación de sólidos sedimentados con la eficiencia de las trampas de grasas (desengrasadores)” evaluó la relación entre los parámetros de diseño de las trampas de grasas y su eficiencia en la remoción de grasas y aceites. Los resultados revelaron porcentajes de remoción de DQO del agua comercial tratada entre 59 % y 80 %, así como una eficiente remoción de grasas que alcanzó un 79 %.

Esquirva (2016) en “Remoción de aceites y grasas residuales domésticas usando lodos activados de planta de tratamiento de agua residual en el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez en Lima-Perú” utilizó lodos activados para la remoción de aceites y grasas en aguas residuales domésticas. El estudio demostró hasta un 46,8 % de remoción de aceites y grasas.

Vizcardo (2019) en “Desarrollo de un programa integral de disminución de valores máximos admisibles en aguas residuales de establecimientos de comida en un centro comercial de Lima” realizó el monitoreo de la implementación de trampas de grasa en restaurante por un período de 5 meses para medir la eficiencia del programa implementado muestreando los parámetros establecidos en los VMA. Como resultado obtuvo una reducción de SST del 52,11 %, DQO del 70,87 %, DBO₅ del 73,75 % y A y G del 85,70 %.

Gárate (2017) en “Determinación y Comparación de los Valores de los Parámetros de los Efluentes de Aguas Residuales de Restaurantes con los VMA, según la Norma Vigente” determinó y comparó valores de parámetros fisicoquímicos en efluentes de restaurantes con los VMA según la normativa vigente. Reportó que estos efluentes presentaban valores de concentración de sólidos suspendidos totales (SST) entre 734 mg/L y 1 386 mg/L, y para aceites y grasas, valores entre 353,60 mg/L y 725,65 mg/L.

Hussin et al. (2018) en “Portable Grease Trap for Wastewater Management System: A Conceptual Design Approach” se propusieron desarrollar un diseño conceptual para una trampa pasiva de grasas destinada a un sistema de gestión de aguas residuales. Para determinar el diseño óptimo, llevaron a cabo un proceso que incluyó encuestas a clientes, análisis de casa de calidad, elaboración de un cuadro morfológico y aplicación del método Pugh. El concepto final resultante tuvo unas dimensiones razonables de 300 mm x 430 mm x 300 mm, con un peso aproximado de 7 kg, lo que lo hace liviano y fácilmente transportable. Además, el diseño propuesto se caracterizó por su economía, ya que utiliza únicamente materiales como el PVC y piezas de acero dulce.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Aguas residuales

Son una combinación de líquidos y residuos de agua que tienen su origen en los edificios comerciales, instituciones y fábricas incluyendo agua subterránea, agua superficial o agua de lluvia (Poveda, 2014).

3.2.1.1 Clasificación de las aguas residuales.

A. Aguas blancas o de lluvia. Son agua en alcantarillas o escorrentías superficiales, tiene las características de gran entrada intermitente y baja contaminación (Gomez, 2017).

B. Aguas residuales domésticas. Las aguas residuales domésticas se refieren al agua que proviene de actividades cotidianas y domésticas dentro de los hogares (Quintero, 2014). Este tipo de aguas residuales incluye las provenientes de lavado de ropa, duchas, baños, lavado de platos y otras actividades domésticas similares. Por lo general, las aguas residuales domésticas contienen una variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos, así como materia suspendida (Andrade, 2020).

C. Aguas residuales no domésticas. Las aguas residuales no domésticas engloban todas las aguas residuales que no provienen de actividades domésticas. Este tipo de aguas residuales se origina en instalaciones comerciales, industriales o institucionales, como fábricas, restaurantes, hospitales, centros comerciales y otros establecimientos no residenciales. Las aguas residuales no

domésticas pueden contener contaminantes específicos relacionados con las actividades particulares de cada tipo de establecimiento, como productos químicos industriales, grasas, aceites, sedimentos y otros elementos que varían según el sector y la operación. Estas aguas residuales a menudo requieren un tratamiento especializado debido a la diversidad y concentración de contaminantes presentes (Nuñez et al., 2019).

3.2.1.2 Constituyentes del agua residual. Los componentes que se hallan en las aguas residuales se pueden clasificar en biológicos, físicos y químicos. Las sustancias que comprenden las aguas residuales domésticas pueden ser: los compuestos orgánicos que pueden degradarse, los sólidos en suspensión, y algunos microorganismos patógenos. Por ende, la trampa de grasa debe estar diseñada para tratar las aguas residuales. Antes de considerar las características biológicas, químicas y físicas de las aguas residuales, conviene comprender brevemente los procedimientos que son usados para realizar la correcta caracterización de las aguas residuales (Gamboa, 2017).

Las aguas residuales presentan diversas características, que se pueden clasificar según su estado físico. En primer lugar, se distinguen por su fracción suspendida, la cual consiste en una mezcla heterogénea de sólidos en polvo o partículas no solubles dispersas en un medio líquido. Esta fracción incluye suspensiones mecánicas cuando hay un componente líquido y otros sólidos suspendidos en la mezcla (Díaz, 2018).

Otro componente es la fracción coloidal, un sistema que consta de dos fases, generalmente un líquido y partículas sólidas muy finas dispersas en él. La fase dispersa es la de menor proporción. Por último, se encuentra la fracción soluble, que se refiere a una mezcla homogénea a nivel molecular o iónico de sustancias puras en proporciones variables (Velasco et al., 2019).

En cuanto a la composición química, las aguas residuales están compuestas en un 99 % por agua y un 1 % por sólidos en suspensión y solución. Estos sólidos se dividen en orgánicos e inorgánicos. Los sólidos inorgánicos contienen elementos como nitrógeno, fósforo, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y sustancias tóxicas como arsénico, cianuro, cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo y zinc (Díaz, 2018). Por otro lado, los sólidos orgánicos se clasifican en nitrogenados (proteínas, ureas, aminas y aminoácidos) y no nitrogenados (principalmente celulosa, grasas y jabones) (Huamán, 2023).

En términos bacteriológicos, el tratamiento de aguas residuales busca eliminar agentes patógenos de origen humano presentes en excretas para evitar la contaminación biológica y cortar el ciclo epidemiológico de transmisión (García-Hidalgo, 2015).

En relación con la materia en suspensión y materia disuelta, se utilizan diversos tratamientos fisicoquímicos. La materia en suspensión se separa mediante

sedimentación y filtración, empleando gravedad o medios filtrantes. La materia disuelta, ya sea orgánica o inorgánica, se trata mediante métodos específicos como la insolubilización para la orgánica (convirtiéndola en un caso de separación sólido-líquido) o tratamientos fisicoquímicos más costosos, como la ósmosis inversa, para la inorgánica. Los métodos de tratamiento se seleccionan según el tipo de contaminación presente en las aguas residuales. La separación sólido-líquido se logra mediante procesos gravitatorios o medios filtrantes. Por ejemplo, la materia suspendida sólida se separa a través de procesos de sedimentación y filtración, mientras que la materia aceitosa se trata con la separación líquido-líquido, comúnmente mediante flotación (Ancalle & Ledesma, 2020).

En cambio, la materia disuelta puede ser tanto orgánica como inorgánica. Para la materia orgánica, se emplea un método extendido que implica su insolubilización, transformándola en material celular y convirtiéndola en un caso de separación sólido-líquido. En contraste, la materia disuelta inorgánica requiere tratamientos fisicoquímicos más sofisticados y costosos, como la ósmosis inversa (Díaz, 2018).

3.2.2 Parámetros de los Valores Máximos Admisibles (VMA)

La medida de la cantidad de elementos, compuestos o factores físicos y/o químicos, establecidos en los Apéndices N° 1 y N° 2 del Decreto Supremo 010-2019-VIVIENDA (2019), identifica a un efluente no residencial designado para su descarga en la red de alcantarillado sanitario. Cuando estos parámetros aprobados

son superados, se produce un daño inmediato o progresivo a las instalaciones e infraestructura sanitaria, generando impactos negativos en los procesos de tratamiento de aguas residuales (MVCS, 2019).

Los Valores Máximos Admisibles (VMA) son de aplicación a nivel nacional y deben ser cumplidos obligatoriamente por todos los usuarios que realicen descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (Gárate, 2017). Las entidades prestadoras de servicios de saneamiento son responsables de hacer cumplir estos estándares. La implementación de la normativa sobre VMA en las Empresas Prestadoras de Servicios (EPS) se llevó a cabo en tres etapas:

- En la primera fase, se establecieron procedimientos para la implementación de los VMA en la EPS, se planificó la ejecución, se adquirió conocimiento sobre los VMA y se estableció contacto con los Usuarios No Domésticos (UND).
- La segunda fase facilitó el contacto con los UND, notificándolas para que presentaran su declaración jurada de conformidad con la normativa, y se recibieron dichas declaraciones de manera sistemática por parte de la EPS.
- La tercera fase comprendió el registro de los UND, la facturación, el control del cumplimiento y la realización anual de un estudio que evalúa las acciones empresariales en este ámbito.

Los parámetros más importantes que se regulan son:

– **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)**

Un aumento en la concentración de DBO₅ indica la presencia de materia orgánica biodegradable en el efluente. Elevadas concentraciones de DBO₅ pueden llevar a una mayor demanda de oxígeno en el proceso de tratamiento, lo que podría resultar en la disminución del oxígeno disponible en el agua receptora y afectar negativamente la vida acuática (Mamani & Ccorimanya, 2021).

La alta DBO₅ puede sobrecargar las instalaciones de tratamiento, disminuyendo la eficiencia del proceso biológico y aumentando el riesgo de descargas insuficientemente tratadas. Mientras que la reducción del oxígeno en el agua receptora puede causar condiciones anaeróbicas, afectando la fauna acuática y generando malos olores (Rubio & Montenegro, 2018).

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

Altas concentraciones de DQO señalan la presencia de sustancias químicas y materiales orgánicos en el efluente que pueden consumir oxígeno durante su descomposición. Un aumento en la DQO indica una carga orgánica y química considerable, lo que podría afectar adversamente la calidad del agua receptora y los procesos de tratamiento (Arévalo, 2015).

Concentraciones elevadas de DQO pueden requerir tratamientos avanzados y costosos, ya que la descomposición de estas sustancias puede ser más difícil y requerir procesos más complejos. La presencia de sustancias químicas en concentraciones altas puede generar impactos negativos en la calidad del agua, afectando la biota acuática y generando riesgos para la salud humana (Gamboa, 2017).

– **Sólidos Suspendidos Totales (SST)**

Concentraciones elevadas de SST indican la presencia de partículas sólidas en suspensión en el efluente, que pueden incluir sedimentos, materia orgánica y otros contaminantes. Un aumento en SST puede afectar la claridad del agua, causar sedimentación en cuerpos de agua receptores y dificultar los procesos de tratamiento (Guerra, 2022).

Altas concentraciones de SST pueden obstruir y dañar equipos y sistemas de tratamiento, aumentando los costos operativos y de mantenimiento. La sedimentación en los cuerpos de agua receptores puede alterar los ecosistemas acuáticos, afectando la vida y la salud de los organismos acuáticos (Armas, 2015).

– **Aceites y grasas**

Concentraciones elevadas de aceites y grasas sugieren la presencia de contaminantes lipofílicos en el efluente, que pueden provenir de diversas fuentes industriales y de comercio. El exceso de aceites y grasas puede causar problemas

en la operación de sistemas de tratamiento, así como contaminar cuerpos de agua receptores, afectando la vida acuática y la calidad del agua (Serrano, 2019).

La presencia de aceites y grasas en concentraciones altas puede requerir tecnologías especializadas para su eliminación, lo que aumenta la complejidad y los costos del tratamiento. La contaminación de cuerpos de agua receptores con aceites y grasas puede tener impactos a largo plazo en la biodiversidad y generar preocupaciones ambientales y de salud pública (Mesinas et al., 2018).

3.2.3. *Proceso para el pretratamiento de aguas residuales no domésticas*

3.2.3.1. Desengrasado. El propósito fundamental de esta etapa operativa es eliminar las grasas, espumas y otros elementos flotantes sólidos de menor densidad que el agua, también denominados trampas de grasas o separadores de grasa (Sultana et al., 2024).

La separación de aceites, grasas y materiales menos densos que el agua puede llevarse a cabo aprovechando las disparidades de densidad. La separación por gravedad resulta factible cuando las diferencias de separación pueden lograrse en un periodo razonable. La utilización de placas corrugadas dispuestas en paralelo en un plano inclinado no solo reduce el espacio necesario, sino que también favorece la coalescencia y concentración de los aceites (Saltos, 2017).

3.2.3.2. Flotación. La flotación contribuye a mejorar la separación de grasas y partículas en suspensión al adherirse las burbujas de aire y reducir la densidad aparente. Durante el tratamiento, las grasas, entre otros inconvenientes, podrían desencadenar y favorecer fenómenos indeseables de flotación de lodos (Ayquipa, 2021).

3.2.3.3. Filtración. Este procedimiento implica el paso de una mezcla sólidos-líquido a través de un medio poroso o filtro que retiene los sólidos de dimensiones mayores que el diámetro de su poro, permitiendo el paso del líquido o filtrado. Si el filtro es una masa porosa, se denomina filtración en profundidad o en volumen, mientras que si presenta una superficie homogénea (filtración por membrana), se produce una filtración en superficie o en torta o sobre soporte (Huamán, 2023).

Dependiendo del tamaño específico de los sólidos en relación con el de los poros, la filtración puede tener lugar en la superficie del medio filtrante, en profundidad (también conocida como filtración sobre lecho filtrante) o, de manera más común, en ambas zonas (Chinchilla, 2015).

3.2.3.4 Trampa de grasas. Un componente esencial en la gestión de residuos líquidos es la trampa de grasas o interceptor de grasas, situado estratégicamente entre las líneas de desagüe del origen del residuo líquido y las alcantarillas. Su función principal es separar y recoger grasas y aceites presentes

en el agua utilizada, evitando su ingreso al sistema de alcantarillado público. Dado que las grasas y aceites pueden ocasionar problemas graves en el sistema de recolección de aguas servidas, las autoridades municipales imponen la instalación obligatoria de estas trampas en lugares como restaurantes, cocinas de hoteles, hospitales y otros entornos donde pueda existir una cantidad significativa de grasa que afecte el funcionamiento adecuado del sistema de alcantarillado. Además, esta exigencia se aplica a establecimientos que manejen aguas residuales de lavado de pisos, equipos y maquinarias, así como las provenientes de lavanderías de ropa (Ubalde, 2021).

La acción de las trampas de grasas consiste en retardar el flujo del agua proveniente de los desagües, permitiendo que las grasas y el agua tengan el tiempo necesario para separarse. Este proceso implica que las grasas, al separarse, floten en la superficie, mientras que los sólidos más pesados se depositan en el fondo de la trampa (Vásquez, 2022).

La implementación de trampas de grasas es una exigencia obligatoria para adecuar las descargas de lavaderos, lavaplatos y otros dispositivos sanitarios donde existe un exceso de grasa que podría alterar las condiciones del sistema de alcantarillado (MVCS, 2019).

Las ordenanzas municipales establecen características fundamentales para estas trampas, entre las que se encuentran: La capacidad de las instalaciones

extensas debe ser el doble de la cantidad de líquido que fluye durante la hora de máxima demanda. La proporción entre el largo y el ancho de la superficie de la trampa debe situarse entre 2:1 y 3:2, mientras que su profundidad no puede ser inferior a 0,80 m. La capacidad mínima exigida para la trampa de grasa es de 70 L. Además, se debe asegurar que la trampa cuente con una cobertura impermeable que prevenga filtraciones de aguas residuales, y la grasa almacenada debe eliminarse cuando alcance un grosor equivalente al 10 % de la altura del líquido en la trampa. Asimismo, se exige la presencia de una boca de inspección con dimensiones apropiadas para la toma de muestras y la verificación de los VMA (Humanante et al., 2022).

3.3. Definición de términos

3.3.1. *Usuario No Doméstico (UND)*

Se refiere a un individuo o entidad legal que vierte aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. Están obligados a instaurar un sistema de tratamiento de aguas residuales y, en caso de que sus descargas superen los límites establecidos en los anexos N° 1 y N° 2 (D.S. N°010-2019-VIVIENDA), deben realizar ajustes en sus procesos productivos (MVCS, 2019).

3.3.2. *Trampa de grasa*

Es un dispositivo diseñado para retener y separar las grasas y aceites presentes en las aguas residuales antes de que ingresen al sistema de alcantarillado o a instalaciones de tratamiento. Este mecanismo previene la

obstrucción de las tuberías y ayuda a mantener la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales al reducir la cantidad de grasas y aceites que ingresan al sistema (Loarte, 2020).

3.3.3. *Material reciclado*

Hace referencia a sustancias o productos que han sido recuperados o procesados a partir de materiales previamente utilizados, en lugar de ser obtenidos a partir de recursos naturales vírgenes. El proceso de reciclaje busca reducir la demanda de nuevos recursos, minimizar la generación de desechos y disminuir el impacto ambiental al reincorporar materiales recuperados en la fabricación de nuevos productos (Adams et al., 2017).

3.3.4. *Turbidez*

La turbidez es una medida que describe el grado de opacidad o nubosidad presente en un líquido debido a la presencia de partículas suspendidas, como sedimentos, partículas orgánicas u otros sólidos. Se expresa comúnmente en unidades nefelométricas de turbidez (NTU) y se utiliza como indicador de la claridad del agua. La medición de la turbidez es relevante en contextos como el monitoreo de la calidad del agua, ya que altos niveles de turbidez pueden afectar la transparencia del agua y tener implicaciones en los ecosistemas acuáticos (Mohamed et al., 2019).

3.3.5. Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Son partículas sólidas que se encuentran suspendidas en una muestra de agua. Estas partículas pueden ser de origen orgánico o inorgánico y se miden en términos de la cantidad de sólidos presentes en una cantidad específica de agua, generalmente expresada en miligramos por litro (mg/L). Los sólidos suspendidos totales son un parámetro importante para evaluar la calidad del agua, ya que su presencia en altas concentraciones puede indicar contaminación y afectar negativamente los ecosistemas acuáticos (Coaquira, 2018).

3.3.6. Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO₅)

Este parámetro es un indicador que mide la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en una muestra de agua o efluente. Representa la carga orgánica biodegradable y es utilizada para evaluar la calidad del agua y la eficiencia de los procesos de tratamiento. La DBO se expresa generalmente en miligramos de oxígeno por litro (mg/L) y se determina midiendo la reducción del oxígeno disuelto durante un período de tiempo específico en condiciones controladas (Carreño, 2016).

3.3.7. Demanda Química De Oxígeno (DQO)

Es un parámetro utilizado para medir la cantidad de compuestos orgánicos en una muestra de agua o efluente. Representa la cantidad de oxígeno necesario para oxidar químicamente los compuestos orgánicos presentes. La DQO se utiliza como indicador de la carga contaminante y la cantidad de materia orgánica biodegradable en el agua, lo que ayuda a evaluar la calidad del agua y la eficiencia de los procesos de tratamiento (Rubio & Montenegro, 2018).

3.3.8. Eficiencia de remoción

Se refiere a la capacidad de un sistema de tratamiento de aguas para eliminar o reducir la concentración de contaminantes presentes en el agua residual. Esta medida cuantifica la efectividad del proceso en la eliminación de sólidos suspendidos, materia orgánica, nutrientes, metales pesados u otros contaminantes específicos. La eficiencia de remoción se expresa generalmente como un porcentaje y es un indicador crucial para evaluar el rendimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales (Pratap & McNabola, 2023).

3.3.9. Pretratamiento

Es una fase inicial en el proceso de tratamiento de aguas residuales que implica la eliminación de materiales gruesos y la reducción de la carga de contaminantes antes de que el agua pase a etapas de tratamiento más avanzadas. Este proceso previo es esencial para proteger los equipos de la planta de

tratamiento de daños, mejorar la eficiencia del tratamiento y garantizar la conformidad con los estándares ambientales (Contreras, 2015).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y diseño de investigación

4.1.1. *Tipo de investigación*

La investigación se realizó de manera cuantitativa, al concentrarse en la medición y el análisis matemático de los datos adquiridos.

4.1.2. *Nivel de investigación*

El nivel de investigación que se llevó a cabo fue de manera aplicativa, ya que se centró en teorías existentes para cumplir con los objetivos.

4.1.3. *Diseño de investigación*

Se seleccionó un diseño experimental dado a que se buscó establecer las relaciones causales entre las variables de interés, lo cual requirió un control de todos los factores que puedan influir en los resultados, así como la asignación aleatoria de los grupos experimentales para garantizar la validez interna del estudio.

4.2. Población y muestra de estudio

4.2.1. *Población*

La población objetivo del estudio comprendió los establecimientos pequeños de preparación de chicharrones en la ciudad de Tacna, de los cuales se recolectó

el aceite de cocina usado con pequeños restos de comida generados en sus operaciones.

4.2.2 Muestra

De las zonas con mayor comercio de comida en la ciudad de Tacna, se seleccionaron las chicharronerías próximas al Mercado Francisco Bolognesi, ubicado en la intersección de la Av. Coronel Mendoza y la Av. Basadre y Forero. Esta elección se fundamentó en la facilidad de acceso y en la configuración urbana del sector, donde estos establecimientos operan principalmente dentro de viviendas multifuncionales y no en locales comerciales exclusivos (Figura 1).

Cabe precisar que, durante la fase de recolección de muestras, se contó con la participación de diversos establecimientos; no obstante, los propietarios manifestaron su deseo explícito de mantener el anonimato. Por consiguiente, el estudio omite nombres comerciales, datos identificativos adicionales o registros fotográficos de las fachadas e interiores de los locales, garantizando así la confidencialidad solicitada. De esta manera, los residuos recolectados fueron empleados exclusivamente para simular las características de un agua residual no doméstica en las pruebas experimentales del estudio.

Figura 1

Ubicación de locales comerciales – C.P. Francisco Bolognesi



4.2.3 Muestreo

Se empleó un enfoque de muestreo no probabilístico por conveniencia para la recolección de la muestra. Se trabajó con los establecimientos de venta de chicharrones voluntarios ubicados en las inmediaciones del Mercado Francisco Bolognesi (Figura 1), entregando a cada puesto respectivo una galonera de 4 litros y un recipiente rectangular con tapa de 34 litros. Los propietarios de los establecimientos asumieron la responsabilidad de verter en los recipientes designados tanto el aceite de cocina usado como el agua residual proveniente del lavado de utensilios de cocina (platos, cubiertos, vasos, etc.) durante un período consecutivo de tres días.

4.3 Metodología

4.3.1 Diseño estadístico

Se llevó a cabo un experimento factorial utilizando un modelo de diseño completamente al azar (DCA) con un arreglo factorial de 3x2 con el objetivo de examinar la influencia de los factores a estudiar (Tabla 2). Esto permitió obtener resultados de las diversas combinaciones de los niveles asignados a cada factor, permitiendo así estudiar sus interacciones. Se realizaron un total de 6 corridas, cada una con tres repeticiones (triplicado), dando como resultado un total de 18 unidades experimentales. La selección de los factores y sus respectivos niveles se basó en la revisión de las investigaciones de Carhuamaca y Mejia (2020) y Chinchilla (2015).

Tabla 2

Niveles de parámetros de control

Parámetro de control	Niveles
Factor A: Caudal	- 0,05 L/s.
	- 0,06 L/s.
	- 0,07 L/s.
Factor B: Concentración del agua residual sintética	- 30 000 mg/L.
	- 20 000 mg/L.
	- 10 000 mg/L.
Factor C: Etapa	- Antes
	- Después

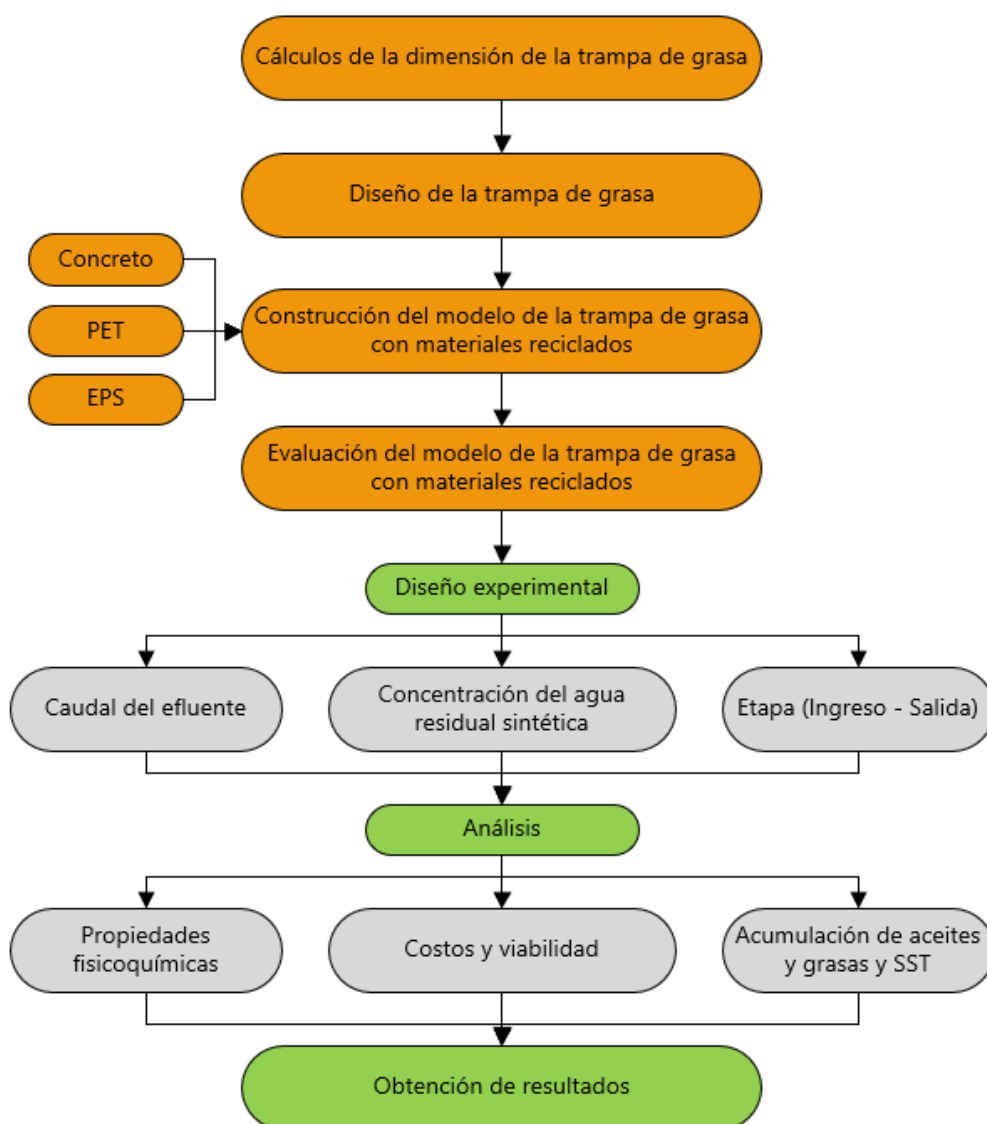
Nota. Elaboración propia.

4.3.2 Procedimiento experimental

La investigación se desarrolló en diferentes fases experimentales, tal como se muestra en la Figura 2. Cada fase comprendió una serie de actividades interrelacionadas que permitieron alcanzar los objetivos planteados.

Figura 2

Flujograma de las principales etapas del desarrollo de la experimentación



De tal manera, el procedimiento experimental se llevó a cabo de acuerdo a los objetivos específicos planteados:

- a) **Diseño y construcción del prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado para determinar la influencia del caudal y tiempo de retención hidráulica en la acumulación de aceites, grasas y sólidos sedimentables totales de aguas residuales no doméstica**

a.1. Diseño de la trampa de grasa

El diseño de la trampa de grasa se basó en criterios básicos de ingeniería de aguas residuales y factores relevantes mencionados en las investigaciones de Gonzáles (2020) y Vizcardo (2019) siendo las siguientes:

- **Geometría y relación de dimensiones:** Se estableció una relación de aspecto de 2:1 entre el largo y el ancho para optimizar el tiempo de residencia hidráulica y la separación de fases. Específicamente, el prototipo cuenta con dimensiones externas de 0,90 m de largo y 0,40 m de ancho, con una profundidad total de 0,50 m (incluyendo un espesor de muro de 0,05 m), cumpliendo con el criterio de profundidad mínima de 0,50 m para facilitar la decantación de sólidos y la flotación de lípidos.
- **Capacidad operativa:** El volumen total de diseño se fijó en 100 L, lo que garantiza una retención hidráulica suficiente para procesar las cargas contaminantes evaluadas y prevenir desbordamientos o el arrastre de grasas hacia el efluente.

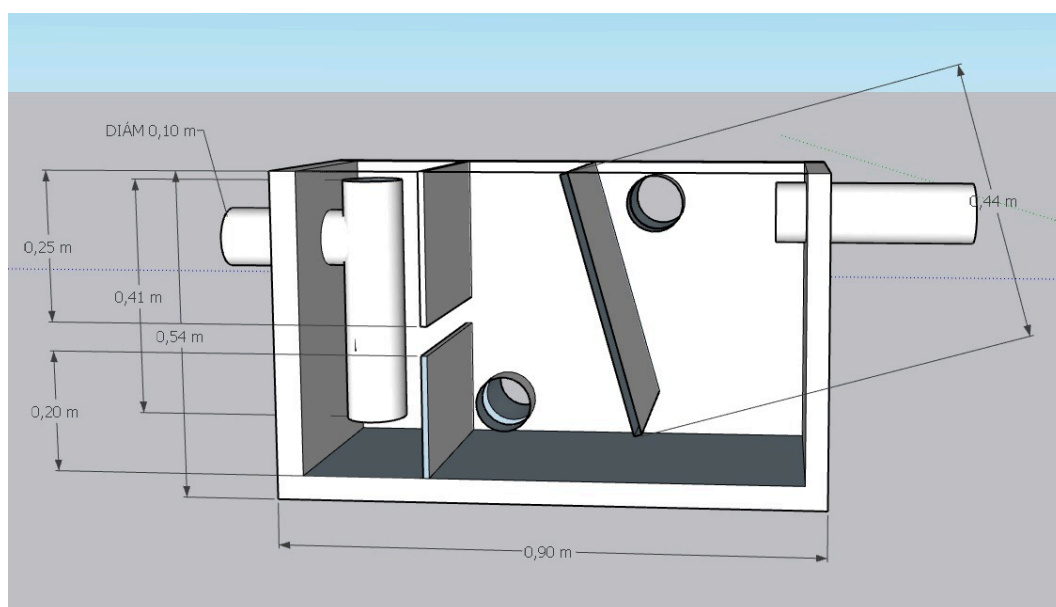
- **Mantenimiento y accesibilidad:** El diseño priorizó la facilidad de limpieza mediante accesos simplificados para la remoción periódica de la capa de grasa acumulada, asegurando la sostenibilidad operativa del sistema.

Configuración de Materiales: Se empleó una mezcla de mortero convencional reforzada con agregados de PET triturado y EPS reciclado (15% cada uno en volumen), seleccionados por su resistencia en entornos húmedos y su contribución a la economía circular del proyecto.

De esta manera, en la Figura 3 se muestra las dimensiones planteadas para la construcción de la trampa de grasa.

Figura 3

Diseño del prototipo de trampa de grasa



a.2. Construcción de la trampa de grasa con materiales reciclados

La fabricación del prototipo integró materiales reciclados (tereftalato de polietileno reciclado – PET y poliestireno expandido - EPS) y componentes vítreos para permitir el monitoreo experimental, siguiendo un protocolo estructurado de construcción civil:

- **Preparación del sitio y encofrado:** Se habilitó un espacio nivelado dentro de la vivienda seleccionada para asegurar la estabilidad estructural del prototipo. Se procedió al diseño y montaje de un molde de madera acorde a las dimensiones de 2:1 establecidas (0,50 x 0,40 x 0,90 m) (Figura 3).
- **Dosificación y mezcla de materiales:** El cuerpo de la trampa se fabricó con una mezcla compuesta por un 70% de mortero (proporción 1:2 cemento-arena) y un 30% de agregados reciclados, distribuidos equitativamente en 15% de PET triturado y 15% de EPS reciclado. Para garantizar la estanqueidad y prevenir filtraciones a través de la porosidad del concreto, se incorporó un aditivo impermeabilizante en la mezcla.
- **Instalación de paneles de observación:** Con el fin de visualizar la acumulación de grasas y el comportamiento de las fases en las tres secciones internas, se instalaron paredes de vidrio de alta resistencia en una de las caras laterales. La unión y el sellado hermético entre las placas de vidrio y la estructura de concreto se realizaron mediante la aplicación de silicona industrial de alta adherencia, asegurando la inexistencia de fugas durante las pruebas.

- **Vaciado y curado:** Tras el vertido de la mezcla en el molde, se realizó un proceso de curado controlado, manteniendo la humedad y temperatura constantes para alcanzar la resistencia mecánica óptima y evitar fisuras por retracción.
- **Sistema hidráulico y mantenimiento:** Se instaló un sistema de tuberías de PVC de Ø4", incluyendo un codo de inmersión para la entrada y un tubo de desfogue estratégicamente ubicado para facilitar el retiro del agua tratada y la limpieza periódica del sistema.

a.3. Determinación de la influencia del caudal en la acumulación de aceites, grasas y sólidos sedimentables totales de aguas residuales no domésticas

Para determinar la influencia del caudal en la acumulación de contaminantes en la trampa de grasas de material reciclado, se aplicó el método volumétrico para la estandarización de los flujos de entrada. Este método consistió en la cuantificación del caudal (Q) mediante la medición del tiempo (t) que tarda un fluido en llenar un recipiente de volumen conocido (V), aplicando la relación matemática:

$$Q = V/t.$$

Para el control experimental, el flujo de ingreso de las aguas residuales no domésticas fue regulado mediante una llave de paso, la cual permitió graduar con precisión el paso del fluido hasta estabilizar los caudales en valores de 0,05 L/s, 0,06 L/s y 0,07 L/s. La verificación de cada caudal se realizó por triplicado para asegurar la repetibilidad de los ensayos.

Una vez establecido el régimen hidráulico, se procedió a evaluar la acumulación de residuos. La medición de la altura de la capa de aceites y grasas,

así como de los sólidos sedimentables, se realizó de manera sistemática en cada una de las tres secciones internas de la trampa. Para garantizar la exactitud de los datos obtenidos, se utilizó un vernier, permitiendo registrar las variaciones de nivel en cada compartimento. Este procedimiento permitió analizar cómo la variación de la carga hidráulica y el tiempo de retención resultante afectan la eficiencia de separación en las distintas etapas del sistema de tratamiento.

Finalmente, se estableció un criterio de selección para definir el régimen operativo de las fases experimentales subsiguientes. Se determinó que, en caso de identificar un caudal que presente una eficiencia de remoción significativamente superior a los demás, este será adoptado como el estándar operativo. Por el contrario, de no observarse variaciones significativas (diferencias estadísticas) en la eficiencia entre los caudales evaluados, se optará por estandarizar el flujo máximo de 0,07 L/s. Esta decisión se fundamenta en la optimización de los recursos temporales, dado que un mayor caudal agiliza los procesos de llenado y purga, permitiendo acelerar la ejecución de las pruebas sin comprometer la validez de los resultados.

b) Análisis de la eficiencia de un prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado en la remoción de los parámetros fisicoquímicos de aguas residuales no domésticas

Con respecto al segundo objetivo, se consideró los parámetros resaltados por Tuesta, (2021); Chinchilla (2016) y Gonzáles (2020). Por consiguiente, se realizó la determinación de los siguientes parámetros:

– **Turbidez**

Se empleó la metodología mediante la normativa SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3270 D, 24th Ed. 2022 la cual consiste en medir la turbidez en Unidades de Turbidez Nefelométrica (NTU) empleando un turbidímetro, el cual estuvo calibrado. Para la medición, se llenó el recipiente con la muestra, se introdujo en el turbidímetro modelo HACH y se registró la lectura.

– **DBO₅**

Se empleó la metodología establecida por la normativa SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24th Ed. 2022 la cual consiste en llenar con muestra, hasta rebosar, una botella hermética e incubarla a la temperatura de 20 °C durante 5 días. El oxígeno disuelto (OD) se midió antes y después de la incubación, y la DBO se calculó a partir de la diferencia entre la OD inicial y final.

– **DQO**

Se empleó la metodología mediante SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24th Ed. 2022 la cual consiste en acidificar la muestra y mezclarla con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) en un recipiente sellado. La mezcla se calentó bajo reflujo, oxidando la materia orgánica presente. El $K_2Cr_2O_7$ restante se determinó por titulación con sulfato ferroso de amonio. La DQO se calculó en mg O_2/L en base al consumo de $K_2Cr_2O_7$.

– **SST**

Se empleó la metodología mediante la normativa SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 24th Ed. 2022 la cual consiste en filtrar un volumen

medido de la muestra a través de un filtro previamente pesado. Los sólidos capturados quedaron retenidos en el filtro. Luego, el filtro con los sólidos se secó en un horno a una temperatura de 103 a 105 °C hasta que no hubo cambios significativos en su peso. Finalmente, se determinó la cantidad de sólidos capturados por la diferencia entre el peso final del filtro y su peso inicial. Este aumento de peso representó la concentración de SST en la muestra original.

– **Aceites y grasas**

Según el método de Soxhlet establecido en la normativa A.O.A.C. 920.39C el cual consistió en acidificar la muestra, filtrarla y pasarla por un cartucho con tierra de diatomeas para adsorber los lípidos. Luego se utilizó extractor Soxhlet con un disolvente (hexano) para extraer las grasas del cartucho y evaporarlo, finalmente se dejó un residuo que se pesó para calcular la concentración de grasas y aceites en mg/L.

Con la finalidad de presentar los resultados en términos de eficiencia de remoción (%) se empleó la fórmula propuesta por Humanante et al. (2022), siendo la siguiente:

$$Ef(\%) = \left(\frac{V_i - V_f}{V_i} \right) \times 100$$

Donde:

$Ef(\%)$: Representa la eficiencia de remoción en porcentaje.

V_i : Representa el valor inicial de evaluación del agua residual sintética.

V_f : Representa el valor final de evaluación del agua residual sintética después del tratamiento.

c) Evaluación de la eficiencia del material reciclado en términos de costos y viabilidad para la fabricación de un prototipo de trampa de grasas

Con respecto al tercer objetivo específico, se realizó un análisis con respecto al costo total de los materiales para la construcción del prototipo correlacionándolo a la cantidad de agua tratada y eficiencia.

4.3.3 Materiales y equipos

4.3.3.1 Materiales de laboratorio.

- 3 frascos de plástico de 1 000 mL.
- 3 frascos de plástico de 500 mL.
- 1 probetas de 500 mL.
- 1 cooler
- 1 pala y barreta
- 2 papel filtro
- 1 balde, 10 galoneras y 10 envases rectangulares

4.3.3.2 Equipos.

- Balanza analítica
- Vernier
- Regla
- Multiparámetro

- Turbidímetro
- Impresora
- Laptop

4.4 Análisis Estadístico

4.4.1 Análisis del diseño y construcción del prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado para determinar la influencia del caudal en la acumulación de aceites, grasas y sólidos sedimentables totales de aguas residuales no doméstica

Para evaluar los resultados del diseño experimental y cumplir con el primer objetivo específico “Diseño y construcción del prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado para determinar la influencia del caudal y tiempo de retención hidráulica en la acumulación de aceites, grasas y sólidos sedimentables totales de aguas residuales no doméstica”, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95% ($p < 0,05$). En este análisis, los niveles estudiados correspondieron a las dimensiones de grasa acumulada registradas en el prototipo, las cuales permitieron comparar estadísticamente cómo variaron dichos valores frente a los diferentes caudales evaluados.

Complementariamente, se calculó el coeficiente de variabilidad (CV) con el fin de cuantificar la dispersión de los datos alrededor de la media y, de este modo, valorar la consistencia y confiabilidad de las mediciones obtenidas.

4.4.2 Eficiencia de un prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado en la remoción de los parámetros fisicoquímicos de aguas residuales no domésticas

En el caso del segundo objetivo específico “Analizar la eficiencia de un prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado en la remoción de los parámetros fisicoquímicos de aguas residuales no domésticas”, se utilizó la prueba t de Student para muestras dependientes con un nivel de confianza del 95%.

4.4.3 Eficiencia del material reciclado en términos de costos y viabilidad para la fabricación de un prototipo de trampa de grasas

Para abordar el tercer objetivo específico, se empleó un análisis de coste – beneficio (ACB), el cual permitió identificar la relación entre el costo de adquisición, costos operativos, disponibilidad, accesibilidad, impacto ambiental, durabilidad y vida útil del prototipo y los materiales usados en su construcción.

Para procesar los resultados y realizar los análisis estadísticos mencionados anteriormente, se utilizó el software R Studio, desarrollado por la empresa R Core Team (2022).

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Resultados

5.1.1 Determinación de la influencia de la concentración, caudal y secciones internas del prototipo de trampa de grasa en la acumulación de aceites y grasas totales de aguas residuales no domésticas

En la Tabla 3, se puede observar los valores obtenidos en las 3 secciones del prototipo con respecto a los diferentes valores de caudal y concentración.

Tabla 3

Valores obtenidos al medir la altura de la grasa con concentraciones y caudales diferentes en las 3 secciones del prototipo

Caudal	Concentración (mg/L)	Secciones internas del prototipo		
		1 (cm)	2 (cm)	3 (cm)
0,05 L/s	30 000	1,8	1,6	0,2
	20 000	1,3	0,9	0,1
	10 000	0,9	0,2	0,1
0,06 L/s	30 000	2,1	1,4	0,1
	20 000	1,2	1,0	0,1
	10 000	1,0	0,1	0,1
0,07 L/s	30 000	1,7	1,6	0,2
	20 000	1,2	0,9	0,1
	10 000	1,0	0,1	0,1

En la Tabla 4, de acuerdo análisis de varianza (ANOVA), se evidencia que tanto el compartimiento (secciones internas) como la concentración inicial de aceites y grasas (AyG) ejercieron una influencia altamente significativa sobre la

acumulación de aceite en el prototipo ($p < 0,05$). En contraste, el caudal no mostró efecto alguno ($p > 0,05$) indicando que, dentro de los rangos operativos ensayados, la velocidad de paso no modificó de forma apreciable la retención de aceites. El coeficiente de variación ($CV = 11,13 \%$) reflejó una dispersión aceptable de los datos, lo cual respalda la confiabilidad de los resultados.

Estos resultados son consistentes con la teoría de separación gravitacional, comprobando que la segmentación interna y la carga afluente de AyG determinan la magnitud de la acumulación, mientras que el caudal, cuando el diseño de secciones y tiempos de retención es adecuado, no altera el desempeño.

Tabla 4

Análisis de varianza de la influencia de la concentración, caudal y secciones internas de compartimiento del prototipo de trampa de grasa en la acumulación de aceites y grasas totales de aguas residuales no domésticas

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Secciones internas	7,16	2	1,67	50,56	0,00
Concentración	2,85	2	3,58	20,11	0,00
Caudal	7,4E-04	2	1,42	0,01	0,99
Error total	1,42	20	3,7E-04		
Total	11,43	26	0,07		

C.V. = 11,13 %

Al encontrarse diferencias significativas se aplicó la prueba de contraste múltiple de Tukey (HSD). En la Tabla 5, se muestra que el análisis confirmó diferencias significativas entre las tres secciones internas del prototipo de trampa de grasa ($p > 0,05$). La sección de compartimiento N° 01 (entrada) presentó la

mayor acumulación promedio (1,36 cm), la sección de compartimiento N° 02 un valor intermedio (0,88 cm) y la sección de compartimiento N° 03 (salida) la menor acumulación (0,11 cm). Este patrón es coherente con el diseño del prototipo (hidráulica interna) donde se demuestra que el aceite y la grasa se va desplazando y acumulando progresivamente en los compartimientos (separación gravitacional), alcanzando su menor acumulación en la salida.

Tabla 5

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) la acumulación de aceites y grasas totales de aguas residuales no domésticas según las secciones internas del prototipo de trampa de grasa

Secciones internas	Media (cm)	Significancia
Sección 03	0,11	a
Sección 02	0,88	b
Sección 01	1,36	c

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Respecto a la concentración inicial de aceites y grasas del afluente, la prueba de Tukey (Tabla 6) mostró diferencias significativas entre los tres niveles ensayados. Con 10 000 mg/L se obtuvo la menor acumulación promedio (0,39 cm), con 20 000 mg/L un valor intermedio (0,76 cm) y con 30 000 mg/L la mayor acumulación (1,19 cm). Este patrón confirma una relación positiva entre la concentración de AyG del afluente y su acumulación, de modo que una mayor carga incrementa el volumen disponible para retención y se traduce en una lámina

superficial más alta, mientras que a concentraciones menores el menor aporte limita la acumulación medida.

Tabla 6

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) la acumulación de aceites y grasas totales de aguas residuales no domésticas según la concentración inicial de aceites y grasas del afluente

Concentración (mg/L)	Media (cm)	Significancia
10 000	0,39	a
20 000	0,76	b
30 000	1,19	c

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

5.1.2 Eficiencia del prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado en la remoción de los parámetros fisicoquímicos de aguas residuales no domésticas

En la Tabla 7, se puede observar los valores obtenidos en las 3 secciones del prototipo con respecto a los parámetros de campo.

Tabla 7*Valores obtenidos al medir los parámetros de campo*

Parámetros de campo						
	Código	pH	Temperatura (°C)	Conductividad (mS/cm)	Turbidez (NTU)	Oxígeno Disuelto (mg/L)
i	T-c-1	7,545	18,7	2,12	9,80	0,89
ii	T-c-1	7,395	18,7	2,49	10,3	0,77
iii	T-c-1	7,374	18,7	2,53	9,9	0,86
i	T-d-1	8,162	18,5	2,70	9,74	0,76
ii	T-d-1	8,011	18,3	2,75	9,83	1,14
iii	T-d-1	8,112	18,7	3,01	9,74	0,79
i	T-c-2	7,074	18,8	2,24	6,32	1,66
ii	T-c-2	7,501	18,8	2,22	6,11	1,36
iii	T-c-2	7,469	18,8	1,87	6,53	1,39
i	T-d-2	7,903	18,5	2,44	3,95	1,72
ii	T-d-2	7,369	19,0	2,51	3,67	1,14
iii	T-d-2	7,726	18,9	2,13	3,45	1,43
i	T-c-3	7,367	18,7	1,99	4,93	0,76
ii	T-c-3	7,283	19,1	1,94	4,55	0,98
iii	T-c-3	7,028	18,6	1,70	5,01	1,02
i	T-d-3	7,372	18,7	1,86	3,45	1,59
ii	T-d-3	7,082	18,9	1,63	3,10	1,37
iii	T-d-3	7,329	18,8	1,88	3,11	1,33

*Nota: *T-c-1= Valores con una concentración de 30 000 mg/L antes de ingresar a la trampa***T-d-1= Valores con una concentración de 30 000 mg/L después de ingresar a la trampa***T-c-2= Valores con una concentración de 20 000 mg/L antes de ingresar a la trampa***T-d-2= Valores con una concentración de 20 000 mg/L después de ingresar a la trampa***T-c-3= Valores con una concentración de 10 000 mg/L antes de ingresar a la trampa***T-d-3= Valores con una concentración de 10 000 mg/L después de ingresar a la trampa*

En la Tabla 8, se puede observar los valores obtenidos en las 3 secciones del prototipo con respecto a los parámetros en laboratorio.

Tabla 8*Valores obtenidos al medir los parámetros en laboratorio*

Etapas	Concentración (mg/L)	DQO (mgO₂/L)	DBO (mg/L)	AyG (mg/L)	SST (mg/L)	TDS (mg/L)
Antes	30 000	32 949	19 530	10 065	6,316	1 696,0
Antes	30 000	32 950	19 532	10 064	6,581	1 705,0
Antes	30 000	32 949	19 531	10 068	6,369	1 755,0
Antes	20 000	41 969	25 125	11 686	4,469	1 645,0
Antes	20 000	41 965	25 126	11 690	4,358	1 611,5
Antes	20 000	41 971	25 128	11 689	4,581	1 376,5
Antes	10 000	2 844	1 701	1 036	3,731	1 209,0
Antes	10 000	2 843	1 703	1 038	3,530	1 059,5
Antes	10 000	2 845	1 701	1 037	3,774	1 222,0
Después	30 000	53	29	0,8	6,284	1 623,0
Después	30 000	54	28	0,9	6,332	1 663,5
Después	30 000	52	29	0,8	6,284	1 689,5
Después	20 000	49	24	0,7	3,211	1 501,0
Después	20 000	48	25	0,7	3,063	1 488,0
Después	20 000	50	26	0,8	2,946	1 260,5
Después	10 000	42	22	0,6	2,946	1 139,8
Después	10 000	40	23	0,6	2,760	1 004,2
Después	10 000	41	22	0,5	2,766	1 155,9

Tabla 9

Valores obtenidos al pasar los datos de la Tabla 8 en la fórmula de eficiencia de remoción.

Concentración (mg/L)	DQO (%)	DBO (%)	AyG (%)	SST (%)	TDS (%)
30 000	99,84	99,85	99,99	0,51	4,30
30 000	99,84	99,86	99,99	3,78	2,43
30 000	99,84	99,85	99,99	1,33	3,73
20 000	99,88	99,90	99,99	28,15	8,75
20 000	99,89	99,90	99,99	29,72	7,66
20 000	99,88	99,90	99,99	35,69	8,43
10 000	98,52	98,71	99,94	21,04	5,72
10 000	98,59	98,65	99,94	21,81	5,22
10 000	98,56	98,71	99,95	26,71	5,41

En la Tabla 10 se presenta ANOVA aplicado a la remoción de la turbidez, el cual mostró que la concentración inicial de aceites y grasas (10 000 mg/L, 20 000 mg/L y 30 000 mg/L) influyó significativamente en la eficiencia de remoción del DQO ($p < 0,05$). El bajo coeficiente de variación ($CV = 0,02 \%$) confirma una dispersión aceptable de los datos.

Tabla 10

Análisis de varianza de la eficiencia de remoción de la DQO (%) de aguas residuales no domésticas en el prototipo de trampa de grasa

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Concentración	3,40	2	1	4 107,91	0,00
Error total	2,5E-03	6	1		
Total	3.40	8	4,1E-04		

C.V. = 0,02 %

La prueba de Tukey indicó que la remoción fue significativamente menor en la concentración de 10 000 mg/L (98,56 %) respecto a las concentraciones de 20 000 mg/L (99,88 %) y 30 000 mg/L (99,54 %), que no difirieron entre sí. Este comportamiento se explica debido a que a mayor carga inicial de contaminantes existe más fracción oleosa libre que puede ser retenida eficientemente, aumentando el porcentaje de reducción del DQO.

Tabla 11

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto eficiencia de remoción de la DQO (%) según la concentración inicial

Concentración (mg/L)	Media (%)	Significancia
10 000	98,56	a
30 000	99,54	b
20 000	99,88	b

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

De forma similar, en la Tabla 12, el ANOVA reveló un efecto altamente significativo de la concentración sobre la remoción de la DBO_5 ($p = 0,00$; $CV = 0,02 \%$).

Tabla 12

Análisis de varianza de la eficiencia de remoción de la DBO_5 (%) de aguas residuales no domésticas en el prototipo de trampa de grasa

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Concentración	2,83	2	1,42	3 721,28	0,00
Error total	2,3E-03	6	3,8E-04		
Total	2,84	8			

C.V. = 0,02 %

La prueba rango múltiple de Tukey (Tabla 13) mostró que la eficiencia fue más baja en la concentración de 10 000 mg/L (98,69 %), mientras que las concentraciones de 20 000 mg/L (99,90 %) y 30 000 mg/L (99,85 %) presentaron eficiencias mayores y estadísticamente equivalentes (letra “b”). Esto coincide con el patrón observado en el DBO₅, reflejando que el prototipo elimina con mayor eficacia la materia biodegradable cuando la carga orgánica inicial es elevada.

Tabla 13

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la eficiencia de remoción de la DBO₅ (%) según la concentración inicial

Concentración (mg/L)	Media (%)	Significancia
10 000	98,69	a
30 000	99,85	b
20 000	99,90	b

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

El análisis de varianza mostró un efecto altamente significativo de la concentración inicial sobre la eficiencia de remoción de aceites y grasas con un coeficiente de variación de 0,03 %.

Tabla 14

Análisis de varianza de la eficiencia de remoción de aceites y grasas (%) de aguas residuales no domésticas en el prototipo de trampa de grasa

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Concentración	4,5E-03	2	2,2E-03	197,95	0,00
Error total	6,8E-05	6	1,1E-05		
Total	4,6 E-03	8			

C.V. = 0,03 %

El rango múltiple de Tukey (Tabla 15) evidenció que a 10 000 mg/L la remoción media fue de 99,95 %, significativamente menor que a 20 000 mg/L y 30 000 mg/L, donde se obtuvieron 99,99 % en ambos casos y sin diferencias entre estos dos niveles. La magnitud cercana al ciento por ciento en los dos niveles superiores es congruente con una captura más eficiente de la fracción oleosa a mayores disponibilidades de carga, manteniendo la misma configuración hidráulica.

Tabla 15

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la eficiencia de remoción de aceites y grasas (%) según la concentración inicial

Concentración (mg/L)	Media (%)	Significancia
10 000	99,95	a
30 000	99,99	b
20 000	99,99	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

El análisis de varianza para la eficiencia de remoción de conductividad arrojó un valor p igual a 0,05 y un coeficiente de variación de 14,28 %. La señal estadística es marginal y la variabilidad relativa es mayor que en los parámetros anteriores. Dado que la conductividad depende de especies iónicas disueltas y el dispositivo no está diseñado para su remoción.

Tabla 16

Análisis de varianza de la eficiencia de remoción de la conductividad (%) de aguas residuales no domésticas en el prototipo de trampa de grasa

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Concentración	853,52	2	426,76	5,00	0,05
Error total	511,91	6	85,32		
Total	1 365,44	8			

C.V. = 14,28 %

El análisis de varianza mostró un efecto altamente significativo de la concentración inicial sobre la eficiencia de remoción de turbidez con un coeficiente de variación de 15,34 %. La prueba de Tukey indicó que a 30 000 mg/L la remoción media fue de 2,26 %, significativamente menor que a 10 000 mg/L y 20 000 mg/L, donde se obtuvieron 33,27 % y 41,53 % respectivamente, sin diferencias entre estos dos últimos niveles. Este resultado sugiere que, a la concentración más alta, la presencia de emulsiones más estables y partículas finas asociadas a la fase oleosa reduce la clarificación por simple separación gravitacional, mientras que a cargas intermedias y bajas el sistema retiene mejor la fracción particulada y coloidal que contribuye a la turbidez.

Tabla 17

Análisis de varianza de la eficiencia de remoción de la turbidez (%) de aguas residuales no domésticas en el prototipo de trampa de grasa

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Concentración	2 571,88	2	1 285,94	82,80	0,00
Error total	93,18	6	15,53		
Total	2 665,06	8			

C.V. = 15,34 %

Tabla 18

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto eficiencia de remoción de la turbidez (%) según la concentración inicial

Concentración (mg/L)	Media (%)	Significancia
30 000	2,26	a
10 000	33,27	b
20 000	41,53	b

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 19, el ANOVA ($p = 0,00$) confirmó un efecto altamente significativo de la concentración inicial sobre la eficiencia de remoción de los SST. La prueba de Tukey mostró que la remoción fue muy baja en 30 000 mg/L (1,88 %), moderada en 10 000 mg/L (23,19 %) y mayor en 20 000 mg/L (31,18 %), con diferencias estadísticamente significativas entre los tres tratamientos (a, b, c). Este comportamiento indica que el prototipo logra separar mejor las fracciones sólidas a cargas intermedias, mientras que a concentraciones muy altas los sólidos permanecen asociados a las emulsiones de aceite, reduciendo la eficiencia de remoción. A bajas concentraciones, la menor cantidad de sólidos limita la magnitud de la reducción. En conjunto, se confirmó que la eficiencia sobre SST es modesta y muy sensible a la concentración inicial.

Tabla 19

Análisis de varianza de la eficiencia de remoción de los sólidos suspendidos totales (SST), de aguas residuales no domésticas en el prototipo de trampa de grasa

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Concentración	1 376,97	2	688,48	73,16	0,00
Error total	56,46	6	9,41		
Total	1 433,43	8			

C.V. = 16,36 %

Tabla 20

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la eficiencia de remoción de los SST (%) según la concentración inicial

Concentración (mg/L)	Media (%)	Significancia
30 000	1,88	a
10 000	23,19	b
20 000	31,18	c

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 21, el análisis de varianza mostró un efecto altamente significativo de la concentración sobre la remoción de TDS ($p = 0,00$). Sin embargo, las eficiencias obtenidas fueron muy bajas en términos absolutos, lo cual era esperado porque una trampa de grasa no está diseñada para retener sólidos disueltos. Según la prueba de Tukey, la remoción fue mínima en 30 000 mg/L (3,62 %), ligeramente superior en 10 000 mg/L (5,77 %) y más elevada en 20 000 mg/L (9,03 %), con diferencias significativas entre los tres niveles (a, b, c). Estos valores sugieren que las ligeras reducciones observadas se deben más a procesos

secundarios (adsorción de sales sobre la grasa, retención de compuestos coloidales, arrastre de micelas con el aceite retirado) que a un efecto real del diseño.

Tabla 21

Análisis de varianza de la eficiencia de remoción de los sólidos disueltos totales – TDS (%) de aguas residuales no domésticas en el prototipo de trampa de grasa

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Concentración	44,51	2	22,26	42,46	0,00
Error total	3,15	6	0,52		
Total	47,66	8			

C.V. = 11,79 %

Tabla 22

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la eficiencia de remoción de los Sólidos Totales Disueltos TDS (%) según la concentración inicial

Concentración (mg/L)	Media (%)	Significancia
30 000	3,62	a
10 000	5,77	b
20 000	9,03	c

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

5.1.3 Eficiencia del material reciclado en términos de costos y viabilidad para la fabricación de un prototipo de trampa de grasas

Para evaluar la eficiencia del uso de material reciclado en el prototipo se consideraron tres enfoques complementarios.

a. Ahorro de costo de capital (%)

Blank y Tarquin (2012) establecen que el ahorro de costo de capital, entendido como la reducción porcentual del costo de fabricación respecto de una

alternativa equivalente construida íntegramente con materiales convencionales.

$$\text{Ahorro (S/.)} = \frac{C_{\text{virgen}} - C_{\text{reciclado}}}{C_{\text{virgen}}} \times 100$$

donde C_{virgen} es el costo de fabricar el mismo prototipo con materiales vírgenes (como acero inoxidable) y $C_{\text{reciclado}}$ es el costo total usando material recuperado (sustitución de material prima por PET + EPS).

b. Costo nivelado por rendimiento (eco-eficiencia por kg FOG removido)

En segundo lugar, el costo nivelado por rendimiento, que anualiza el costo total y lo expresa por metro cúbico tratado o por kilogramo de aceites y grasas removidos durante la operación.

$$LCOT = \frac{\text{Costo total anualizado}}{\text{m}^3 \text{ tratados}} \text{ y } \frac{\$}{\text{kg FOG removidos}} = \frac{\text{Costo total anualizado}}{\text{kg FOG removidos}}$$

(“FOG” = aceites y grasas). Este tipo de métrica viene de LCC/TEA y TCO para unidades de pretratamiento.

c. Viabilidad del ciclo de vida (LCC/LCA resumido): En tercer lugar, la viabilidad en ciclo de vida, que compara el costo total de propiedad a lo largo de la vida útil entre el prototipo con material reciclado y una opción convencional, incorporando el costo inicial, la operación y mantenimiento, las reposiciones y el valor residual

5.1.3.1 Costo estimado de materiales para la construcción del prototipo de trampa de grasas. Los costos unitarios se establecieron bajo un escenario de comercio minorista para el año 2024-2025:

Cemento: Se tomó como base el precio de la bolsa de 42,5 kg de Cemento Sol, que oscila entre S/ 30,00 y S/ 32,50. Dividiendo el precio máximo entre el peso, se obtiene el valor unitario de S/ 0,76 por kg.

- **Arena gruesa:** El valor de referencia es de S/ 70,00 por m³ en el mercado local.
- **PET (Plástico reciclado):** Se asignó un valor de S/ 1,20 por kg de PET ya triturado.
- **EPS (Tecnopor):** Se registra con un costo de S/ 0,00, fundamentado en que se obtiene mediante recuperación local sin costo de adquisición.

Dado que el diseño se hace por volumen (0,083 m³ totales), pero los materiales se compran por peso, la densidad es la clave del costo:

- **Cemento:** Para el volumen de 0,01937 m³, se utilizó una densidad aparente de 1 440 kg/m³, resultando en 27,9 kg.
- **PET:** Para el volumen de 0,01245 m³, se utilizó una densidad de empaque de 300 kg/m³, resultando en 3,74 kg. El texto menciona que, si la densidad bajara a 200 kg/m³, el costo total se reduciría en S/ 2,00 aproximadamente.

Este subtotal es la suma de los insumos que componen la mezcla del mortero con agregados reciclados:

Tabla 23*Insumos que componen la mezcla del mortero*

Material	Cálculo Matemático	Costo Parcial (S/)
Cemento	27,9 kg×S/ 0,76	21,3
Arena	0,03873 m ³ ×S/ 70,00	2,71
PET	3,74 kg×S/ 1,20	4,48
EPS	Material reciclado gratuito	0
TOTAL	Suma de componentes del cuerpo	28,5

→ **Total materiales (cuerpo de la trampa): S/28,5**

5.1.3.2 Mano de obra de construcción. De acuerdo con el régimen de construcción civil 2024–2025, el costo de fabricación manual para una unidad de 100 L se estimó mediante los siguientes jornales:

- **Operario albañil:** 1 jornal (S/ 86,80).
- **Ayudante/Peón:** 0,5 jornal (S/ 30,00 - 35,00).

5.1.3.3 Secciones de tubo. Para una trampa de 3 compartimentos (estándar):

- **Sistema de entrada:** Se utiliza un tramo corto de tubería de PVC de Ø4" (110 mm) conectado a un codo de 90° para asegurar la inmersión del flujo y evitar turbulencias en la superficie.
- **Comunicación interna:** Se emplean dos unidades (tees o pasamuros con campana invertida) para permitir el rebose controlado entre las tres secciones de la trampa.

- **Sistema de salida:** Incluye un tramo corto de tubería de PVC de Ø4" con un codo de 90° sumergido, lo que permite que solo el agua clarificada (libre de grasas superficiales) sea evacuada.
- **Ventilación:** Se incorpora una derivación de Ø1½" o Ø2" que funciona como respiradero hacia el sistema de ventilación.

Tabla 24*Insumos que componen los accesorios de las conexiones*

Ítem	Descripción	Costo Referencial (S/)
Tubería de PVC	Dos tramos de tubería de Ø4" liviana (S/ 34,00 por tramo).	68
Accesorios	Codos de 90°, tees y derivaciones para ventilación.	38,5
COSTO TOTAL	Suma de accesorios hidráulicos	106,5

5.1.3.4 Costo nivelado por rendimiento. Para evaluar la viabilidad financiera del prototipo, se procedió a anualizar el costo total del proyecto. Este análisis se fundamentó en una proyección de vida útil de cinco años y una tasa de descuento del 10%.

La inversión inicial (I_0) del prototipo se consolidó en S/ 240,00, cifra que integra los siguientes componentes:

- **Materiales del cuerpo estructural:** S/ 28,50.
- **Mano de obra de fabricación:** Se adoptó un valor representativo de S/ 105,00, basado en el rango observado de S/ 87,00 a S/ 122,00 según el régimen de construcción civil.
- **Implementos hidráulicos:** Incluye dos tramos de tubería PVC de Ø4" (S/ 68,00) y accesorios de conexión como codos y derivaciones (S/ 38,50).

Adicionalmente, se estimó un costo anual de Operación y Mantenimiento (O&M) de S/ 150,00, el cual cubre exclusivamente las actividades de limpieza periódica y adquisición de consumibles bajo un patrón de uso piloto.

Para el cálculo del Costo Anual Equivalente (CAE), se utilizó un factor de recuperación de capital (FRC) de 0,2638, derivado de la vida útil y la tasa de descuento mencionadas. El procedimiento de cálculo se detalla a continuación:

- **Amortización anual de la inversión:** $S/ 240,00 * 0,2638 = S/ 63,31$
- **Costo total anualizado:** $S/ 63,31$ (Inversión) + $S/ 150,00$ (O&M) = $S/ 213,31$.

Finalmente, este valor de S/ 213,31 constituye el costo nivelado anual, el cual sirve como base para proyectar la eco-eficiencia del sistema por metro cúbico tratado o por kilogramo de aceites y grasas removidos durante su fase operativa.

5.1.3.5 Viabilidad económica en ciclo de vida. La viabilidad financiera del prototipo se determinó a través del Costo Total de Propiedad, integrando la inversión inicial y los costos operativos descontados bajo dos horizontes temporales.

Escenario A: Horizonte de 5 años

Considerando una inversión inicial de S/ 240,00, costos operativos anuales de S/ 150,00 y una tasa de descuento del 10%, se obtuvieron los siguientes indicadores:

- **Costo Anual Equivalente (CAE):** S/ 213,31.
- **Valor Presente (VP):** S/ 808,62. Este valor consolida el capital inicial y los flujos de operación actualizados al año cero.

Escenario B: Horizonte extendido a 10 años

Se evaluó la estabilidad económica del sistema en un periodo mayor para observar el efecto de la amortización de la inversión. Bajo las mismas condiciones operativas, los resultados muestran una optimización de la rentabilidad:

- **Factor de Recuperación de Capital (FRC):** Se reduce a 0,1627 debido a la extensión del plazo.
- **Costo Anual Equivalente (CAE):** Desciende a S/ 189,06.
- **Valor Presente (VP) a 10 años:** Se ubica en S/ 1 161,69.

Indicadores de eco-eficiencia por rendimiento

Al proyectar estos costos sobre un volumen de tratamiento de 100 m³/año y una remoción media constante, la eficiencia económica mejora significativamente en el largo plazo:

- **Costo nivelado por m³:** Se reduce a S/ 1,89.
- **Costo por kg de grasa removida (FOG):** Se sitúa en S/ 12,60.

Esta reducción en los costos unitarios a 10 años evidencia que la durabilidad de los materiales reciclados (PET y EPS) es un factor crítico para la viabilidad económica, permitiendo amortizar la inversión inicial y reducir el impacto financiero por unidad de contaminante tratado.

Tabla 25*Análisis comparativo de viabilidad económica por horizontes temporales*

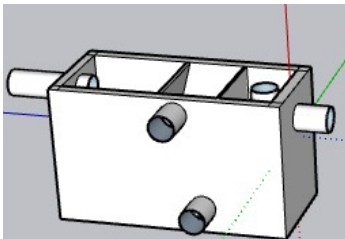
Indicador Financiero	Escenario A (5 años)	Escenario B (10 años)
Inversión Inicial (I_0)	S/ 240,00	S/ 240,00
Costo de Operación Anual	S/ 150,00	S/ 150,00
Tasa de Descuento	10 %	10 %
Factor de Recuperación (FRC)	0,2638	0,1627
Costo Anual Equivalente (CAE)	S/ 213,31	S/ 189,06
Valor Presente (VP)	S/ 808,62	S/ 1 161,69
Costo nivelado por m^3 tratado	S/ 2,13*	S/ 1,89
Costo por kg de grasa removida	S/ 14,22*	S/ 12,60

Nota. Los valores marcados con asterisco (*) se derivan de la aplicación del CAE a 5 años sobre el volumen de $100 m^3/año$ mencionado en el modelo de rendimiento.

De manera resumida, en la Tabla 26 se tiene los siguientes detalles:

Tabla 26

Comparación de costos de la trampa de grasa hecha con material reciclado y una trampa de grasa convencional

	Trampa de grasa convencional	Trampa de grasa hecho con material reciclado
Características	Material de acero inoxidable	Material de cemento con arena, plástico PET y EPS
Medidas	Capacidad de 100 L (dimensiones varían por modelo)	Capacidad de 100 L (0,40 x 0,50 x 0,90) con un espesor de 0.05 Volumen de muros: 0,083 m ³
Precio	Venta al contado sin instalación: 1 800 soles *	Empleando material de base: cemento, arena fina, PET triturado y EPS rallado: 240 soles.
Mantenimiento	Limpieza programada según carga; periodicidad típica cada 60–90 días	Limpieza programada según carga; periodicidad típica cada 60–90 días
Operación/limpieza	Costo anual referencial en piloto: S/ 150 (supuesto para comparabilidad)	Costo anual referencial en piloto: S/ 150 (bitácora de pruebas)
Imagen referencial		

Nota. Los valores marcados con asterisco (*) se derivan de acuerdo a información obtenida del mercado web.

El análisis comparativo final revela que el ahorro de costo de capital (ACC) en el año cero se sitúa en 86,7 %. Este porcentaje se deriva de la diferencia

sustancial entre la inversión requerida para el prototipo con materiales reciclados (S/ 240,00) y el costo de adquisición de una unidad comercial convencional de acero inoxidable (S/ 1 800,00).

Respecto al costo nivelado por rendimiento, el modelo financiero proyectado a 5 años (tasa del 10 % y gasto operativo de S/ 150/año) demuestra una alta sensibilidad al volumen de agua residual procesada. Para una remoción media de 150 mg/L de aceites y grasas, los costos unitarios se comportan de la siguiente manera:

- **Escenario de bajo volumen (60 m³/año):** El costo resulta en S/ 3,56 por m³.
- **Escenario de volumen medio (120 m³/año):** El costo desciende a S/ 1,78 por m³.
- **Escenario de alto volumen (180 m³/año):** Se logra un costo mínimo de S/ 1,19 por m³.

Finalmente, el análisis de viabilidad en el ciclo de vida arroja un valor presente (VP) de S/ 808,62 para el periodo de cinco años bajo los supuestos indicados. Este resultado establece una línea base económica que demuestra la competitividad del prototipo; para una evaluación integral, se recomienda aplicar esta misma metodología a la alternativa comercial, permitiendo así cuantificar el ahorro total en términos de valor presente a lo largo de la vida útil del sistema.

5.2 Discusión de resultados

5.2.1 Influencia del caudal y tiempo de retención hidráulica en la acumulación de aceites, grasas y sólidos sedimentables totales de aguas residuales no domésticas

En la presente investigación, el caudal no mostró efecto estadísticamente significativo sobre la acumulación de aceites y grasas en el prototipo. Este resultado es coherente con la teoría y con la práctica de diseño de interceptores de grasa con baffles que evitan el cortocircuito hidráulico, variaciones moderadas del caudal dentro del rango ensayado no producen cambios apreciables en la separación gravitacional de la fase oleosa. En interceptores por gravedad, los códigos y guías de ingeniería típicamente dimensionan el volumen con una retención de 30 minutos a partir del caudal pico; bajo ese criterio, pequeñas oscilaciones del flujo no deberían alterar la eficiencia si no se supera el caudal de diseño o se genera turbulencia excesiva (International Plumbing Code; PDI-G101).

Este comportamiento coincide con lo reportado por Chinchilla (2016), quien encontró remociones de grasas cercanas al 79 % aun cuando variaban condiciones hidráulicas, destacando que la eficiencia dependía principalmente de características fisicoquímicas como la emulsión y el tamaño de gota más que del caudal. Asimismo, los hallazgos se alinean con lo señalado por Esquirva (2016), quien mostró que la presencia de detergentes genera emulsiones estables difíciles de separar únicamente mediante gravedad, independientemente de pequeñas fluctuaciones de flujo.

En síntesis, los datos obtenidos indican que el diseño tricameral operó en un régimen hidráulico suficientemente conservador, de modo que el caudal no controló la acumulación de grasas y aceites en el rango ensayado. La limitación dominante fue fisicoquímica (emulsión y tamaño de gota), no hidráulica. En línea con la literatura, para mejorar la captura cuando dominan emulsiones estables se requieren etapas complementarias (como coagulación/floculación y/o coalescencia/DAF) antes o después del interceptor, ya que los aceites emulsionados no se separan eficientemente por gravedad.

Este hallazgo respalda el uso de tres compartimientos como criterio de diseño efectivo en trampas de concreto, equiparable al desempeño observado en configuraciones metálicas, siempre que se conserven las proporciones geométricas y los dispositivos internos (baffles, alturas de rebose y distancias libres).

5.2.2 Prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado en la remoción de los parámetros fisicoquímicos de aguas residuales no domésticas

Los resultados evidenciaron que el prototipo de trampa de grasa, construido con material reciclado, logró eficiencias superiores al 98,5 % en todos los parámetros analizados (DQO, DBO y A y G). Si bien se observaron diferencias significativas entre las concentraciones evaluadas, éstas fueron muy pequeñas en términos absolutos, ya que incluso en la menor carga (10 000 mg/L) la eficiencia superó el 98 %. En conjunto, esto demuestra que el diseño del prototipo es altamente eficiente e independiente de la concentración inicial, confirmando su

viabilidad para la remoción de contaminantes oleosos en aguas residuales no domésticas.

Los resultados mostraron eficiencias muy altas de remoción de DQO, DBO y A y G (98,5–99,9 %), con diferencias estadísticamente significativas entre niveles de concentración inicial: los tratamientos con 20 000 y 30 000 mg/L alcanzaron eficiencias superiores y estadísticamente equivalentes, mientras que 10 000 mg/L fue ligeramente menor (Tukey, $p < 0,05$). Este patrón es consistente con la separación gravitacional/coalescencia propia de trampas de grasa: a mayores cargas existe una fracción más alta de aceite libre (gotas más grandes), que separa con mayor facilidad; en cambio, a cargas bajas domina una proporción mayor de emulsión estable (gotas pequeñas) que limita marginalmente el porcentaje de remoción global de la materia orgánica oxidables (DQO/DBO) y del propio AyG. Estudios experimentales en interceptores internos y externos reportan que la fuerza de emulsión, el tamaño de gota y la temperatura controlan el rendimiento más que variaciones hidráulicas moderadas, reproduciendo justamente lo observado en tus ensayos (eficiencias muy altas, con diferencias sutiles entre concentraciones). Este comportamiento guarda relación con lo observado por Vizcardo (2019), quien reportó eficiencias elevadas para A y G (85,7 %) y parámetros orgánicos en trampas convencionales, destacando que los sistemas de interceptación por gravedad son especialmente eficientes en remover la fracción oleosa libre y la carga orgánica asociada.

La caracterización fisicoquímica reciente de efluentes de trampas de grasa respalda esta interpretación: en sistemas reales, el FOG puede formarse, separarse y acumularse mediante mecanismos que incluyen coalescencia, atrapamiento en baffles y solidificación parcial, mientras que la fracción emulsificada permanece en la fase acuosa si no se rompen las emulsiones (lo cual explica que incluso con eficiencias totales altas persistan pequeñas diferencias entre tratamientos). En sentido similar, las emulsiones aceite-agua con gotas finas y/o estabilizadas por surfactantes son notoriamente más difíciles de separar por gravedad, una limitación intrínseca de todo interceptor pasivo, de modo que el “techo” de eficiencia depende de la microfísica interfacial más que de aumentar volumen o tiempo de retención una vez superado el umbral de diseño.

En contraste, para parámetros inorgánicos o asociados a la fase disuelta/coloide (conductividad, TDS y parte de los SST), las eficiencias fueron bajas o modestas y dependieron de la concentración, con coeficientes de variación mayores que en los parámetros orgánicos. Ello era esperable: la conductividad refleja la concentración de iones disueltos y el TDS se deriva directamente de la conductividad mediante factores de conversión típicos (0,5–0,8), por lo que no deberían disminuir de manera sustantiva en una trampa de grasa, que carece de mecanismos para retirar sales o especies iónicas; pequeñas reducciones o incluso ligeros aumentos responden a procesos secundarios (redistribución de surfactantes/jabones, co-arrastre con la fase oleosa o cambios de temperatura).

Para los SST, tus datos mostraron remociones modestas y variables, mayores en una concentración intermedia. Esto concuerda con la literatura: una parte de la turbidez/SST en aguas con detergentes corresponde a coloides y gotas sub-micrométricas que no sedimentan eficientemente; de hecho, la correlación NTU–SST es marcadamente matricial (depende de tamaño/densidad/color de partículas y de la presencia de emulsiones). En consecuencia, sin una etapa de rompimiento de emulsión y/o floculación, la mejora en SST es limitada.

En términos de alineamiento con los criterios de diseño, el prototipo (tricameral pasivo) se comportó conforme a lo previsto para los interceptores por gravedad: mostró una eficiencia adecuada para la retención de aceites, grasas (FOG) y carga orgánica asociada, mientras que la eficiencia fue baja para las especies disueltas. Los estándares y códigos (PDI-G101; IPC) establecen que este tipo de interceptores se dimensiona con un tiempo de retención cercano a 30 minutos al caudal pico, con el fin de favorecer la separación por diferencias de densidad, sin pretender la remoción de TDS/EC. En el estudio, las eficiencias obtenidas se ajustaron precisamente a ese comportamiento teórico.

Desde una perspectiva de línea de tratamiento y considerando la necesidad de mejorar la calidad del efluente en términos de SST, TDS y turbidez, la literatura técnica y regulatoria señala que es necesario incorporar etapas de rompimiento de emulsiones (mediante ajuste de pH, aplicación de agentes químicos o calentamiento), seguidas de una separación secundaria, ya sea por flotación por aire disuelto (DAF) o sistemas de coalescencia mejorada. Asimismo, cuando el

objetivo incluye la reducción de TDS o conductividad, se requieren procesos de mayor complejidad, como tecnologías de membrana o intercambio iónico. Este enfoque coincide con el hecho de que las eficiencias obtenidas para la fracción orgánica se ubicaron cerca del máximo esperable para un interceptor pasivo; por ello, cualquier mejora adicional en la fracción disuelta o coloidal demanda la incorporación de tecnologías complementarias.

5.2.3 Material reciclado en términos de costos y viabilidad para la fabricación de un prototipo de trampa de grasas

Los resultados confirman que la fabricación del prototipo con incorporación de materiales reciclados PET y EPS reduce de manera sustantiva el costo de capital respecto de una unidad comercial equivalente. El costo inicial estimado del prototipo fue 240 soles frente a 1 800 soles de la alternativa convencional, lo que representa un ahorro de 86,7 %. Este diferencial es coherente con el principio de análisis de costos en el ciclo de vida que recomienda desagregar y comparar el costo de adquisición y los costos de operación bajo una misma unidad funcional y horizonte temporal. La validez metodológica de esta comparación se sostiene en guías estandarizadas de costeo en ciclo de vida para activos construidos, como ISO 15686-5, que define el alcance de los flujos de caja a considerar desde la adquisición hasta el fin de vida. (ISO, 2017).

De forma complementaria, los resultados también se relacionan con el trabajo de Arellano & Sánchez (2017), quienes destacaron la importancia de

adaptar el diseño de trampas de grasa a condiciones reales mediante soluciones prácticas y accesibles para garantizar eficiencia y mantenimiento adecuado.

El costo anual equivalente del prototipo, calculado con vida útil de 5 años y tasa de descuento de 10 %, fue de S/ 213,31 por año. Al expresarlo por rendimiento, el costo nivelado por metro cúbico se ubicó en S/ 3,56 para 60 m³ por año, S/ 1,78 para 120 m³ por año y S/ 1,19 para 180 m³ por año, manteniendo una remoción media de aceites y grasas de 150 mg L⁻¹. En términos de masa removida, los costos se situaron en S/ 23,70 por kilogramo, S/ 11,85 por kilogramo y S/ 7,90 por kilogramo para esos mismos escenarios. La disminución del costo unitario a medida que aumenta el uso anual responde a la distribución del componente fijo de la inversión sobre un mayor volumen de servicio, lo que concuerda con la lógica del factor de recuperación de capital empleada en evaluaciones tecnoeconómicas y en el cálculo de costos nivelados en infraestructura de agua y energía (Aldersey-Williams & Rubert, 2019; National Renewable Energy Laboratory, 2020).

La evaluación de viabilidad en ciclo de vida mostró que, con los mismos supuestos de operación y mantenimiento, el valor presente del costo total del prototipo a 5 años fue de S/ 808,62. Al extender el horizonte a 10 años con la misma tasa de descuento, el costo anual equivalente disminuyó a S/ 189,06 y el valor presente ascendió a S/ 1 161,69. Manteniendo un uso de 100 m³ por año y la misma remoción media, el costo nivelado se redujo a S/ 1,89 por metro cúbico y a S/ 12,60 por kilogramo de aceites y grasas. Estos hallazgos son consistentes con las guías de costos en el ciclo de vida que recomiendan reportar valores presentes y costos

anualizados junto con análisis de sensibilidad para verificar la robustez de las conclusiones (ISO, 2017; RICS, 2015; SCSl, 2022).

En términos de desempeño, la comparación es metodológicamente válida porque el prototipo conservó la configuración funcional de tres compartimentos y la unidad funcional de 100 L. En tales condiciones, la diferencia económica se explica principalmente por la sustitución de materiales de mayor costo por materiales reciclados de menor precio unitario, mientras que los costos operativos tienden a converger cuando la periodicidad de limpieza es similar. Documentos técnicos de programas FOG subrayan que la configuración hidráulica y el mantenimiento determinan la frecuencia de limpieza y, por ende, los costos anuales, lo que respalda el enfoque adoptado para la comparación.

Es importante señalar que, el costo nivelado por kilogramo depende del valor de remoción media adoptado. En contextos con mayor variabilidad de carga afluente, la masa anual removida puede diferir y modificar el denominador del indicador. Asimismo, los costos operativos están condicionados por la frecuencia real de limpieza y por las tarifas locales de disposición. Por ello, y en concordancia con las recomendaciones de costos en el ciclo de vida, es pertinente presentar análisis de sensibilidad que varíen precios de materiales, densidad aparente del PET, frecuencia de limpieza, volumen anual tratado y tasa de descuento en rangos razonables (ISO, 2017; RICS, 2015). Finalmente, la documentación de la trazabilidad del material reciclado y del plan de fin de vida del prototipo aportó transparencia y puede traducirse en beneficios de circularidad no monetizados en

esta evaluación, aspecto que la literatura reciente recomienda integrar en la toma de decisiones de inversión pública y privada (SCSI, 2022).

CONCLUSIONES

El prototipo de trampa de grasas funcionó como pretratamiento eficiente para aguas residuales no doméstica dado a que retuvo y acumuló aceites y grasas según su diseño segmentado y la carga de entrada, redujo de manera significativa la DQO y DBO₅; asimismo demostró reducciones acotadas en turbidez, SST y TDS, consistentes con su mecanismo de separación. La evaluación económica indica que el uso de material reciclado es viable en términos de costo de capital y costo nivelado bajo el patrón de uso ensayado.

La acumulación de aceites y grasas en el prototipo estuvo determinada por las secciones internas y la concentración inicial del afluente (ANOVA: secciones $F_c=50,56$; $p=0,00$; concentración $F_c=20,11$; $p=0,00$), sin efecto del caudal en el rango ensayado ($p=0,99$). La acumulación disminuyó progresivamente desde el compartimiento de entrada (1,36 cm) hacia la salida (0,11 cm), y aumentó con la concentración (0,39; 0,76; 1,19 cm para 10 000; 20 000; 30 000 mg/L, respectivamente), confirmando el rol de la segmentación interna y la carga de aceites y grasas en la retención.

El prototipo logró altas eficiencias de remoción de aceites y grasas, DQO y DBO₅, con diferencias significativas entre concentraciones: 98,56 % (10 000 mg/L), 99,88 % (20 000 mg/L) y 99,54 % (30 000 mg/L) (Tukey, $p<0,05$). En parámetros asociados a fracciones particuladas y coloidales, la remoción fue moderada para turbidez (2,26 %; 33,27 %; 41,53 % para 30 000; 10 000; 20 000 mg/L, ANOVA

p=0,00) y para SST (1,88 %; 23,19 %; 31,18 %, ANOVA p=0,00), mientras que para TDS fue limitada (3,62 %; 5,77 %; 9,03 %, ANOVA p=0,00). Estos resultados muestran que el prototipo reduce de forma eficiente la carga orgánica oxidable y que su efecto sobre sólidos disueltos es mínimo, coherente con su principio de separación.

La fabricación con material reciclado presentó un costo inicial adoptado de S/ 240, frente a S/ 1 800 de una unidad comercial, con un ahorro de 86,7 % en inversión de capital. Con vida útil de 5 años y tasa de 10 %, el costo anual nivelado fue S/ 213,31; para volúmenes de 60 a 180 m³/año, el costo nivelado resultó S/ 3,56 a 1,19 por m³. En un horizonte de 10 años, el valor presente estimado fue S/ 1 161,69 y el costo nivelado se redujo a S/ 1,89 por m³, lo que respalda la viabilidad económica del prototipo bajo los supuestos operativos evaluados.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere llevar el prototipo a una prueba de campo en un escenario real, como una pollería o un restaurante, para verificar si los resultados del laboratorio se mantienen. Esto es necesario porque el agua sintética no siempre refleja la complejidad de los efluentes reales, donde el uso diario de detergentes y jabones (tensoactivos) suele formar emulsiones que dificultan que la grasa flote naturalmente. Además, es importante observar cómo reaccionan los materiales reciclados (PET y EPS) ante el agua caliente de estas descargas, ya que la temperatura no solo podría afectar al material, sino que altera la viscosidad de las grasas y cambia la velocidad de separación que dicta la Ley de Stokes.
- Investigar si es posible formar biopelículas en las paredes del primer compartimento de la trampa de grasa. El desafío sería lograr que los microorganismos se fijen lo suficiente para actuar como un 'filtro vivo' que degrade esas partículas finas (coloides) que la gravedad no logra atrapar. De funcionar, habría que vigilar con mucho cuidado el crecimiento: una capa biológica excesiva en un espacio reducido podría frenar el flujo del agua (aumentando la pérdida de carga), por lo que encontrar el equilibrio exacto en la limpieza sería clave para no terminar obstruyendo el sistema.
- Para tener una visión económica realista, sugiero no quedarnos solo con el precio de fabricación, sino aplicar un análisis de Costo del Ciclo de Vida

(CCV) completo. La idea es separar la inversión inicial (CAPEX) de los gastos del día a día (OPEX), como la limpieza, el personal y, sobre todo, cuánto cuesta deshacerse legalmente de la grasa acumulada. De esta forma, podremos saber si el ahorro que logramos usando materiales reciclados realmente se mantiene a largo plazo o si se diluye con el mantenimiento que el equipo necesita para seguir operando.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, R., Zavala, J., & Morales, F. (2017). Aplicación de la técnica de reducir, reciclar y reutilizar (3R's) para el desarrollo de los valores de responsabilidad con el medio ambiente de los pobladores de la Banda de Shilcayo, 2017. En *Interciencia r* (Vol. 33, Número 7).
- Aldersey-Williams, J., & Rubert, T. (2019). *Levelised cost of energy: A theoretical justification and critical assessment*. *Energy Policy*, 124, 169–179. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.10.004>
- Almeyda, M. (2018). *Limitantes en la gestión de servicios de saneamiento en el ámbito rural como oportunidad de participación de la empresa privada* [Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/14107>
- Ancalle, C., & Ledesma, W. (2020). *Caracterización de las aguas residuales en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Yauli - Huancavelica* [Universidad Nacional de Huancavelica]. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3317>
- Andrade, K. (2020). *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Eichhornia crassipes* Mart. (Jacinto de agua), *Pistia stratiotes* L. (lechuga de agua) en el tratamiento de aguas residuales domésticas* [Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/11868>
- Arellano, A., & Sánchez, E. (2017). *Propuesta de mejora de diseño de una trampa de grasa para restaurantes* [Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/274961>
- Arévalo, P. (2015). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la empresa Nuvinat S.A. ubicada en el Cantón Riobamba Parroquia San Juan,*

año 2014. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Armas, M. (2015). *Estudio para la reutilización de aguas grises producidas en el hogar, como agua de regadío en la casa prototipo del barrio Chan, cantón Latacunga, provincia Cotopaxi, 2015* [Universidad Técnica de Cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/2684>

Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Informe de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos en el Perú*. <https://www.ana.gob.pe/>

Ayquipa, N. (2021). *Evaluación de la eficiencia de una trampa de grasa (interceptor de grasa hidromecánico) para el pretratamiento de aguas residuales grises en viviendas unifamiliares del distrito de Lares - Cusco - 2021*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11474>

Blank, L. T., & Tarquin, A. J. (2012). *Ingeniería económica* (7.^a ed.). McGraw-Hill.

Cabezas-Zábala, C., & Hernández-Torres, C. (2019). Aceites y grasas: efectos en la salud y regulación mundial. *Rev. Fac. Med.*, 64(4), 761–769. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v64n4.53684>

Calderon, M., & Sotelo, T. (2021). La economía circular en el desarrollo de proyectos de transformación de plástico en el sector de la construcción en Colombia: un análisis comparativo de las buenas prácticas internacionales. *Documentos De Trabajo ECBTI*, 2(2). <https://doi.org/10.22490/ECBTI.5623>

Carhuamaca, C., & Mejia, J. (2020). *Efecto del número de mamparas y el tiempo de contacto en la trampa de grasas para evaluar su capacidad de remoción* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/61115?show=full>

Carreño, U. (2016). Diseño y evaluación de un biosistema de tratamiento a escala piloto de aguas de curtiembres a través de la *Eichhornia crassipes*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(2), 74.

<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n2.52271>

Castañeda, G., Guerrero, Y., & Salcedo, L. (2020). *Iniciativas relacionadas con economía circular para el aprovechamiento de residuos de un solo uso (poliestiereno expandido EPS)*. Universidad Agustiniana.

Chávez Salvatierra, E. R. (2020). *Implementación de biodigestores para mejorar el sistema de saneamiento ambiental en el poblado de Antilla - provincia de Abancay* [Universidad Ricardo Palma].
<https://hdl.handle.net/20.500.14138/3736>

Chinchilla, M. (2015). *Relación de parámetros de diseño de trampas de grasas (desengrasadores) versus su eficiencia, en aguas residuales comerciales* [Universidad de San Carlos de Guatemala].
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0503_MT.pdf

Chinchilla, M. (2016). Relación de sólidos sedimentados con la eficiencia de las trampas de grasas (desengrasadores). *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 11(1), 44–53. <https://doi.org/10.36829/08ASA.v11i1.1443>

Coaquira, A. (2018). *Determinación de la eficacia en humedades artificiales de flujo sub superficial con totora (Schoenoplectus californicus) en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la comunidad de San Antonio de Chujura - Región Puno, 2018* [Universidad Peruana Unión].
<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3344>

Contreras, J. (2015). *Análisis hidrosanitario de trampa de grasa con aireación para disminuir los compuestos tensoactivos y aceites lubricantes* [Universidad Internacional del Ecuador]. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2198>

Díaz, J. (2018). *Control de parametros de funcionamiento de la planta de tratamiento San José de los efluentes domésticos con la finalidad de optimizar su funcionamiento, en la empresa minera Pan American Silver S.A.C - unidad*

operativa Huaron [Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion].
<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/791>

Environmental Protection Agency. (2012). *Pretreatment of fats, oils, and grease (FOG) from food service establishments. United States Environmental Protection Agency*. <https://www.epa.gov/npdes/pretreatment-fat-oils-and-greases-fog-food-service-establishments>

Espinoza Rojas, L. M. (2021). *Eficiencia de la trampa de grasa en la reducción de parámetros fisicoquímicos en aguas residuales de un restaurante en el distrito de San Martín de Porres - 2021* [Tesis de título profesional, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional UCV.
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/75840>

Esquirva, K. (2016). *Remoción de aceites y grasas residuales domésticas usando lodos activados de planta de tratamiento de agua residual en el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez en Lima-Perú*.
<http://hdl.handle.net/20.500.14076/5373>

Gallimore, E., Aziz, T. N., Movahed, Z., & Ducoste, J. (2011). *Assessment of internal and external grease interceptor performance for removal of food-based fats, oil, and grease from food service establishments. Water Environment Research*, 83(9), 882–892.
<https://doi.org/10.2175/106143011X12989211840972>

Gamboa, M. (2017). *Efecto del tiempo y radiación solar sobre las macrófitas flotantes para la reducción de la DBO del agua del canal Mochica - Moche. Universidad César Vallejo*.

Gárate, R. (2017). *Determinación y Comparación de los Valores de los Parámetros de los Efluentes de Aguas Residuales de Restaurantes con los VMA, según la Norma Vigente. Arequipa, 2017* [Universidad Católica de Santa María].
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/6823>

- García-Hidalgo, Y. (2015). Calidad del agua con fines de riego. *Revista digital de Medio Ambiente*, 35(1), 1–12.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5362999.pdf>
- Gomez, M. (2017). *Evaluacion de la eficiencia de humedales artificiales verticales empleando Cyperus alternifolius Y Chrysopogon zizanioides para el tratamiento de aguas servidas*. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Gonzáles, K. (2020). *Evaluación de la eficiencia de trampas de grasa con microorganismos eficientes para el tratamiento de efluentes proveniente de restaurantes, Tarapoto, 2022* [Universidad César Vallejo].
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/115807>
- Guerra, J. (2022). *Eficiencia del humedal artificial utilizando tamices flotantes con la especie totora (Scirpus Californicus) en la depuración de aguas residuales municipales* [Universidad Nacional de San Martín].
<http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/4732>
- Hidalgo, A., & Huayama, P. (2022). *Evaluación de la contaminación del agua por aceites y grasas en Latinoamérica y propuestas de solución, Revisión Sistemática: 2012 – 2021* [Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/105072>
- Huamán, J. (2023). *Propuesta de un sistema de tratamiento de agua residual para un lavadero de vehículos, Bagua – Amazonas* [Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas].
<https://hdl.handle.net/20.500.14077/3147>
- Huarachi Núñez, Y. D., & Huanacuni Lupaca, C. (2021). *Sistema de tratamiento de aguas residuales del matadero municipal de Tacna*. Ingeniería Investiga, 3(1), 546–559. <https://doi.org/10.47796/ing.v3i1.480>
- Humanante, J., Moreno Alcivar, L., Grijalva-Endara, A., Saldoya, R., & Suárez, J.

- (2022). *Eficiencia de remoción e impacto del sistema de tratamiento de aguas residuales del sector urbano y rural de la Provincia de Santa Elena*. *Manglar*, 19(2), 177–187. <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2022.022>
- Hussin, M., Shamsuddin, M., Jumaidin, R., Abidin, A., & Jenal, N. (2018). Portable Grease Trap for Wastewater Management System: A Conceptual Design Approach. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 49(1), 18–24. https://www.akademiabaru.com/doc/ARFMTSV49_N1_P18_24.pdf
- Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI. (2019). Perú: Formas de acceso al agua y saneamiento básico. *Boletín: Agua y Saneamiento*, 9, 1–70.
- International Code Council. (2015). *2015 International Plumbing Code – Section 1003.3.6: Gravity grease interceptors*. Recuperado de Codes ICC.
- Jover-Smet, M., Martín-Pascual, J., & Trapote, A. (2017). *Model of suspended solids removal in the primary sedimentation tanks for the treatment of urban wastewater*. *Water*, 9(6), 448. <https://doi.org/10.3390/w9060448>
- Loarte, C. (2020). *Mejoramiento del diseño de trampa de grasa convencional mediante pantallas verticales para la reducción de aceites y grasa a condiciones de flujo constante e intermitente* [Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/19039>
- Mamani, M., & Ccorimanya, S. (2021). *Eficiencia de la PTAR Huaytire II mediante el SYSTEM O)) en la comunidad de Huaytire, provincia de Candarave, Tacna - 2021* [Universidad Continental]. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/12573>
- Mendoza Quispe, R. A. (2021). *Eficiencia de remoción de contaminantes básicos en el tratamiento de aguas residuales de un camal municipal utilizando un sistema de trampas en serie - Junín 2021* [Tesis de título profesional, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental.

<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10485>

Mesinas, M., Chávez, R., Pintor, A., & Beccera, V. (2018). Estudio de las características fisicoquímicas de aceites y grasas de cocina usados. *Revista Tectzapic*, 4(2), 33–40. <https://www.eumed.net/rev/tectzapic/2018/02/aceites-cocina-usados.html>

Meza Lazo, J. L., & Solis Espinoza, K. A. (2020). *Evaluación de la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales del camal municipal de Chupaca para la mejora de la calidad del efluente* [Tesis de título profesional, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6021>

Mohamed, R., Al-Gheethi, A., Welfrad, A., & Hashim, M. (2019). Development in-house: A trap method for pretreatment of fat, oil, and grease in kitchen wastewater. En *Handbook of Environmental Materials Management* (pp. 1351–1365). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73645-7_35

MVCS. (2019). *D.S. N° 010-2019. Decreto Supremo que aprueba el reglamento de Valores máximos admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario*. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1118537/ds10_2019vi.pdf?v=1596213340

National Renewable Energy Laboratory. (2020). *Annual technology baseline*. <https://www.nrel.gov/>

Núñez, E., Saboya, N., & Cruz, M. (2019). Oxidación y filtración con conchas abanico el tratamiento de aguas residuales del camal de Cajamarca. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 5(2). <https://doi.org/10.17262/rictd.v5i2.886>

Organización Mundial de la Salud. (2019). *Directrices sobre saneamiento y salud*.

<https://iris.who.int/handle/10665/310464>

Pérez Arteaga, A. (2024). *Evaluación de la eficiencia del uso operacional y de mantenimiento de trampas de grasa comerciales en hoteles y restaurantes de la ciudad de Puno*. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/970>

Plumbing and Drainage Institute. (2017). *Standard PDI-G101 (revised 2017)*. Recuperado de PDI.

Poveda, A. (2014). *Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizadas en el Cantón Ambato, provincia de Tungurahua*. Universidad Técnica de Ambato.

Pratap, A., & McNabola, A. (2023). Design of a hybrid grease trap for reduced energy consumption and improved fog retention in hot wastewater. *Environmental Sciences Proceedings*, 21(1), 85. <https://doi.org/10.3390/ENVIRONSCIPROC2022021085>

Quilcate, A., Guerrero, L., Rojas, D., Ruiz, O., & Vásquez, A. (2021). *Análisis Técnico Económico de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la Ciudad de Cajamarca, implementada bajo la modalidad de Obra por Impuestos* [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/652741>

Quintero, J. (2014). Evaluación de humedales artificiales pilotos de flujo horizontal y tipo superficial y subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales. *Ingenium Revista de la facultad de ingeniería*, 15(29), 85. <https://doi.org/10.21500/01247492.1347>

Rodríguez Pérez, J. M. (2022). *Eficiencia de un sistema de pretratamiento para la remoción de carga contaminante en efluentes de una industria de alimentos en Lima - 2022* [Tesis de título profesional, Universidad Nacional Federico

Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV.
<https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/6125>

Rubio, J., & Montenegro, A. (2018). *Humedal Artificial en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la 3ra Brigada de Fuerzas Especiales, batallón de servicios N° 300, Distrito de Rioja, Provincia de Rioja, Departamento de San Martín* [Universidad Nacional de San Martín].
<http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2970>

Saltos, A. (2017). *Estudio de un sistema de trampas de grasa en la empresa de catering Los Almendros y su incidencia en el cuidado del medio ambiente* [Universidad Regional Autónoma de los Andes].
<https://dspace.uniandes.edu.ec/handle/123456789/5949>

Sánchez Pérez, J. A. (2021). *Evaluación de la eficiencia de remoción de carga orgánica en aguas residuales de restaurantes mediante sistemas de pretratamiento en la ciudad de Chiclayo - 2021* [Tesis de título profesional, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio Institucional USS.
<https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/8920>

Serrano, D. (2019). *Evaluación del uso y disposición final del aceite vegetal residual proveniente de comedores en General Villamil Playas, Ecuador* [Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/44942>

Sistema Nacional de Información Ambiental. (2021). *Descargas de aguas residuales domésticas sin tratamiento*. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento.

Solís, I., & Neira, M. (2018). Impacto al medio ambiente del aceite doméstico usado y su reutilización en la producción de jabón. *Universidad Ricardo Palma*, 1–6.
<http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/1916>

Sultana, N., Roddick, F., Jefferson, B., Gao, L., Bergmann, D., Papalois, J., Guo,

M., Tzimourtas, K., & Pramanik, B. (2024). Effectiveness of grease interceptors in food service establishments for controlling fat, oil and grease deposition in the sewer system. *Sci Total Environ.*, 20(912), 169441. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169441>

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2022). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el ámbito de las empresas prestadoras*. https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2022/06/Informe-de-diagnostico-de-las-Plantas-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-PTAR_VdigitalConcomentario.pdf

Tuesta, J. (2021). *Diseño de un proceso físico para la reducción de contaminantes generados por aguas residuales de los usuarios no domésticos en la ciudad de Moyobamba* [Universidad Nacional de San Martín]. [https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/4189/1/ING_SANITARIA - Julio César Tuesta Ramos.pdf](https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/4189/1/ING_SANITARIA-Julio%20C%C3%A9sar%20Tuesta%20Ramos.pdf)

Ubalde, B. (2021). *Caracterización de las aguas residuales de la trampa de grasa de la empresa Inversiones Turísticas AQP S.A.C. y propuesta de tratamiento, Arequipa, 2021* [Universidad Tecnológica del Perú]. <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/4859>

Vásquez, J. (2022). *Propuesta de diseño de una trampa de aceites y grasas convencional en la depuración básica de un efluente de lavado de vehículos – nivel de laboratorio* [Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1507>

Velasco, F., Molano, A., & Pramparo, L. (2019). Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas para la remoción de carga orgánica en industria de bebidas no alcohólicas. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 13(26), 17–26. <https://doi.org/10.31908/19098367.1150>

Vizcardo, Y. (2019). *Desarrollo de un programa integral de disminución de valores*

máximos admisibles en aguas residuales de establecimientos de comida en un centro comercial de Lima [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].
<https://repositorio.unsa.edu.pe/items/4947709b-684a-4f33-bd8b-ef0fc5b6b2db>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Título: Prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado para el tratamiento de aguas residuales no domésticas, Tacna 2024

Formulación del problema	Hipótesis general	Objetivo general	Variables	Dimensión	Indicadores	Prueba estadística
¿En qué medida un prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado contribuye en el tratamiento de aguas residuales no domésticas en la ciudad de Tacna durante el año 2024?	La aplicación de un prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado demuestra una diferencia significativa en el tratamiento de aguas residuales no domésticas en Tacna durante el año 2024.	Evaluar el funcionamiento de un prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado en el tratamiento de aguas residuales no domésticas en la ciudad de Tacna durante el año 2024.	Independiente X_1 = Prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado Dependiente Y = Agua residual no doméstica (muestra sintética)	Física Fisicoquímicos	Caudal (L/s) Porcentaje de remoción	Análisis de varianza ANOVA de medidas repetidas.
Formulación del problema específico	Hipótesis específica	Objetivos específicos	Variables	Dimensión	Indicadores	Prueba estadística
¿Cómo influyen la concentración y las secciones de compartimiento del prototipo de trampa de grasa diseñado y construido con materiales reciclados para el tratamiento de aguas residuales no domésticas en la acumulación de aceites y grasas totales de las aguas residuales no domésticas?	La concentración y las secciones de compartimiento influyen en la acumulación de aceites y grasas totales en el prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado.	Determinar la influencia de la concentración y sección de compartimiento del prototipo de trampa de grasa en la acumulación de aceites y grasa totales de aguas residuales no domésticas a través de la construcción de un prototipo de trampa de grasa hecho con material reciclado.	Independiente X_1 = Caudal X_2 = Tiempo de retención Dependiente Y = Acumulación de aceites, grasas y sólidos sedimentables totales	Fisicoquímicos	Concentración del agua residual sintética (mg/L) Volumen acumulado (ml)	Análisis de varianza ANOVA complementando con la prueba de Tukey a un 95 % de confianza.

¿Cuál será la eficiencia de un prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado en la remoción de los parámetros fisicoquímicos de aguas residuales no doméstica?	El prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado presenta una eficiencia significativa en la remoción de los parámetros fisicoquímicos de aguas residuales no domésticas.	Analizar la eficiencia de un prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado (PET y EPS) en la remoción de los parámetros fisicoquímicos de aguas residuales no domésticas.	Independiente $X_1 =$ Prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado Dependiente $Y =$ Eficiencia de remoción	Física Fisicoquímicos	Caudal (L/s) Concentración del agua residual sintética (mg/L) antes y después Turbidez (NTU) Aceites y grasas (mg/L) SST (mg/L) DBO₅ (mg/L) DQO (mg/L)	Prueba de T Student para variables dependientes a un 95 % de confianza.
¿Qué tan eficiente serán los materiales reciclados (PET y EPS) en términos de costos y viabilidad para la construcción de un prototipo de trampa de grasas?	La eficiencia del material reciclado (PET y poliestireno extendido) en términos de costos y viabilidad para la fabricación de un prototipo de trampa de grasas es significativa en comparación con el uso de materiales convencionales.	Evaluar la eficiencia del material reciclado en términos de costos y viabilidad para la fabricación de un prototipo de trampa de grasas.	Independiente $X_1 =$ Prototipo de trampa de grasas hecho con material reciclado Dependiente $Y =$ Eficiencia del material reciclado en la construcción	Económica	Costo de adquisición Costos operativos Durabilidad y vida útil: Impacto ambiental Disponibilidad y accesibilidad	Análisis de Coste-Beneficio (ACB)

Anexo 2. Panel fotográfico del desarrollo de la investigación

Fotografía 1

Construcción del prototipo de trampa de grasa



Fotografía 2

Unión de paredes del prototipo de trampa de grasa



Fotografía 3

Prototipo de trampa de grasa terminado



Fotografía 4

Muestra de aceite de cocina usado



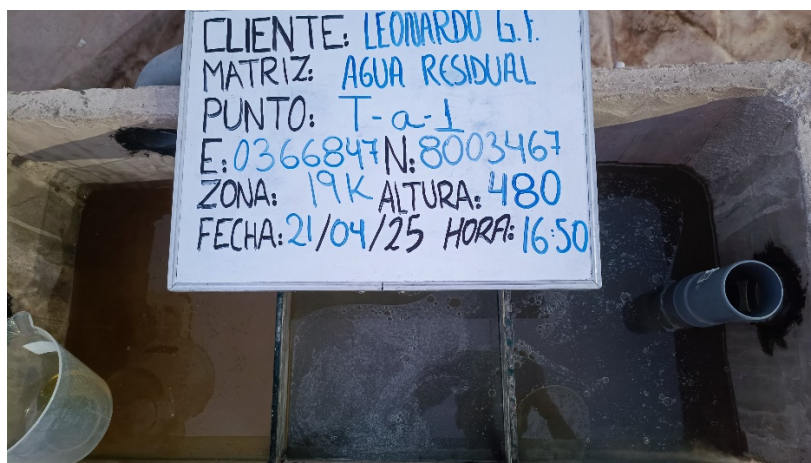
Fotografía 5

Llenado del prototipo de trampa de grasa



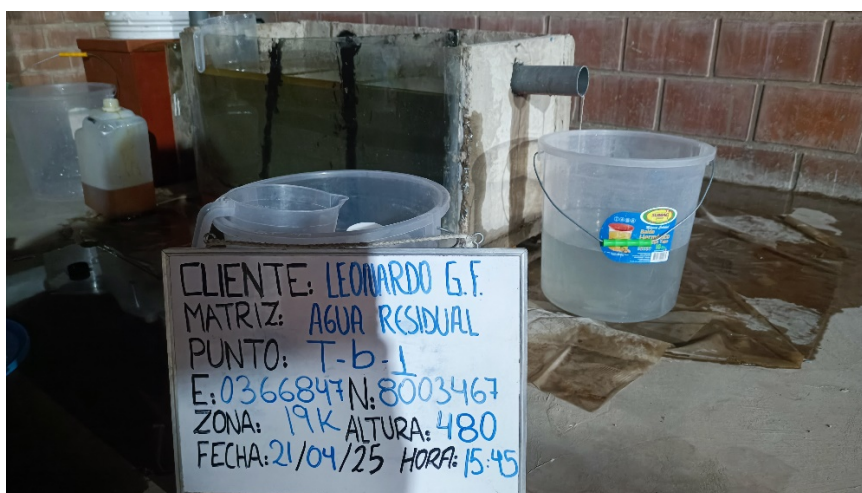
Fotografía 6

Evaluación del prototipo de trampa de grasa



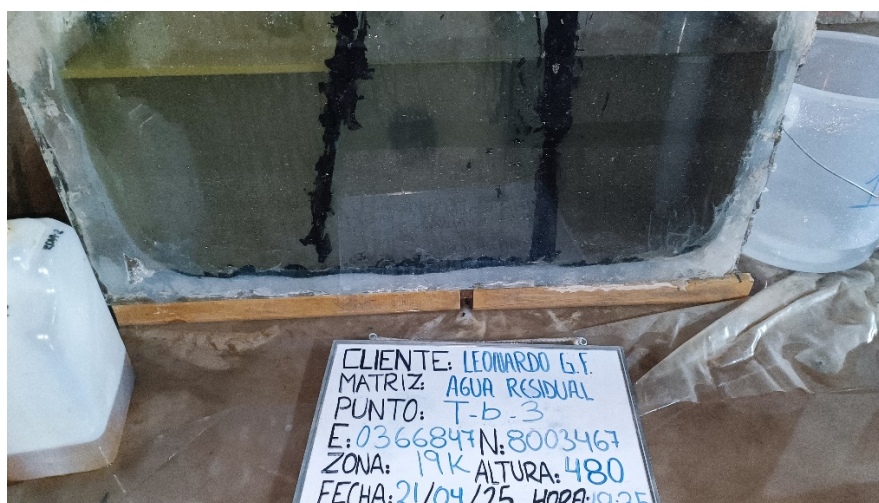
Fotografía 7

Evaluación del prototipo de trampa de grasa



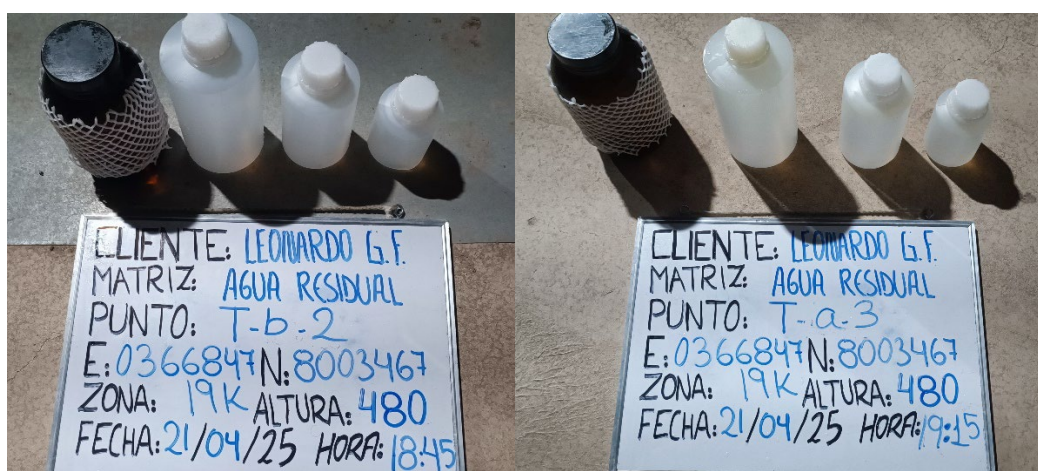
Fotografía 8

Evaluación del prototipo de trampa de grasa



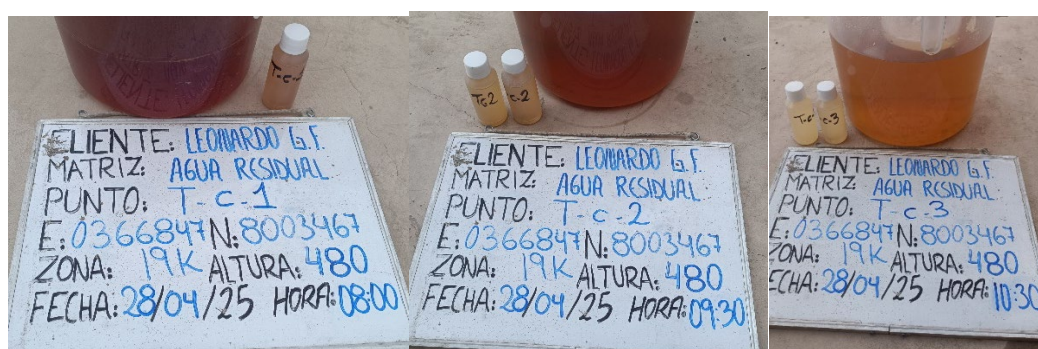
Fotografía 9

Muestras para envío al laboratorio de la evaluación del prototipo de trampa de grasa



Fotografía 10

Muestras para envío al laboratorio de la evaluación del prototipo de trampa de grasa



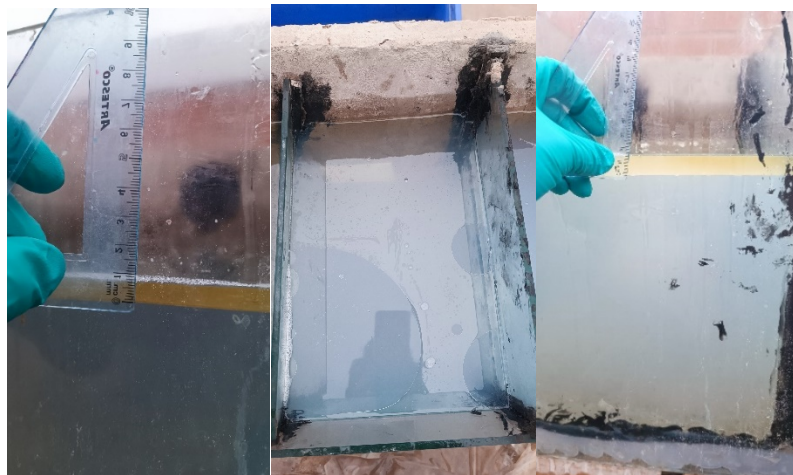
Fotografía 11

Medición del caudal de entrada agua en el prototipo de trampa de grasa



Fotografía 12

Medición de capa de grasa formada en el prototipo de trampa de grasa



Anexo 3. Análisis de laboratorio



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-00972/25

Página 1/3

DATOS DEL CLIENTE	
Solicitado por	: GOMEZ FRANCO LEONARDO FLAVIO
Domicilio legal	: C.P. MIRAVE MZ ALT 09 – ILABAYA – JORGE BASADRE – TACNA
DATOS DE LA MUESTRA	
Producto declarado ^(A)	: AGUA RESIDUAL
Lugar de Muestreo ^(A)	: C. GREGORIO ALBARRACIN LANCHIPA – TACNA – TACNA
Fecha de Muestreo ^(A)	: 2025-04-21
Procedencia	: Muestra proporcionada por el solicitante
Cantidad recibida	: 18 muestras x 2.5 Litros
Presentación y condición de recepción	: En frasco de plástico y vidrio, cerrado, refrigerado y preservado
Identificación y descripción ^(A)	: Según se indica
Fecha de recepción	: 2025-04-23
Fecha de inicio del ensayo	: 2025-04-23
Fecha de término del ensayo	: 2025-04-28
Ensayo realizado en	: Laboratorio Ambiental Arequipa
Identificado con	: EXMA-04061-2025
Validez del documento	: Este documento es válido solo para muestra descrita

Proyecto:				
Puntos de muestreo ^(A)	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
T-a-1	0366847	8003467	-----	-----
T-b-1	0366847	8003467	-----	-----
T-a-2	0366847	8003467	-----	-----
T-b-2	0366847	8003467	-----	-----
T-a-3	0366847	8003467	-----	-----
T-b-3	0366847	8003467	-----	-----

^(A) Datos proporcionados por el solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar la validez de los resultados

“Este documento sin firma digital carece de validez”

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

“ EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUTE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE”

INFORME DE ENSAYO N° 2-00972/25

Página 2/3

RESULTADOS

		Estación de Muestreo		T-a-1		T-b-1		
		Fecha y Hora de Muestreo		22/04/2025 16:50		22/04/2025 15:45		
		Tipo de Muestra		Agua Residual		Agua Residual		
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados			Resultados		
Parámetros Orgánicos (Triplicado)			i	ii	iii	i	ii	iii
Aceites y Grasas	0,50	mg/L	10 065	10 064	10 068	0,8	0,9	0,8
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	2,0	mg/L	19 530	19 532	19 531	29	28	29
Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.)	2,5	mgO2/L	32 949	32 950	32 949	53	54	52

		Estación de Muestreo		T-a-2		T-b-2		
		Fecha y Hora de Muestreo		22/04/2025 18:25		22/04/2025 18:45		
		Tipo de Muestra		Agua Residual		Agua Residual		
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados			Resultados		
Parámetros Orgánicos (Triplicado)			i	ii	iii	i	ii	iii
Aceites y Grasas	0,50	mg/L	11 686	11 690	11 689	0,7	0,7	0,8
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	2,0	mg/L	25 125	25 126	25 128	24	25	26
Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.)	2,5	mgO2/L	41 969	41 965	41 971	50	48	49

		Estación de Muestreo		T-a-3		T-b-3		
		Fecha y Hora de Muestreo		22/04/2025 19:15		22/04/2025 19:35		
		Tipo de Muestra		Agua Residual		Agua Residual		
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados			Resultados		
Parámetros Orgánicos (Triplicado)			i	ii	iii	i	ii	iii
Aceites y Grasas	0,50	mg/L	1 036	1 038	1 037	0,6	0,6	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	2,0	mg/L	1 701	1 703	1 701	22	23	22
Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.)	2,5	mgO2/L	2 844	2 843	2 845	41	40	42

"Este documento sin firma digital carece de validez"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

" EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-00972/25

Página 3/3

CONTROLES DE CALIDAD

Ensayos	BM < Limite Detección	LFB	Criterio de aceptación	Muestra	Duplicado	RPD	Criterio de aceptación
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) (LD: 2,0 mg/L)	<2,0	179	198 ± 30,5 mg/L	1701	1701	0,00	<20%
Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.) (LD: 2,5 mgO2/L)	<2,5	101	85% - 115%	844	834	1,22	<20%

Ensayos	BM < Limite Detección	LFB	Criterio de aceptación	LFM / ORP	LFM-DUP / ORP-DUP	RPD	Criterio de aceptación
Aceite y grasas (LD: 0,50 mg/L)	<0,50	97,5	78%-114%	39,0	39,1	0,26	≤ 11 %

BM: Blanco del Método
LFB: Blanco Fortificado de Laboratorio
LFM: Matriz Fortificada de Laboratorio
LFMD: Duplicado de Matriz Fortificada de Laboratorio
% RPD: Diferencia Porcentual Relativa

MÉTODOS

Aceites y Grasas: EPA Method 1664, Revision B. 2010. n-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5): SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 5210 B, 24th Ed. 2023. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24th Ed. 2023. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.
Arequipa, 07 de mayo de 2025

Firmado Digitalmente
CERTIFICACIONES DEL PERÚ S.A.

L.C. Edgar Mendoza Romani
C.O.P. N° 778
JEFE DEL LABORATORIO AREQUIPA

“Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC”

“Este documento sin firma digital carece de validez”

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com



“ EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE”