



Esta obra está bajo una

[Licencia Creative Commons](#)

[Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](#)

Vea una copia de esta licencia en

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Tesis

Remoción de la DBO₅ y la DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba mediante un filtro de piedra pómez

Para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Manuel Ruben Obregón Loli
<https://orcid.org/0009-0009-8119-1008>

Asesor:

Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna
<https://orcid.org/0000-0003-3755-4093>

Coasesor:

Ing. Dr. Abner Félix Obregón Lujerio
<https://orcid.org/0000-0002-9640-4549>

Moyobamba, Perú

2025



FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Tesis

Remoción de la DBO₅ y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba mediante un filtro de piedra pómez

Para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Manuel Ruben Obregón Loli

Sustentado y aprobado el 30 de abril del 2025, ante el honorable jurado:

Presidente de Jurado
Ing. M.Sc. Mirtha Felicita
Valverde Vera

Secretario de Jurado
Blgo. M.Sc. Luis Eduardo
Rodríguez Pérez

Miembro de Jurado
Lic. M.Sc. Ronald Julca Urquiza

Asesor
Ing. M.Sc. Santiago Alberto
Casas Luna

Coasesor
Ing. Dr. Abner Félix Obregón Lujerio

Moyobamba, Perú

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
FACULTAD DE ECOLOGÍA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DEL INFORME FINAL DE TESIS
CONDUCTENTES A TÍTULO PROFESIONAL N° 010-2025-UNSM/EPIA/UI**

Jurado reconocido con Resolución N° 233-2019-UNSM/CFT/FE, Moyobamba 27 de diciembre del 2019.

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA AMBIENTAL

A las 15:00 horas, del día miércoles 30 de abril de 2025, se dio inicio al acto público de sustentación del informe final de tesis **“Remoción de la DBO₅ y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba mediante un filtro de piedra pómez”** para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, presentado por **Manuel Ruben Obregón Loli**, con la asesoría del **Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna** y del co-asesor **Dr. Abner Félix Obregón Lujerio**.

Instalada la Mesa Directiva conformada por la **Ing. M.Sc. Mirtha Felicita Valverde Vera** (Presidente del jurado), **Blgo. M.Sc. Luis Eduardo Rodríguez Pérez** (Secretario), **Lic. M.Sc. Ronald Julca Urquiza** (Vocal) y acompañado por el **Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna** y por el co-asesor **Dr. Abner Félix Obregón Lujerio**, el presidente del jurado dirige brevemente unas palabras y a continuación el secretario dio lectura a la **Resolución N° 297-2019-UNSM/CFT/FE, de fecha 26 de diciembre de 2019**.

Seguidamente el autor expuso el informe final de tesis y el jurado realizó las preguntas pertinentes, respondidas por el sustentante y evaluado por el jurado con la venia del asesor.

Una vez terminada la ronda de preguntas el jurado procedió a deliberar para determinar la calificación final, para lo cual dispuso un receso de quince (15) minutos, con participación del asesor con voz, pero sin voto; sin la presencia del sustentante y otros participantes del acto público.

Luego de aplicar los criterios de calificación con estricta observancia del principio de objetividad y de acuerdo con los puntajes en escala vigesimal (de 0 a 20), según el Anexo 4.2 del RG-CTI, la nota de sustentación otorgada resultante del promedio aritmético de los calificativos emitidos por cada uno de los miembros del jurado fue *Quince* (15), tal como se deja constar en la siguiente descripción.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
FACULTAD DE ECOLOGÍA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



De acuerdo con el Artículo 40° del RG-CTI, la nota obtenida es APROBATORIA y correspondiente a la calificación de... BUENO... leído este resultado en presencia de todos los participantes del acto de sustentación, el secretario dio lectura a las observaciones subsanables al informe final que el autor deberá corregir y alcanzar al jurado en un plazo máximo de treinta (30) días calendarios.

Se deja constancia que la presente acta se inscribe en el Libro de sustentaciones N° 001 del Programa de Estudios de Ingeniería Ambiental de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ecología de la UNSM.

Firman los integrantes de la Mesa Directiva y el autor del informe final tesis, en señal de conformidad, dando por concluido el acto a las 16,55 horas, el mismo día miércoles 30 de abril de 2025.

Ing. M.Sc. Mirtha Felicita Valverde Vera
Presidente de Jurado

Blgo. M.Sc. Luis Eduardo Rodríguez Pérez
Secretario de Jurado

Lic. M.Sc. Ronald Julca Urquiza
Vocal

Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna
Asesor

Dr. Abner Félix Obregón Lujerio
Co-asesor

Manuel Ruben Obregón Loli
Autor

Declaratoria de autenticidad

Manuel Ruben Obregón Loli, con DNI N° 72452558, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Remoción de la DBO₅ y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba mediante un filtro de piedra pómez.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencia de las fuentes bibliográficas consultadas, siguiendo las normas APA actuales
3. Toda información que contiene la tesis no ha sido plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Moyobamba, 30 de abril de 2025.



A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Manuel Obregón Loli'.

Manuel Ruben Obregón Loli
DNI N° 72452558

Ficha de identificación

<p>Título: Remoción de la DBO₅ y la DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba mediante un filtro de piedra pómez.</p>	<p>Área de investigación: Ciencia y tecnología ambiental. Línea de investigación: Saneamiento ambiental. Sublínea de investigación: Tratamiento de aguas. Grupo de investigación: Tecnologías de tratamiento del agua, Resolución N° 390-2024-UNSM/CFT/FE, Moyobamba, 26 de julio del 2024. Tipo de investigación: Básica <input type="checkbox"/>, Aplicada <input checked="" type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input type="checkbox"/></p>
<p>Autor: Manuel Ruben Obregón Loli</p>	<p>Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental https://orcid.org/0009-0009-8119-1008</p>
<p>Asesor: Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna</p>	<p>Dependencia local de soporte: Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental Unidad o Laboratorio Ingeniería Ambiental https://orcid.org/0000-0003-3755-4093</p>
<p>Coasesor: Ing. Dr. Abner Félix Obregón Lujerio</p>	<p>Dependencia local de soporte: Facultad de Ingeniería Agroindustrial Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial Unidad o Laboratorio Ingeniería Agroindustrial https://orcid.org/0000-0002-9640-4549</p>

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia por su apoyo incondicional durante toda mi etapa universitaria, en especial a mis padres.

Agradecimientos

A Dios, por brindarme bienestar y salud para poder cumplir mis metas y objetivos.

A mi familia y en especial a mis padres, por su apoyo incondicional durante toda esta etapa.

A mis amigos, quienes me acompañaron y ayudaron durante toda mi etapa universitaria.

A los docentes y en especial al Ing. M.sc. Santiago Alberto Casas Luna, por su apoyo y asesoramiento en el desarrollo de este proyecto.

Índice general

Ficha de identificación	6
Dedicatoria	7
Agradecimientos	8
Índice general	9
Índice de tablas	12
Índice de figuras	13
RESUMEN.....	14
ABSTRACT	15
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN	16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	20
2.1. Antecedentes de la investigación.....	20
2.2. Fundamentos teóricos	22
2.2.1. Camal municipal	22
2.2.2. Aguas residuales	23
2.2.3. Carga orgánica en aguas residuales	25
2.2.4. Sistema de tratamiento de aguas residuales.....	26
2.2.5. Piedra pómez.....	27
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.1. Ámbito y condiciones de la investigación	29
3.1.1. Contexto de la investigación	29
3.1.2. Periodo de ejecución	29
3.1.3. Autorizaciones y permisos	29
3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad.....	29
3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales.....	30
3.2. Sistema de variables	30
3.2.1. Variables principales	30
3.3. Procedimientos de la investigación	31

3.3.1. Caracterización de las concentraciones de DBO ₅ y DQO del agua residual cruda del camal municipal de Moyobamba	33
3.3.2. Caracterización de las concentraciones de DBO ₅ y DQO del agua residual tratada del camal municipal de Moyobamba mediante filtros de piedra pómez	34
3.3.3. Determinación de la eficiencia del filtro de piedra pómez en la remoción de la DBO ₅ y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba	37
3.3.4. Evaluación de la remoción de la DBO ₅ y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba mediante filtros de piedra pómez	37
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1. Concentraciones de DBO ₅ y DQO del agua residual cruda del camal municipal de Moyobamba	40
4.2. Concentraciones de DBO ₅ y DQO del agua residual tratada del camal municipal de Moyobamba mediante filtros de piedra pómez	42
4.3. Eficiencia del filtro de piedra pómez en la remoción de la DBO ₅ y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba	44
4.4. Remoción de la DBO ₅ y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba mediante filtros de piedra pómez	45
4.4.1. Influencia del filtro de piedra pómez en la remoción de DBO ₅ y DQO del agua residual del camal municipal	46
4.4.2. Diámetro óptimo de piedra pómez en la remoción de DBO ₅ y DQO del agua residual del camal municipal	46
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXOS	58
Anexo 1. Ubicación del área de estudio	58
Anexo 2. Autorización para ingreso al camal municipal de Moyobamba	59
Anexo 3. Autorización para ingreso al laboratorio, registro de uso de materiales y equipos, y asistencia al laboratorio	60
Anexo 4. Estudios de granulometría	62
Anexo 5. Datos de DBO ₅ y DQO obtenidos en el laboratorio	72

Anexo 6. Análisis estadísticos.....	73
Anexo 7. Panel fotográfico	74

Índice de tablas

Tabla 1. Características de las aguas residuales de un matadero según procesos	24
Tabla 2. Características de las aguas residuales de un matadero con plantas de elaboración y enlatado	24
Tabla 3. Características físicas y químicas de la piedra pómez	27
Tabla 4. Descripción de variables por objetivo específico	30
Tabla 5. Fechas de muestreo y análisis de DBO ₅ y DQO en el agua residual cruda y tratada	33
Tabla 6. Eficiencias del filtro de piedra pómez en la remoción de la DBO ₅ y DQO	44
Tabla 7. Prueba T de muestras emparejadas para comparar concentraciones de DBO ₅ y DQO del afluente y efluente de los filtros de piedra pómez.....	46
Tabla 8. ANOVA para evaluar la influencia de la piedra pómez según diámetro en la remoción de DBO ₅ del agua residual del camal municipal	46
Tabla 9. ANOVA para evaluar la influencia de la piedra pómez según diámetro en la remoción de DQO del agua residual del camal municipal	47
Tabla 10. Datos de DBO ₅ y DQO obtenidos en el laboratorio	72
Tabla 11. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) de los datos de remoción para evaluar la influencia de la piedra pómez	73
Tabla 12. Prueba T de muestras emparejadas	73

Índice de figuras

Figura 1. Proceso de tratamiento común de aguas residuales de mataderos.	27
Figura 2. Esquema del diseño de investigación.	32
Figura 3. Diseño del sistema piloto de filtros con piedra pómez.	36
Figura 4. Concentraciones de DBO ₅ del agua residual cruda del camal municipal de Moyobamba y comparación con los VMA y LMP.	40
Figura 5. Concentraciones de DQO del agua residual cruda del camal municipal de Moyobamba y comparación con los VMA y LMP.	41
Figura 6. Concentraciones de DBO ₅ del agua residual tratada del camal municipal de Moyobamba y comparación con los VMA y LMP.	42
Figura 7. Concentraciones de DQO del agua residual tratada del camal municipal de Moyobamba y comparación con los VMA y LMP.	43
Figura 8. Prueba de Tukey ($p < 0,05$). (a) DBO ₅ ; (b) DQO.	47

RESUMEN

Remoción de la DBO₅ y la DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba mediante un filtro de piedra pómez

El estudio tuvo como objetivo Evaluar la remoción de la DBO₅ y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba mediante filtros de piedra pómez. Se caracterizó las concentraciones de DBO₅ y DQO del agua residual cruda del camal municipal en el afluente al sistema de tratamiento, asimismo, se diseñó e implementó filtros de piedra pómez con tres diámetros diferentes (5, 10 y 15 mm) y durante ocho semanas se muestreo y analizó las concentraciones de DBO₅ y DQO en el efluente de cada filtro, además, se determinó la eficiencia de los filtros, la influencia de estos en la remoción de carga orgánica y el diámetro de piedra pómez más óptimo en la remoción; los datos fueron procesados mediante la estadística descriptiva e inferencial (prueba T de muestras emparejadas, ANOVA y Tukey). Se determinó que el agua residual del camal municipal en estado crudo y tratado con filtros de diferentes diámetros no cumplieron los VMA para vertimiento de aguas residuales no domésticas en el alcantarillado sanitario y los LMP para el vertimiento de efluentes líquidos de actividades agroindustriales como planta de beneficio y camales, además, se determinó que el diámetro de 5 mm de piedra pómez registró las mayores eficiencias con valores que oscilaron entre 45,9 y 52,3 % con una media de 49,3 % para DBO₅ y entre 40,6 y 47,9 % con un promedio de 44,1 % para DQO. Se concluye que el filtro de piedra pómez influye en la remoción de concentraciones de DBO₅ y DQO del agua residual del camal municipal y mientras menor sea el diámetro de la piedra pómez mayor será la eficiencia en la remoción.

Palabras clave: Agua residual, camal municipal, DBO₅, DQO, piedra pómez, remoción.

ABSTRACT

Removal of BOD₅ and COD from wastewater from the municipal slaughterhouse in Moyobamba using a pumice stone filter

The study aimed to evaluate the removal of BOD₅ and COD from wastewater from the municipal slaughterhouse in Moyobamba using pumice filters. The BOD₅ and COD concentrations of raw wastewater from the municipal slaughterhouse in the tributary to the treatment system were characterized. Furthermore, pumice filters with three different diameters (5, 10, and 15 mm) were designed and implemented, and for eight weeks, the BOD₅ and COD concentrations in the effluent from each filter were sampled and analyzed. In addition, the efficiency of the filters, their influence on organic load removal, and the optimal pumice stone diameter for removal were determined. The data were processed using descriptive and inferential statistics (paired sample t-test, ANOVA, and Tukey). It was determined that raw wastewater from the municipal slaughterhouse and wastewater treated with filters of different diameters did not comply with the MPV for the discharge of non-domestic wastewater into the sanitary sewer system and the MPL for the discharge of liquid effluents from agro-industrial activities such as processing plants and slaughterhouses. Furthermore, it was determined that the 5 mm diameter pumice stone recorded the highest efficiencies with values ranging from 45.9 to 52.3% with an average of 49.3% for BOD₅ and from 40.6 to 47.9% with an average of 44.1% for COD. It is concluded that the pumice filter influences the removal of BOD₅ and COD concentrations from municipal slaughterhouse wastewater, and that the smaller the diameter of the pumice, the greater the removal efficiency.

Keywords: Wastewater, municipal slaughterhouse, BOD₅, COD, pumice stone, removal.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

Entre los retos de más importancia que deben enfrentar las sociedades en la actualidad es la conservación y mantenimiento de los recursos hídricos (ya sea aguas subterráneas o superficiales) (Breida et al., 2020), ya que se considera al agua como un recurso fundamental que mantiene a los ecosistemas, a la sociedad y la vida humana (Yang et al., 2021). Las fuentes hídricas superficiales están permanentemente expuestas a la contaminación, ya que son la fuente omnipresente para la mayor cantidad de necesidades de agua y los problemas se ven agravados debido a la fuerte industrialización, exceso de población, saneamiento inadecuado y rápida urbanización (Mahbubul et al., 2023). Generalmente la contaminación del agua es consecuencia del desarrollo de actividades industriales y agrícolas, y el continuo deterioro de la calidad hídrica ha venido generando grandes problemas ambientales para la salud y la vida (Sial et al., 2022).

Las aguas residuales no domésticas (ARnD) son residuos líquidos generados por actividades industriales o comerciales (Anaya y Zegarra, 2015) y el vertimiento diario altera la calidad de cuerpos receptores hídricos, considerando la elevada y diversidad de carga contaminante (Bautista y Pramparo, 2022). Dentro de este rubro de actividades, se encuentran los camales municipales o conocidos como mataderos, que según Adonu et al. (2017) son áreas donde se sacrifican animales para la producción de alimentos como carne y existen principalmente para dar las condiciones adecuadas a la matanza de los animales y controlar el vertimiento de residuos. Sin embargo, de acuerdo a Shende et al. (2022) el incremento de la demanda de productos cárnicos debido al crecimiento demográfico ha aumentado problemas de contaminación, por lo cual los mataderos proponen desafíos ambientales muy importantes en cuanto a contaminación del agua y del suelo.

La industria de procesamiento de carnes consume alrededor del 24 % del total de agua dulce que se utiliza en la industria de bebidas y alimentos en lo referente al procesamiento y limpieza de los animales sacrificados y de las instalaciones con el fin de cumplir niveles adecuados de sanidad y salud (Bustillo-Lecompte y Mehrvar, 2015). Los efluentes que provienen de este sector industrial se han incrementado en volumen y complejidad de la carga contaminante e incluye contaminantes emergentes que se descargan en cuerpos hídricos sin un previo tratamiento (Olaniran et al., 2019). Los residuos de los mataderos incluyen líquidos (sangre, aguas de lavado y limpieza, fluidos

corporales internos, etc.) y sólidos (estiércol, contenido intestinal, rumen, pezuñas, huesos, etc.), y si no se gestionan de manera eficaz y adecuada pueden alterar el ambiente (Shende et al., 2022).

En el Perú, los problemas de contaminación hídrica ocasionado por el vertimiento de aguas residuales van en aumento y las industrias cárnicas representan a una de las más importantes fuentes de contaminación de cuerpos hídricos, debido a que los efluentes contienen alta carga de contaminantes como: sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), aceites y grasas, y otros (Nieto y Huaman, 2019). Además, no todos los mataderos del país tienen sistemas para tratar sus aguas residuales y hay deficiencias para controlar y monitorear internamente la calidad de las aguas residuales a fin de estimar si se cumplen o no los límites máximos permisibles (LMP) establecidos (Panduro, 2017). Por otro lado, en el departamento de San Martín los mataderos también son importantes fuentes de contaminación ambiental, tal y como sustenta Espinoza (2022) sobre el matadero de Saposoa de la provincia de Huallaga, una industria que produce una fuerte contaminación al río serrano por el vertimiento de efluentes, debido a la inexistencia de buenas prácticas para el tratamiento de los restos líquidos.

La DBO_5 y la DQO determinan la contaminación orgánica de aguas residuales y fuentes superficiales hídricas, por tal motivo es fundamental que las concentraciones de estos parámetros sean bajas y así evitar alteraciones en el medio acuático y particularmente sobre los peces, promoviendo de esta forma la protección y conservación del ambiente hídrico (Edokpayi et al., 2017). En relación a las aguas residuales municipales de concentraciones medias, los niveles promedio de DBO_5 y DQO en aguas residuales de mataderos puede ser 6,3 y 9,8 veces superior, respectivamente (Bustillo-Lecompte y Mehrvar, 2015; Metcalf et al., 1991). Además, de acuerdo a Méndez y Marchán (2008) las concentraciones de DBO_5 en agua de mezcla aumentan considerablemente si existen industrias como camales, pudiendo llegar a superar los 2 240 mg/L.

Considerando que las aguas residuales producidas en mataderos pueden ocasionar alteraciones al ambiente y la salud pública (Ng et al., 2022), y con el objetivo de preservar el ambiente y evitar el vertimiento completo en cuerpos receptores, es necesario considerar todas las formas posibles de tratamiento y aplicar el mejor sistema a fin de solucionar los problemas experimentados según etapas de la actividad (Aleksić et al., 2020). Las tecnologías de tratamiento físico y biológico son consideradas una de las formas más económicas y factibles para tratar aguas residuales de mataderos, y como parte de ello, la tecnología de digestión anaerobia se aplica frecuentemente

debido a la existencia de materia orgánica biodegradable en los efluentes de mataderos (Musa e Idrus, 2021). Además, entre todos los métodos de tratamiento, la adsorción es considerada una de las mejores debido a su facilidad de funcionamiento y bajo costo, donde la piedra pómez puede ser utilizado debido a su gran porosidad, bajo peso y composición especial que aumentan el proceso de adsorción e intercambio de iones (Vanani y Ostad-Ali-Askari, 2023). Asimismo, según Çifçi y Meriç (2017) la piedra pómez se utiliza para tratar aguas residuales como medio filtrante e integrado en tratamientos biológicos como aerobio, oxidación, anaerobio y anóxico.

Diversos autores han demostrado la eficiencia para remover carga contaminante de aguas residuales de mataderos utilizando piedra pómez como medio filtrante, por ejemplo, en el ámbito internacional, Kocadagistan (2014) al utilizar un reactor anaerobio de lecho fijo de flujo ascendente mediado por piedra pómez para tratar efluentes de un matadero de carnes y pescados en Erzurum determinó eficiencias máximas de entre 93 y 73 % de remoción de DQO. Por su parte, Vásconez (2018) trató residuos líquidos del “Centro de Faenamiento Ocaña” del cantón Quero utilizando filtro de piedra pómez y observó mejores eficiencias en la semana 4 para DBO₅ (65,68 %) y en la semana 10 para DQO (59,21 %). De igual forma, en el Perú, Vargas (2019) utilizó piedra pómez para tratar efluentes del centro de beneficio animal de Puno y determinó eficiencias de 65,8 y 73,3 % para DQO y DBO₅, respectivamente.

En el departamento de San Martín, los estudios sobre el uso de piedra pómez para tratar efluentes de mataderos son escasos, aunque los esfuerzos para el tratamiento de este tipo de aguas residuales no han pasado por desapercibido, por ejemplo, Panduro (2017) trató los efluentes del camal municipal de Moyobamba con un biorreactor anaeróbico tipo “UASB” y encontró una eficiencia de 73,91 para DBO₅ y 75,98 % para DQO. De igual forma, Alvarez (2022) utilizando filtros de material orgánico como cascarilla de arroz, aserrín y bagazo de caña de azúcar evaluó la remoción de carga contaminante de efluentes del camal municipal de Rioja, encontrando con la mejor proporción eficiencias de 81,80 % para DBO₅ y 82,38 % para DQO.

El matadero municipal de Moyobamba tiene una superficie de 14 425 m² con una capacidad de faenamiento de 60 porcinos y 20 vacunos por día (Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú (SENASA), 2021). Los efluentes generados por los procesos que se desarrollan en el camal municipal se descargan de forma directa en el ambiente sin un previo tratamiento, de esta forma se producen efectos desfavorables ya que constituye una grave amenaza para el ambiente y la salud pública. Los esfuerzos que se realizaron a lo largo de los años para solucionar la problemática no son en vano, sin

embargo, se requieren de nuevas tecnologías de tratamiento que sean de bajo costo, fácil funcionamiento, ecológicos y eficientes para remover la carga contaminante y de esta forma mitigar los efectos negativos en el ambiente y salud pública. Ante ello, el presente estudio buscó remover la DBO_5 y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba utilizando filtros de piedra pómez de tres diámetros diferentes (5 mm, 10 mm y 15 mm).

Se consideró como problema de estudio ¿En qué medida se remueve la DBO_5 y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba mediante un filtro de piedra pómez?, planteándose a partir del problema la hipótesis alternativa (H_i): Existe influencia significativa en la remoción de DBO_5 y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba mediante un filtro de piedra pómez; y, la hipótesis nula (H_0): No existe influencia significativa en la remoción de DBO_5 y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba mediante un filtro de piedra pómez. El objetivo general del estudio fue: Evaluar la remoción de la DBO_5 y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba mediante filtros de piedra pómez. Los objetivos específicos fueron, 1ro: Caracterizar las concentraciones de DBO_5 y DQO del agua residual cruda del camal municipal de Moyobamba; 2do: Caracterizar las concentraciones de DBO_5 y DQO del agua residual tratada del camal municipal de Moyobamba mediante filtros de piedra pómez; 3ro: Determinar la eficiencia del filtro de piedra pómez en la remoción de la DBO_5 y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba.

El presente informe de tesis se subdivide en 4 capítulos: introducción a la investigación, marco teórico, materiales y métodos y, resultados y discusión. Además, se dan a conocer las conclusiones y recomendaciones que derivaron del estudio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Antecedentes internacionales

Vanani y Ostad-Ali-Askari (2023). Desarrollaron el tratamiento de efluentes de una industria láctea de Neishabour mediante piedra pómez, con el fin de determinar su eficiencia. Estudiaron diferentes factores como dosis de adsorbente, tiempo de contacto, pH y velocidad de mezcla, además, evaluaron la piedra pómez en forma granular y en forma de polvo. Encontraron que la piedra pómez en forma granular, con tiempo de contacto de 20 horas, fracción volumétrica de un tercio y pH de 8 tuvo la capacidad de disminuir en 56,9 % la DQO y en 68,4 % la DBO₅; no obstante, observaron eficacia superior al utilizar piedra pómez en forma de polvo, también las condiciones de acidez no mostraron efectos positivos sobre la eficiencia y mientras aumentaba el tiempo de contacto y dosis de adsorbente aumentaba la velocidad de adsorción. Concluyó que para reducir DQO es mejor utilizar piedra pómez en forma granular que en polvo.

Mocha y Moreira (2021). Trataron efluentes de porcinos mediante un filtro gravitatorio con piedra pómez molida. Desarrollaron dos filtros, el primero con 20 cm de arena fina (0,125 mm), 5 cm de arena gruesa (0,5 mm) y 10 cm de grava (10 mm), en cambio el segundo filtro estuvo conformado por 20 cm de piedra pómez fina (0,125 mm), 5 cm de piedra pómez gruesa (0,5 mm) y 10 cm de grava (10 mm). Al caracterizar los efluentes encontraron concentraciones de 820 mg/L para DQO, 190 000 UFC/mL para CT, > 190 000 UFC/mL para CF, 580 mg/L para SST y 581 mg/L para STD, estos valores sobrepasaron los LMP referidos por el "TULSMA" para vertimientos a cuerpos hídricos, además, determinaron con el filtro de piedra la más alta remoción de 97,76 % para SST y 94,51 % para DQO.

Fetene y Addis (2020). Evaluaron la piedra pómez como adsorbente de bajo coste para el tratamiento terciario de fosfato de aguas residuales municipales. Encontraron que el proceso de adsorción alcanzó el equilibrio luego de 60 minutos de tiempo de contacto y logró 94,4 % ± 0,7 % de eficiencia de remoción para una dosis de 10 g/L en una solución de fosfato de 3 mg/L y pH 7, además, para el caso del efecto del tamaño de partícula del adsorbente en la eliminación de fosfatos encontraron que 0,075 a 0,425 mm fue el más eficaz al generar una remoción de 94,6 % ± 1,1 %. Concluyeron que la piedra pómez puede actuar como buen adsorbente reusable, técnicamente viable y de bajo

costo para eliminar fosfato de aguas residuales a fin de frenar problemas de eutrofización.

Vásconez (2018). Usó piedra pómez y evaluó su eficiencia para tratar las aguas residuales generadas en el “Centro de Faenamiento Ocaña”. Utilizó como elemento filtrante 35 L de piedra pómez, el material fue tamizado hasta obtener partículas entre 9,5 y 12,7 mm, el biofiltro se ubicó en el camal durante tres meses y recolectó una muestra de agua cruda y nueve de agua residual filtrada para analizar DQO, DBO₅ y sólidos totales. Determinó que el agua cruda del camal presentó una concentración de 6 016,0 mg/L para DQO, 3 006,0 mg/L para DBO₅ y 5 221,0 mg/L para sólidos totales, valores que excedieron los LMP de vertimientos al alcantarillado público; asimismo, determinó mayor eficiencia para DBO₅ en la semana 4 (65,87 %), para DQO en la semana 10 (59,21 %) y para sólidos totales en la semana 4 (44,30 %).

Antecedentes nacionales

Amasifuen y Morón (2021). Trataron los efluentes del camal municipal de Moquegua aplicando dosis de carbón activado y piedra pómez. Utilizó dos filtros, el primero conformado por 1 kg de piedra pómez y 1 kg de carbón activado, materiales que se lavaron y secaron a fin de eliminar impurezas, y el segundo filtro estuvo conformado por la misma proporción de materiales, pero sin ser lavados ni secados. Encontraron una concentración promedio de 9 547,0 mg/L de DBO₅ con una máxima y mínima de 9 547,5 y 9 260,0 mg/L, respectivamente; además, encontraron que el primer filtro removió 10,2 % y el segundo filtro 9,0 % de DBO₅.

Contreras y Manrique (2021). Evaluaron la remoción de materia orgánica de efluentes del matadero de Huancavelica utilizando un filtro percolador de piedra pómez. Consideraron piedra pómez de 4 a 5 cm de diámetro y recolectaron muestras para DBO₅, aceites y grasas, y SST en el ingreso y salida del filtro percolador, además, realizaron evaluaciones para un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 15 y 27 segundos. Encontraron para la DBO₅ valores del agua sin tratamiento que oscilaron entre 429,2 y 587,0 mg/L, asimismo, los resultados para un TRH de 15 segundos fluctuaron entre 276,45 y 286,54 mg/L y para 27 segundos entre 203,56 y 222,65 mg/L, además, obtuvieron para un TRH de 15 segundos una media de remoción de 34,98 % y para 27 segundos 56,97 %.

Vargas (2019). Utilizó filtros de piedra pómez para tratar efluentes verdes de un centro de beneficio animal de Puno. Usó cinco filtros con cantidades de 1, 2, 3, 4 y 5 kg de piedra pómez de ½ pulgada de diámetro en pozas de 0,42 x 0,32 x 0,38 m. Encontró que a una mayor cantidad de piedra pómez los filtros fueron más eficientes en la

remoción de DQO (65,8 %), pasando de 4 940,0 mg/L a 1 690,0 mg/L y en la remoción de DBO₅ (76,3 %), reduciendo de 2 950,0 mg/L a 700,0 mg/L, en ambos casos para un caudal de 35 L/s y tiempo de 5h 33' 36". Concluyó que la piedra pómez reduce concentraciones de DQO, DBO₅ y SST y mientras mayor sea la cantidad de material filtrante, mayor será la eficiencia.

Antecedentes regionales

Alvarez (2022). Evaluó la reducción de concentraciones fisicoquímicas y microbiológicas de los residuos líquidos del matadero de la ciudad de Rioja mediante filtros de material orgánico. Desarrolló cuatro tratamientos: control o testigo (T0); 40 cm de aserrín (As) + 10 cm de cascarilla de arroz (CA) + 10 cm de bagazo de caña de azúcar (BCA) (T1); 20 cm de As + 20 cm de CA + 20 cm de BCA (T2); y, 10 cm de As, 10 cm de CA y 40 cm de BCA (T3); para evaluar la eficiencia realizó 3 muestreos cada 20 días. Encontró que las concentraciones del tratamiento control variaron entre 754,5 y 2 925,8 mg/L para DBO₅ y entre 1 109,7 y 4 305,0 mg/L para DQO, además, encontró mayor eficiencia en la reducción de DBO₅ (81,80 %) y DQO (82,38 %) utilizando T2.

Panduro (2017). Con un biorreactor anaeróbico tipo "UASB" a escala piloto trató los efluentes del matadero de Moyobamba. Realizó el diseño del biorreactor considerando una carga de DQO de 5 000,0 mg/L y un TRH de 0,8 días, además, desarrolló 3 muestreos cada 30 días. Determinó que las concentraciones de DBO₅ variaron en el afluente entre 1 282,0 y 2 796,0 mg/L y en el efluente entre 243,0 y 757,0 mg/L, en cambio, las concentraciones de DQO oscilaron en el afluente entre 2 205,0 y 9 092, 0 mg/L y en el efluente entre 420,9 y 1 616,0 mg/L, además, determinó valores de remoción entre 61,54 y 91,31 % con una media de 73,91 para DBO₅ y, entre 59,58 y 86,03 % con una media de 75,98 % para DQO.

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. Camal municipal

Los mataderos transforman la etapa productiva primaria (animal vivo) en productos de menor o mayor nivel de transformación (carne) y se ubican en el intermedio de la cadena de distribución y producción. De esta forma esta industria se puede catalogar como un área de control idóneo desde la perspectiva sanitaria y un enclave privilegiado, al momento de clarificar y organizar la producción, debido a que facilita la clasificación de la materia prima según su calidad y de acuerdo a la elaboración a la cual se destina (González et al., 2010).

De acuerdo a Alonge (1991), un camal municipal es un local aprobado y registrado por autoridades de control para el sacrificio higiénico y la inspección de animales, el

procesamiento, la conservación efectiva y el almacenamiento de productos cárnicos para el consumo humano.

Por su parte, Moreno (2006) manifiesta que la misión de los mataderos es: a) defensa de la salud pública o defensa sanitaria; b) lucha contra aquellas enfermedades que perjudican a animales productores de carne y defensa de la sanidad animal; c) industrial; d) comercial; y, e) formación de personas expertas sobre manipulación higiénica de las carnes.

2.2.2. Aguas residuales

Se puede conceptualizar como agua residual a aquel efluente proveniente del uso de agua natural o de la red para determinados usos. El proceso de eliminación de agua residuales es conocido como vertido (Osorio et al., 2010).

Para el Organismo de Evaluación y Fiscalización ambiental (OEFA, 2014), las aguas residuales representan a los efluentes que modificaron sus propiedades iniciales debido a actividades antropogénicas y requieren tratarse de manera previa antes de reusarse o verterse en fuentes hídricas o sistemas de alcantarillado.

a. Aguas residuales de camal municipal

Los restos líquidos generados en un camal municipal son efluentes con contenido de proteínas, grasas, pelos, rumen y sangre. Las aguas residuales generadas por estas industrias tienen DBO, carga orgánica y nutrientes (sangre) en niveles medio-alto, con concentraciones importantes de sólidos en suspensión (rumen), aceites y grasas, como también residuos líquidos generados a partir del lavado de carcazas, operación de escaldado, limpieza de instalaciones y equipos (Salas y Condorhuamán, 2008).

Moreno (2006) manifiesta que, para verter las aguas residuales de industrias cárnicas o camales municipales en el sistema de alcantarillado público y, particularmente, en fuentes hídricas e inclusive destinado a usos agrícolas, los efluentes deben cumplir con un conjunto de exigencias en lo que respecta a la carga contaminante.

b. Características de las aguas residuales de camales municipales

Los procedimientos y operaciones en los mataderos se localizan en el área donde se desarrollan el sacrificio de los animales. Los residuos producidos en esta área presentan un color pardo rojizo, proporciones considerables de materia en suspensión y alta DBO. La sangre se descompone fácilmente debido a que contiene mucho nitrógeno. Asimismo, los residuos tienen porciones variables de suciedad, pelos y estiércol. Los análisis desarrollados en diferentes muestras de vertidos de áreas de sacrificio de un matadero de tipo promedio mostraron una DBO₅ media de 2 000,0 ppm (2 000,0 mg/L)

y un valor total para nitrógeno de 500,0 ppm de acuerdo a un caudal de 18,925 l/día (Nemerow y Dasgupta, 1998).

En la Tabla 1 se presenta las concentraciones de efluentes según procesos o procedimientos individuales de una planta de preparación de carnes y en la Tabla 2 se muestra las características del vertimiento que resulta de un matadero con procesos de elaboración y enlatado (Nemerow y Dasgupta, 1998).

Tabla 1

Características de las aguas residuales de un matadero según procesos

Procedencia	pH	DBO ₅ (ppm)	Nitrógeno orgánico (ppm)	Sólidos en suspensión (ppm)
Subproductos	6,7	2 200	186	1 380
Zona de tocino	7,3	180	84	180
Zona de embutidos	7,3	800	136	560
Lavado de intestinos	6,0	13 200	643	15 120
Cortado de carne	7,4	520	33	610
Zona de escaldar	9,0	4 600	1 290	8 360
Sangre y agua del tanque	9,0	32 000	5 400	3 690
Zona de sacrificio	6,6	825	134	220

Nota. Tomado y adaptado de Nemerow y Dasgupta (1998)

Tabla 2

Características de las aguas residuales de un matadero con plantas de elaboración y enlatado

Clase de animales	Volumen por animal (l)	DBO ₅ (ppm)	Nitrógeno orgánico (ppm)	Sólidos en suspensión (ppm)	Población equivalente por animal
Mezcla	3 770	635	113	457	30,7
Ganado porcino	2 089	1 030		633	28,6
Ganado vacuno	9 285	448		467	49,2
Mezcla	1 359	929	324	2 240	40,2
Ganado porcino	541	717	122	1 045	7,5
Ganado vacuno	1 495	820	154	996	19,6

Nota. Tomado y adaptado de Nemerow y Dasgupta (1998)

c. El problema de las aguas residuales de camales municipales

Entre los fenómenos negativos que se presentan en los camales municipales se tiene: inexistencia de inspecciones sanitarias ante y post mortem, mala aplicación y desconocimiento de técnicas de beneficio, mala calidad de las aguas empleadas en los procesos, ausencia de sistemas para manejar y aprovechar subproductos, deficiencias en el control, manejo y entrenamiento del personal de labores. Además, estas industrias carecen de instalaciones adecuadas para el vertimiento de restos sólidos y líquidos con alta carga contaminante en zonas comunitarias o próximos a áreas residenciales,

quebradas y ríos sin previos tratamientos que permitan mitigar impactos al ambiente y comunidad (Martínez, 2006).

La mayoría de camales municipales generan enormes complicaciones ambientales e higiénicas, debido a que carecen de instalaciones básicas como suministro de agua, suelos adecuados, transporte, ventilación, etc. Además, estas industrias no cuentan con condiciones sanitarias eficientes, lo que supone graves peligros para el ambiente y la salud pública debido al vertimiento discreto y elevada contaminación de los efluentes. También ha aumentado la matanza no autorizada que incrementó los problemas asociados como eliminación de residuos de forma peligrosa, contaminación del suelo, aire y agua, olores horribles y hedor, et., todo esto hace que la vida sea deplorable para las personas residentes en inmediaciones y en zonas alejadas (Jamal y Ajmal, 2019).

2.2.3. Carga orgánica en aguas residuales

Generalmente, la concentración de carga orgánica en las aguas residuales se mide a través del contenido de carbono orgánico total (COT), carbono orgánico disuelto (COD), demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) (Yang et al., 2014). La relación entre la DBO₅/DQO indican la biodegradabilidad de los efluentes residuales (Rojas, 2002).

Entre los parámetros de mayor preocupación para la salud humana y para el ambiente se encuentran los componentes de materia orgánica procedentes de efluentes residuales. Esta carga orgánica debe ser caracterizado de forma cuidadosa con el objetivo de encontrar métodos de tratamiento óptimos para reutilizar el agua (Shon et al., 2007).

En los cursos de agua la materia orgánica necesita de oxígeno para su degradación. Las elevadas concentraciones de contenido orgánico promueven el desarrollo de hongos y bacterias. El oxígeno empleado para oxidar el material orgánico, consume el oxígeno utilizado para el crecimiento de flora y fauna acuática. Los efectos más importantes que puede ocasionar a los ecosistemas son el cambio en la calidad hídrica y el posible incremento del pH, generando de esta manera la desaparición de plantas y peces (Raffo y Ruiz, 2014).

a. Demanda química de oxígeno (DQO)

La DQO es un parámetro general para medir la contaminación orgánica y describe la proporción de oxígeno requerido en la oxidación de toda la materia orgánica e inorgánica presente en el agua, además, da a conocer la fracción de DQO que se puede oxidar biológicamente por bacterias (Sasse, 1998).

b. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Parámetro que establece la proporción de oxígeno disuelto que requieren los microorganismos para llevar a cabo la oxidación aerobia del material orgánico presente en el agua. Esta oxidación es un procedimiento muy lento y se puede decir que la materia orgánica, para que se oxide de forma completa requiere de una infinidad de tiempo. A los 5 días se determina la DBO₅, periodo donde se contempló la oxidación entre un 60 a 70 % (Martos, 2004).

2.2.4. Sistema de tratamiento de aguas residuales

El nivel de tratamiento exigido las aguas residuales dependen principalmente de los límites de descarga para los efluentes (Ramalho, 1996). Se debe remover concentraciones de parámetros como: sólidos suspendidos, nitrógeno, fósforo, DBO₅, patógenos y otras sustancias más dependiendo de las características del efluente a tratar, por ejemplo, remoción de metales pesados y de sustancias inorgánicas, además, según fines y necesidades propuestas se considera la complejidad de los sistemas de tratamiento (Fuquene, 2011).

a. Sistemas de tratamiento de aguas residuales de mataderos

Es recomendable que antes de tratar las aguas residuales de un camal municipal y plantas procesadores de carne se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones: extracción de sustancias reutilizables y de aquellas que obstruyen tuberías; descarga de intestinos y vísceras al alcantarillado luego de ser incineradas, trituradas y prensadas; aguas residuales con temperaturas superiores a los 30 °C se deben enfriar antes de ser vertidas; y, tratar las aguas residuales en sistemas independientes cuando existen limitaciones técnicas y económicas que impidan hacer conexiones al alcantarillado. Los procesos de tratamiento de aguas residuales que se pueden utilizar se clasifican en tres distintas categorías: primario (tratamientos químicos y físicos), secundario (tratamientos biológicos aeróbicos o anaeróbicos) y la combinación de los dos tratamientos secundarios (Muñoz, 2005).

De acuerdo a las operaciones internas en los mataderos, las instalaciones pueden contar con procesos de pretratamiento antes de liberar los efluentes hacia las plantas de tratamiento. En la Figura 1 se presenta un proceso de tratamiento común para las

aguas residuales de mataderos. Los métodos de tratamiento secundario incluyen a procesos biológicos, físicos, químicos o de oxidación avanzada utilizados de manera independiente o combinada (Ng et al., 2022).

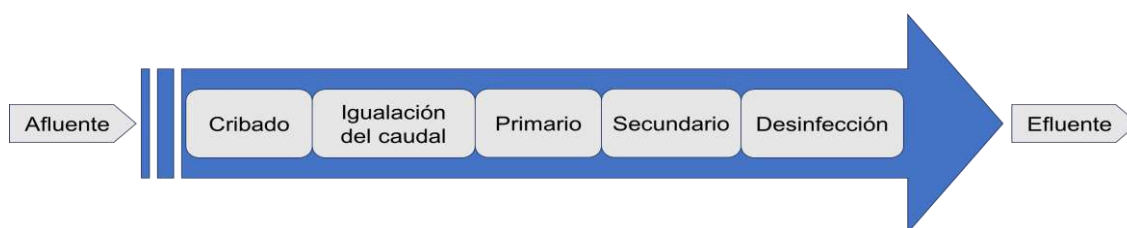


Figura 1

Proceso de tratamiento común de aguas residuales de mataderos.

Nota. Tomado y adaptado de Ng et al. (2022)

2.2.5. Piedra pómez

La piedra pómez es una roca volcánica que presenta muy baja densidad y se encuentra formada por cristales volcánicos y se presenta repleta de un conjunto de burbujas pequeñas. Los cristales pueden ser de naturaleza diferente: basáltico, andesítico, fonolítico o riolítico (George, 2004).

La piedra pómez se encuentra conformada casi en su totalidad por vidrio volcánico, esto denota en la roca una composición química félsica (SiO_2 en más de 63 %). Además, esta roca ígnea volcánica presenta elevada porosidad, propiedades puzolánicas, es eficaz aislante térmico, friable y bajas densidades, que oscilan entre 0,4 a 0,9 g/cm^3 (Ferro y Montalvo, 2021).

a. Características físicas y químicas de la piedra pómez

En la Tabla 3 se muestran las principales características físicas y químicas de la piedra pómez, la cual está compuesta por constituyentes primarios como SiO_2 , Al_2O_3 y Na_2O en un 87,78 % (Ali et al., 2023).

Tabla 3

Características físicas y químicas de la piedra pómez

Composición física		Composición química	
Constituyentes	Valor	Constituyentes	%
Superficie BET (S_{BET})	32,0 m^2/g	TiO_2	0,14
Volumen de los poros (V_p)	0,09 cm^3/g	MnO	0,219
Densidad aparente	0,85 g/cm^3	MgO	1,09
Humedad	1,0 %	CaO	1,96
Radio del poro cilíndrico (r_p)	2,0 °A	Fe_2O_3	2,58
pH	5,0	LOI	2,61
		K_2O	3,62
		Na_2O	4,89
		Al_2O_3	14,59
		SiO_2	68,3

Nota. Tomado y adaptado de Ali et al. (2023)

b. Usos de la piedra pómez

A pesar de que la piedra pómez es friable, es decir, se puede desmenuzar de forma fácil, además, sus partículas son tan duras que pueden rayar el acero y vidrio, de esta forma esta roca puede actuar como lima para pulir las piedras y los metales, pudiendo ser utilizado por vidrieros, doradores, sombrereros y ebanistas. Asimismo, puede ser utilizado como lima finísima con el fin de hacer desaparecer los callos y callosidades de la piel. Realizando la frotación uno con otro pedazo se obtiene un polvo impalpable, que los miniaturistas pueden utilizar para bruñir y limpiar las hojas de marfil (Sastre, 1886).

La piedra pómez se ha probado y utilizado ampliamente en el tratamiento del agua en forma de adsorbente, medio de soporte y lecho filtrante, por lo cual este material es un candidato adecuado para utilizarse como adsorbente de carga contaminante en aguas residuales, además, se encuentra de manera fácil y a bajo precio en la naturaleza o en algunos tipos de residuos (Kalbhor et al., 2023).

Se puede utilizar piedra pómez como biofiltro para tratar efluentes agroindustriales al facilitar la remoción de materia orgánica en corrientes de flujo. De esta forma, los biofiltros de piedra pómez contribuyen a un mejor ambiente y con ello las agroindustrias pueden ser sostenibles, representando de esta manera a una alternativa clara y adecuada para tratar aguas residuales (Izquierdo, 2016).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito y condiciones de la investigación

3.1.1. Contexto de la investigación

a. Ubicación geográfica

El área de estudio se ubica en el Jr. Patron Santiago, aproximadamente a 400,0 m de la carretera que conduce al distrito de Yantalo. Limita por el norte con un campo deportivo, por el oeste con una calle sin nombre y, por el sur y este con propiedad de terceros. Se ubica en las coordenadas UTM (WGS84, Z 18S): X: 279354; Y: 9333649, a una altitud aproximada de 864 m.s.n.m. El sistema de filtro con piedra pómez se ubicó en las coordenadas UTM (WGS84, Z 18S): X: 279327; Y: 9333630 (ver Anexo 1).

b. Ubicación política

El área de estudio se ubica en el distrito de Moyobamba, provincia del mismo nombre, departamento de San Martín.

3.1.2. Periodo de ejecución

El periodo de ejecución del presente estudio fue de 8 meses desde el 26 – 12 – 2019 al 25 – 08 – 2020, con un periodo de ampliación de un año desde el 26 – 08 – 2020 al 26 – 08 – 2021.

3.1.3. Autorizaciones y permisos

Se presentaron solicitudes a fin de obtener el permiso correspondiente para el ingreso al camal municipal de Moyobamba (ver Anexo 2) y, para el acceso, uso de equipos y materiales en el laboratorio (ver Anexo 3) para el análisis de DBO₅ y DQO del agua residual cruda y tratada del camal municipal de Moyobamba.

3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad

Se consideraron protocolos de seguridad y salud en el trabajo para la implementación de los filtros de piedra pómez en el área de estudio. Asimismo, se utilizó la indumentaria adecuada para desarrollar el monitoreo del agua residual tratada y no tratada del camal municipal y se tomó en cuenta la RJ. N° 010-2016 que establece el protocolo de monitoreo de agua.

Todos los materiales de un solo uso fueron dispuestos en centros de acopio temporales y luego se condujeron a un lugar apropiado para su recojo por el carro de baja policía.

3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales

El desarrollo del presente estudio consideró y respetó principios éticos generales de investigación como respeto a las personas y ecosistema, justicia, confidencialidad, transparencia, integridad y beneficencia.

3.2. Sistema de variables

3.2.1. Variables principales

- Variable independiente : Filtro de piedra pómez.
- Variable dependiente : DBO₅ y DQO del agua residual del camal municipal.

Tabla 4

Descripción de variables por objetivo específico

Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Objetivo específico Nº 1: Caracterizar las concentraciones de DBO ₅ y DQO del agua residual cruda del camal municipal de Moyobamba.			
Agua residual cruda del camal municipal	DBO ₅ . DQO.	Recolección directa en campo mediante frascos de plástico, equipo multiparámetro H198193 y DR-900.	mg/L. mg/L.
Objetivo específico Nº 2: Caracterizar las concentraciones de DBO ₅ y DQO del agua residual tratada del camal municipal de Moyobamba mediante filtros de piedra pómez.			
Agua residual tratada del camal municipal	DBO ₅ . DQO.	Recolección directa en campo mediante frascos de plástico, equipo multiparámetro H198193 y DR-900.	mg/L. mg/L.
Objetivo específico Nº 3: Determinar la eficiencia del filtro de piedra pómez en la remoción de la DBO ₅ y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba.			
Eficiencia del filtro de piedra pómez	Eficiencia del filtro de 5 mm de piedra pómez.	Procedimiento indirecto mediante estadística descriptiva con resultados de DBO ₅ y DQO obtenidos en laboratorio.	%.
	Eficiencia del filtro de 10 mm de piedra pómez.		%.
	Eficiencia del filtro de 15 mm de piedra pómez.		%.
Objetivo general: Evaluar la remoción de la DBO ₅ y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba mediante filtros de piedra pómez.			
Remoción de DBO ₅ y DQO del agua residual del camal municipal	Remoción de concentraciones. Filtro de piedra pómez óptima.	Procedimiento indirecto mediante estadística inferencial con resultados de DBO ₅ y DQO obtenidos en laboratorio.	- H ₀ : p valor > 0,05; H _i : p valor < 0,05.

3.3. Procedimientos de la investigación

Tipo de investigación:

La investigación fue de tipo “aplicada”, debido a que se tuvo como finalidad remover las concentraciones de DBO_5 y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba, utilizando tres tipos de filtros de piedra pómez de diferente diámetro. De acuerdo a Sánchez y Reyes (2006) las investigaciones aplicadas tienen como objetivo solucionar problemas prácticos de forma inmediata y la intención de aportar al conocimiento teórico es secundario.

Nivel de investigación:

El estudio fue de nivel “explicativo-experimental”, debido a que se experimentó la remoción de DBO_5 y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba con diferentes diámetros de piedra pómez como sistema de filtro y se explicó aquellas posibles causas que se derivaron del estudio. La investigación experimental se realiza posterior al conocimiento de las propiedades de los fenómenos o hechos estudiados (variables) y las causas que determinaron tales y cuales propiedades (Caballero, 2009). En tanto, la investigación explicativa tiene como fin buscar el porqué de los hechos o fenómenos estableciendo asociaciones causa-efecto (Sánchez y Reyes, 2006).

Población:

Se consideró como población al caudal del agua residual cruda del camal municipal que fue tratada diariamente por los filtros de piedra pómez, cuyo valor fue 0,763 L/min.

Muestra:

Se consideró como muestra al caudal de agua residual del camal municipal tratado en cada filtro de piedra pómez, este valor fue 0,254 L/min. Además, se consideró como muestra al total de agua residual tratada que se recolectó en los 8 muestreos y que, considerando los 3 filtros utilizados y la capacidad de los frascos para cada parámetro sumó un total de 26,4 litros.

Diseño experimental o muestral

El presente estudio fue de “diseño preexperimental” con tres grupos experimentales, donde se analizó la remoción de DBO_5 y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba con tres filtros de piedra pómez de diferentes diámetros ($X_1 = 5$ mm, $X_2 = 10$ mm y $X_3 = 15$ mm). De acuerdo a Ramos (2021) en este diseño de estudio la variable independiente tiene un nivel conocido como “grupo experimental”, lo cual es parte de la intervención que los investigadores realizan, en cambio, la variable dependiente se mide utilizando un instrumento a través de dos momentos (pre y post test). El esquema del presente estudio fue el siguiente:

GE1:	O1	X1	O2
GE2:	O1	X2	O3
GE3:	O1	X3	O4

Donde:

GE: Grupo experimental.

O1: Medición inicial de DBO₅ y DQO del agua residual cruda del camal municipal.

O2, O3 y O4: Medición final de DBO₅ y DQO del agua residual tratada del camal municipal.

X1, X2 y X3: Filtros de piedra pómez con diámetros de 5, 10 y 15 mm.

En la siguiente figura se presenta un esquema del diseño de investigación:

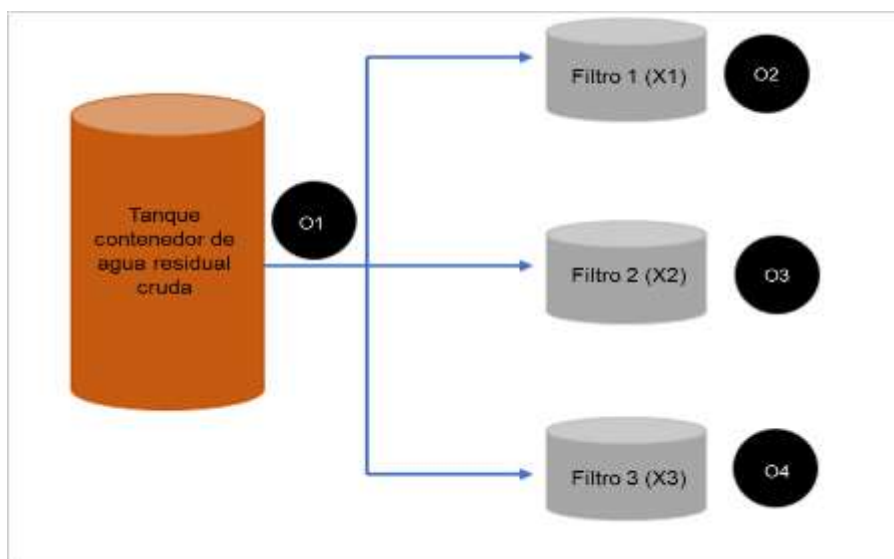


Figura 2

Esquema del diseño de investigación.

Análisis estadístico

Se utilizó la estadística descriptiva para procesar y analizar los resultados de DBO₅ y DQO obtenidos en el laboratorio. Asimismo, se utilizó la estadística inferencial previo análisis del supuesto de normalidad. La evaluación de la influencia de piedra pómez en la remoción de DBO₅ y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba se realizó con la prueba T de muestras emparejadas. Para evaluar diferencias significativas en la remoción según filtros de piedra pómez se utilizó el estadístico de ANOVA y para determinar el diámetro de piedra pómez óptimo se desarrolló la prueba de Tukey. Las pruebas estadísticas se desarrollaron con un nivel de confianza del 95 % con el software estadístico IBM SPSS Statistics 27.

3.3.1. Caracterización de las concentraciones de DBO₅ y DQO del agua residual cruda del camal municipal de Moyobamba

a. Actividades y tareas

- Muestreo de agua residual cruda.
- Análisis de concentraciones de DBO₅ y DQO del agua residual cruda.
- Comparación de resultados con los valores máximos admisibles (VMA) y límites máximos permisibles (LMP).
- Procesamiento y análisis de resultados.

b. Descripción de los procedimientos

Muestreo de agua residual cruda

- Se realizó el muestreo de agua residual cruda antes de su ingreso a los sistemas de filtro de piedra pómez (Figura 2). Se tomaron ocho muestras con frecuencia semanal durante un periodo de dos meses (Tabla 5). Para las muestras del parámetro DBO₅ se utilizaron frascos de plástico de 1 000 mL y para la DQO frascos de plástico de 100 mL.

Tabla 5

Fechas de muestreo y análisis de DBO₅ y DQO en el agua residual cruda y tratada

Fechas	Toma de muestra	Análisis de muestras	
		DQO	DBO ₅
23/08/2023	X	X	
28/08/2023			X
30/08/2023	X	X	
04/09/2023			X
06/09/2023	X	X	
11/09/2023			X
13/09/2023	X	X	
18/09/2023			X
20/09/2023	X	X	
25/09/2023			X
26/09/2023	X	X	
02/10/2023			X
04/10/2023	X	X	
09/10/2023			X
11/10/2023	X	X	
16/10/2023			X

- Para el muestreo se consideró criterios establecidos en la Resolución Ministerial N.º 273-2013-Vivienda (2013) “Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales – PTAR”. Se utilizaron frascos con cierre hermético y limpios. En el caso de DBO₅ se llenó el frasco en su totalidad evitando la formación de burbujas. Se añadió H₂SO₄ como preservante de las muestras de DQO. Luego se procedió a etiquetar y rotular cada muestra y

después se realizó la conservación en una caja de almacenamiento térmica y finalmente se trasladaron al laboratorio de ingeniería sanitaria de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín.

Análisis de concentraciones de DBO₅ y DQO en el agua residual cruda

- Las concentraciones de DBO₅ y DQO se analizaron en las instalaciones del laboratorio de ingeniería sanitaria de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín en compañía y bajo la asesoría del asesor. Se utilizó un multiparámetro H198193 de marca HANNA para analizar el parámetro DBO₅ después de 5 días de la toma de muestra y un multiparámetro DR-900 marca HACH para analizar la DQO el mismo día que se recolectaron las muestras (Tabla 5).

Comparación de resultados con los valores máximos admisibles (VMA) y límites máximos permisibles (LMP)

- A fin de evaluar si el camal municipal vierte aguas residuales con carga contaminante fuera de los rangos aceptables establecidos por la normativa peruana, se realizó una comparación de los resultados con los VMA establecidos en el Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA (2019). El valor admisible para DBO₅ fue 500,0 mg/L y para DQO fue 1 000,0 mg/L.

En el caso de LMP se consideró los valores establecidos para el vertimiento de efluentes líquidos de actividades agroindustriales como planta de beneficio y camales (Decreto Supremo N.° 2009-MINAM, 2009). El LMP considerado para DBO₅ fue 250,0 mg/L y para DQO fue 500,0 mg/L.

c. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para procesar y analizar las concentraciones de DBO₅ y DQO del agua residual cruda obtenidos del laboratorio se utilizó la estadística descriptiva con el programa Excel.

3.3.2. Caracterización de las concentraciones de DBO₅ y DQO del agua residual tratada del camal municipal de Moyobamba mediante filtros de piedra pómez

a. Actividades y tareas

- Diseño e implementación de sistemas de filtro de piedra pómez.
- Muestreo y análisis de concentraciones de DBO₅ y DQO en el agua residual tratada.
- Comparación de resultados con los VMA y LMP.
- Procesamiento y análisis de datos.

b. Descripción de los procedimientos

Diseño e implementación de sistemas de filtro de piedra pómez

- Para diseñar el sistema de filtro se consideraron tres factores. El primero fue la cantidad de agua residual empleada para el estudio, para el cual se consideró las horas de jornada laboral y la irregularidad del caudal de aguas residuales generadas en el camal municipal durante el transcurso del día, por tal motivo se consideró por conveniencia almacenar el agua residual en un tanque de 1 100 litros.

- El segundo factor que se consideró fue el caudal de ingreso a los filtros. Se tuvo en cuenta que los 1 100 litros del tanque de almacenamiento se distribuyan diariamente de forma equitativa en los tres filtros, por tal motivo se asignó como caudal de distribución 0,763 L/min y el caudal de ingreso a cada filtro fue de 0,254 L/min. Para validar los caudales se realizaron mediciones mediante el método volumétrico en el tanque regulador de presión y antes del ingreso a los filtros.

- El tercer factor considerado fue el tiempo de retención hidráulica (TRH). Para determinar este valor se relacionó el volumen del material utilizado y del caudal de ingreso a los filtros. El volumen de piedra pómez en cada filtro fue 16 litros, debido a que solo se ocupó el 80 % de un recipiente de 20 litros y el caudal fue 0,254 L/min, estos valores permitieron estimar un TRH de 1h 03´ 39” para cada filtro.

- Se acondicionó el terreno desarrollando el deshierbe y nivelación donde se instaló el sistema. Se fijó el punto de abastecimiento de aguas residuales en el pozo de sedimentación de la planta de tratamiento del camal municipal. Debido a la presencia de sólidos, se adaptó la captación del agua residual a un tanque de almacenamiento con capacidad de 1 100 litros, colocando una malla de nylon de ¼” para funcionar como rejilla y evitar el ingreso de sólidos. El tanque se ubicó sobre una tarima metálica a 1,5 m del nivel del suelo y fue abastecido por tuberías de PVC de 1” de diámetro mediante un proceso de bombeo con una electrobomba de 0,5 HP. El efluente del tanque de almacenamiento pasó a un recipiente de polietileno de 50 litros acondicionado a un sistema de boya para tanques de agua que cumplió la función de regulador de carga de agua constante. Se utilizaron tuberías PVC de ½” para conectar los filtros y válvulas para controlar el caudal (Figura 3).

- Para el caso de los filtros se utilizaron baldes de plástico transparente de 38,5 cm de altura, 34,1 cm de diámetro y capacidad de 20 litros. Se consideraron tres diámetros de piedra pómez (5, 10 y 15 mm) que previamente pasaron por un proceso de análisis granulométrico y luego se colocó el material en cada filtro en un 80 % de la capacidad de los baldes. Las aguas residuales filtradas fueron conducidas hacia un pozo a través de una tubería PVC de 4”.

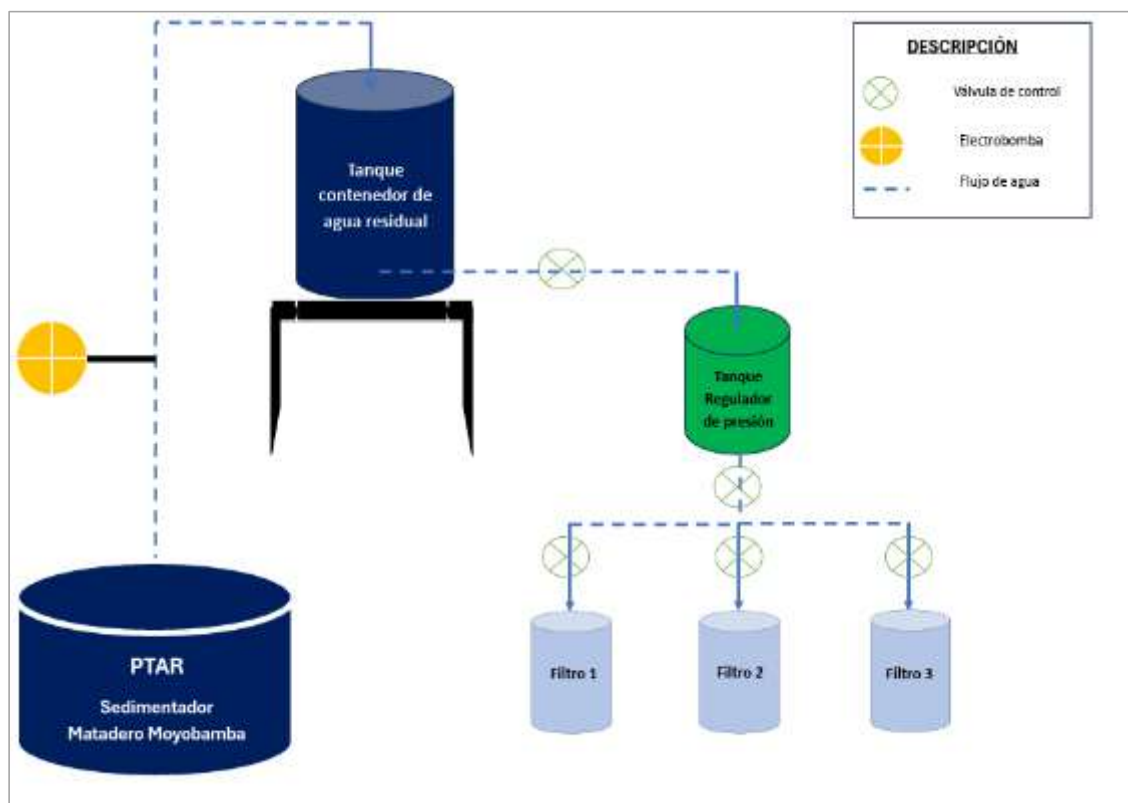


Figura 3

Diseño del sistema piloto de filtros con piedra pómez.

Muestreo y análisis de concentraciones de DBO₅ y DQO en el agua residual tratada

- De igual forma para muestrear el agua residual tratada según las fechas detalladas en la Tabla 5, se consideró el “Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales – PTAR”. Se tomó ocho muestras con frecuencia semanal durante un periodo de dos meses y se consideraron los mismos criterios utilizados para el muestreo de agua residual cruda.

- Asimismo, para analizar el agua residual tratada de acuerdo a las fechas detalladas en la Tabla 5, se desarrollaron los mismos métodos utilizados para el análisis del agua residual cruda en el laboratorio de ingeniería sanitaria de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín bajo la compañía del asesor del proyecto de tesis.

Comparación de resultados con los valores máximos admisibles (VMA)

- De igual manera, se compararon los resultados del agua residual tratada con los VMA establecidos en el Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA (2019). El valor admisible para DBO₅ fue 500,0 mg/L y para DQO fue 1 000,0 mg/L. En el caso de LMP se consideró los valores establecidos para el vertimiento de efluentes líquidos de actividades agroindustriales como planta de beneficio y camales (Decreto Supremo N.º 2009-MINAM, 2009), el LMP considerado para DBO₅ fue 250,0 mg/L y para DQO fue 500,0 mg/L.

c. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para procesar y analizar las concentraciones de DBO₅ y DQO del agua residual cruda obtenidos del laboratorio se utilizó la estadística descriptiva con el programa Excel.

3.3.3. Determinación de la eficiencia del filtro de piedra pómez en la remoción de la DBO₅ y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba

a. Actividades y tareas

- Sistematización de datos.
- Estimación de la eficiencia del filtro de piedra pómez.
- Procesamiento y análisis de datos.

b. Descripción de los procedimientos

Sistematización de datos

- Los datos obtenidos en el laboratorio se sistematizaron considerando cada filtro de piedra pómez, el parámetro y número de muestreo realizado. Esta actividad permitió facilitar la estimación de la eficiencia de los filtros.

Estimación de la eficiencia del filtro de piedra pómez

- Para estimar la eficiencia en la remoción de concentraciones de DBO₅ y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba, se utilizó la siguiente ecuación (Mejía-Lopez et al., 2017):

$$\% \text{ eficiencia} = \frac{Ca - Ce}{Ca} \times 100$$

Donde: Ca representa a la concentración en el afluente y Ce representa a la concentración en el efluente.

- Los porcentajes de eficiencia se estimaron para cada filtro. La concentración en el afluente fue la misma para los tres filtros, debido a que se recolectó la muestra antes de su distribución.

c. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para procesar y analizar las eficiencias en la remoción de DBO₅ y DQO del agua residual del camal municipal se utilizó la estadística descriptiva con el programa Excel.

3.3.4. Evaluación de la remoción de la DBO₅ y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba mediante filtros de piedra pómez

a. Actividades y tareas

- Estimación de la mejor prueba estadística para el conjunto de datos.

- Desarrollo de prueba estadística.
- Procesamiento y análisis de datos.

b. Descripción de los procedimientos

Estimación de la mejor prueba estadística para el conjunto de datos

- Se realizó el análisis de supuesto de normalidad del conjunto de datos con el fin de determinar la mejor prueba estadística para evaluar la influencia del filtro de piedra pómez en la remoción de DBO₅ y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba, y para evaluar diferencias significativas en la remoción según filtros de piedra pómez y el diámetro óptimo en la eficiencia.

- En todos los casos se determinó un p-valor mayor a 0,05, por lo cual se utilizó para todos los casos una prueba paramétrica. Para evaluar la influencia del filtro de piedra pómez en la remoción de DBO₅ y DQO del agua residual del camal municipal se utilizó la prueba T de muestras emparejadas. Para evaluar diferencias significativas en la remoción según filtros de piedra pómez se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) y para estimar el diámetro de piedra pómez óptimo se desarrolló la prueba Tukey. Las pruebas estadísticas se desarrollaron con un nivel de confianza del 95 % con el software estadístico IBM SPSS Statistics 27.

Desarrollo de prueba estadística

- Con la prueba T de muestras emparejadas se buscó validar la hipótesis general:

H_i: Existe influencia significativa en la remoción de DBO₅ y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba mediante un filtro de piedra pómez.

H₀: No existe influencia significativa en la remoción de DBO₅ y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba mediante un filtro de piedra pómez.

- Con la prueba ANOVA se buscó validar la siguiente hipótesis:

H_i: Existe diferencias significativas en la remoción de DBO₅ y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba según filtro de piedra pómez.

H₀: No existe diferencias significativas en la remoción de DBO₅ y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba según filtro de piedra pómez.

- En ambos casos la regla de decisión se sustentó en: aceptar H₀ si p-valor > 0,05 y por lo tanto rechazar H_i.

c. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se desarrolló la prueba T de muestras emparejadas para evaluar la influencia del filtro de piedra pómez en la remoción de DBO_5 y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba. La prueba ANOVA se utilizó para evaluar diferencias significativas en la remoción según filtros de piedra pómez y la prueba de Tukey para determinar el diámetro de piedra pómez óptimo en la eficiencia de remoción. Las pruebas estadísticas se desarrollaron con un nivel de confianza del 95 % con el software estadístico IBM SPSS Statistics 27.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Concentraciones de DBO₅ y DQO del agua residual cruda del camal municipal de Moyobamba

A continuación, se presentan los resultados del análisis de muestras de DBO₅ y DQO en el agua residual cruda del camal municipal de Moyobamba durante un periodo de 8 semanas.

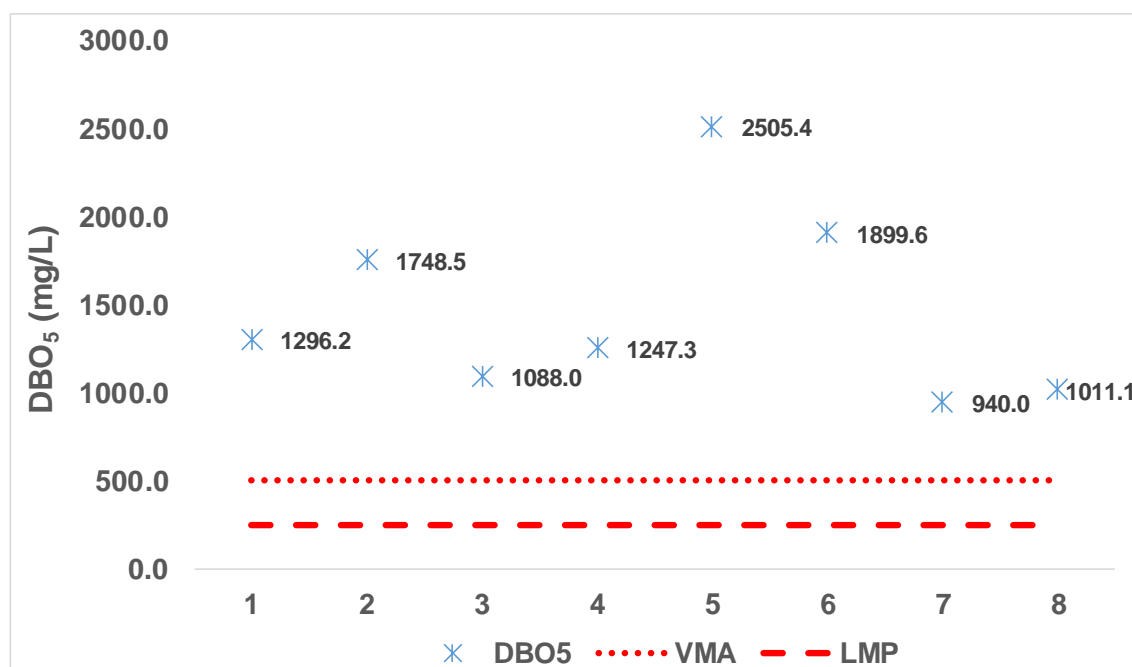


Figura 4

Concentraciones de DBO₅ del agua residual cruda del camal municipal de Moyobamba y comparación con los VMA y LMP.

Se observa que el agua residual cruda del camal municipal de Moyobamba presentó concentraciones de DBO₅ que variaron entre 940,0 y 2 505,4 mg/L con una media de 1 467,0 mg/L durante 8 muestreos. Además, se evidencia que la totalidad de valores encontrados excedieron los VMA para vertimiento de aguas residuales no domésticas en el alcantarillado sanitario y los LMP para el vertimiento de efluentes líquidos de actividades agroindustriales como planta de beneficio y camales.

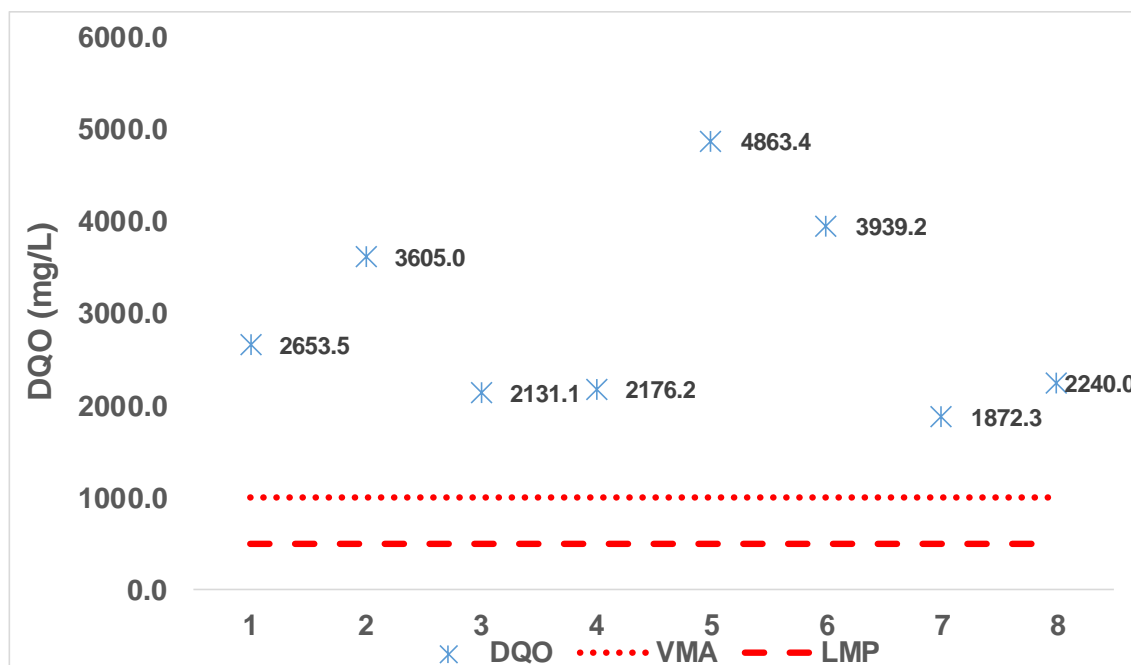


Figura 5

Concentraciones de DQO del agua residual cruda del camal municipal de Moyobamba y comparación con los VMA y LMP.

Se observa también que el agua residual cruda del camal municipal de Moyobamba presentó concentraciones de DQO que variaron entre 1 872,3 y 4 863,4 mg/L con una media de 2 935,1 mg/L durante 8 muestreos. Además, también se evidencia que al igual que para DBO₅, el total de valores encontrados para DQO excedieron los VMA para vertimiento de aguas residuales no domésticas en el alcantarillado sanitario y los LMP para el vertimiento de efluentes líquidos de actividades agroindustriales como planta de beneficio y camales.

El agua residual cruda del camal municipal presentó un máximo valor de 2 505,4 mg/L para DBO₅ y 4 863,4 mg/L para DQO. Estos valores máximos se asemejan a lo encontrado por Panduro (2017) que registró 2 796,0 mg/L para DBO₅ en el agua residual cruda del camal municipal de Moyobamba y Alvarez (2022) quien determinó 2 925,8 mg/L para DBO₅ y 4 305,0 mg/L para DQO en el agua residual del camal municipal de Rioja; asimismo, en el ámbito nacional, Vargas (2019) registró 2 950,0 mg/L para DBO₅ y 4 990,0 mg/L para DQO en el agua residual de un centro de beneficio animal de Puno, en cambio, Amasifuen y Morón (2021) determinaron en el agua residual del camal municipal de Moquegua una concentración máxima de 9 547,5 mg/L. La diferencia en las concentraciones se atribuye a la cantidad de animales sacrificados, cantidad de recurso hídrico utilizado en el desarrollo de las actividades y, a la ineficiencia e inexistencia de sistemas de tratamiento de efluentes.

Las concentraciones de DBO_5 y DQO en el agua residual curda del camal municipal de Moyobamba exceden los VMA y LMP. Al respecto las concentraciones de carga orgánica registrados por Alvarez (2022); Amasifuen y Morón (2021); Panduro (2017) y Vargas (2019) en aguas residuales de camales municipales también excedieron valores establecidos en normativas peruanas, asimismo, Vásconez (2018) determinó que las concentraciones de DBO_5 y DQO en las aguas residuales generadas en el “Centro de Faenamiento Ocaña” excedieron los LMP para descarga a sistemas de alcantarillado público de Ecuador. Los resultados encontrados demuestran y afirman que los camales municipales vierten aguas residuales con alta carga orgánica, que según Raffo y Ruiz (2014) dañan al ecosistema por el cambio en la calidad hídrica e incremento de pH, generando así la desaparición de plantas y peces.

4.2. Concentraciones de DBO_5 y DQO del agua residual tratada del camal municipal de Moyobamba mediante filtros de piedra pómez

Luego de implementar los filtros con diferentes diámetros de piedra pómez se muestreo y analizó las concentraciones de DBO_5 y DQO por un periodo de 8 semanas, los resultados se presentan a continuación:

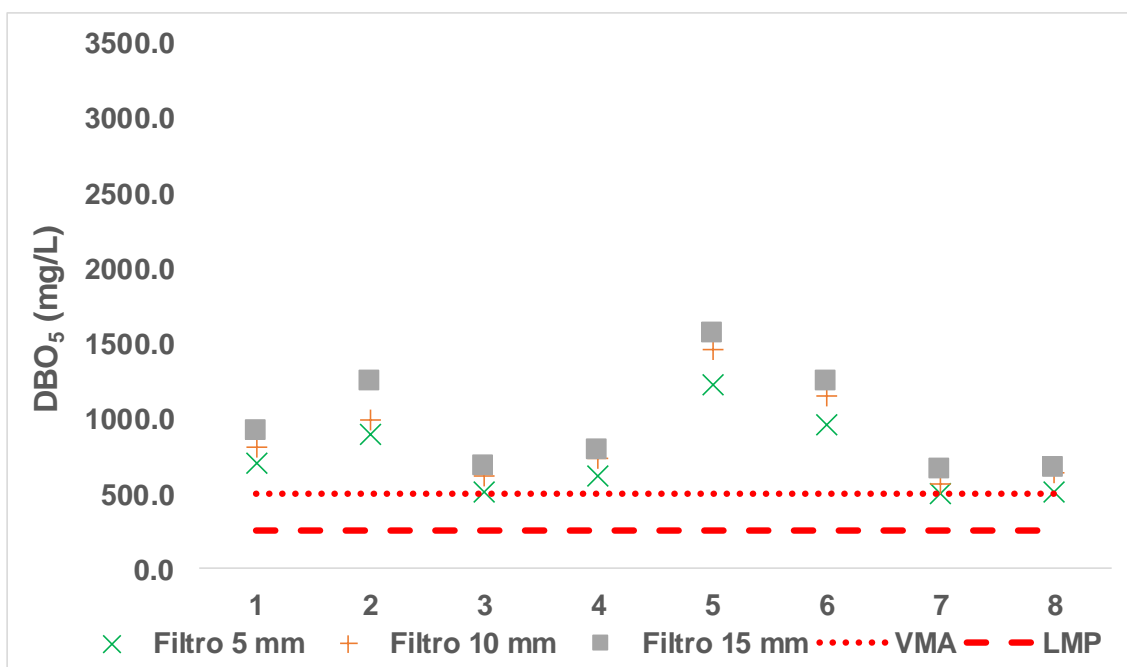


Figura 6

Concentraciones de DBO_5 del agua residual tratada del camal municipal de Moyobamba y comparación con los VMA y LMP.

Se observa que el agua residual tratada con filtro de piedra pómez de 5 mm de diámetro presentó las menores concentraciones de DBO_5 con niveles que oscilaron entre 498,5 y 1 225,1 mg/L con una media de 741,5 mg/L, seguido del filtro de 10 mm donde los valores variaron entre 566,4 y 1 462,0 mg/L con una media de 874,9 mg/L, en cambio,

las mayores concentraciones de DBO_5 se obtuvo con el filtro de 15 mm, con el cual los valores oscilaron entre 660,5 y 1 570,0 mg/L con un promedio de 975,5 mg/L.

Asimismo, se evidencia que entre los tres filtros de piedra pómez utilizados, el 95,8 % de concentraciones de DBO_5 obtenidos excedieron los VMA para vertimiento de aguas residuales no domésticas en el alcantarillado sanitario y los LMP para el vertimiento de efluentes líquidos de actividades agroindustriales como planta de beneficio y camales, solo la concentración del muestreo 7 con el filtro de 5 mm (498,5 mg/L) no excedió los VMA. Además, las concentraciones medias estimadas en cada filtro de piedra pómez excedieron los VMA y LMP para DBO_5 .

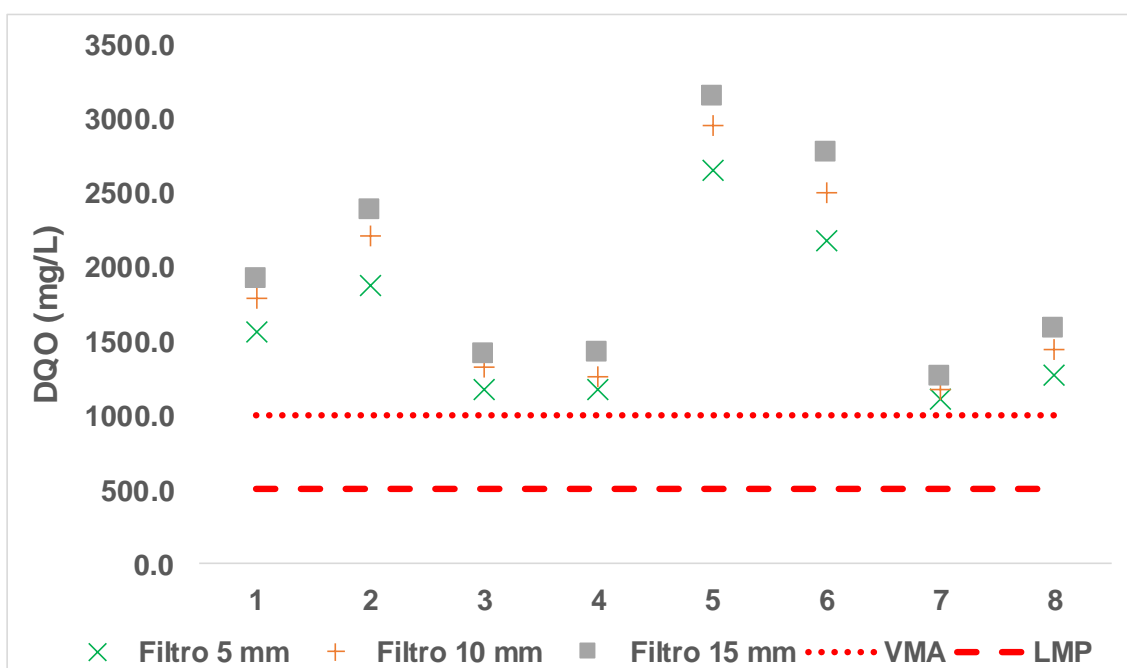


Figura 7

Concentraciones de DQO del agua residual tratada del camal municipal de Moyobamba y comparación con los VMA y LMP.

Se observa que el agua residual tratada con filtro de piedra pómez de 5 mm de diámetro presentó las menores concentraciones de DQO con niveles que oscilaron entre 1 112,0 y 2 652,2 mg/L con una media de 1 628,3 mg/L, seguido del filtro de 10 mm donde los valores variaron entre 1 178,2 y 2 960,5 mg/L con una media de 1 837,5 mg/L, en cambio, las mayores concentraciones de DBO_5 se obtuvo con el filtro de 15 mm, con el cual los valores oscilaron entre 1 265,0 y 3 148,2 mg/L con un promedio de 1 989,9 mg/L.

De igual forma, se evidencia que entre los tres filtros de piedra pómez utilizados, el 100,0 % de concentraciones de DQO obtenidos excedieron los VMA para vertimiento de aguas residuales no domésticas en el alcantarillado sanitario y los LMP para el vertimiento de efluentes líquidos de actividades agroindustriales como planta de beneficio y camales.

Además, las concentraciones medias estimadas en cada filtro de piedra pómez excedieron los VMA y LMP para DQO.

Luego de tratar las aguas residuales del camal municipal de Moyobamba con filtros de piedra pómez de diferente diámetro, las concentraciones para DBO₅ fueron superiores a 500,0 mg/L y para DQO superiores a 1 000,0 mg/L. Al respecto, Mocha y Moreira (2021) después de tratar aguas residuales porcinas con filtro de piedra pómez y grava encontró una concentración de 45 mg/L para DQO. Asimismo, Alvarez (2022) en relación a lo encontrado obtuvo concentraciones de DBO₅ y DQO inferiores con al menos un filtro de material orgánico utilizado para tratar aguas residuales del matadero de Rioja. La diferencia entre los resultados presentados se debe sobre todo al tipo de filtros, materiales y proporciones utilizadas, y a la eficiencia de los sistemas.

4.3. Eficiencia del filtro de piedra pómez en la remoción de la DBO₅ y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba

Se determinó las eficiencias para cada filtro de piedra pómez y según muestreo realizado, para ello se consideraron las concentraciones obtenidas del agua residual cruda (afluente) y agua residual tratada (efluente), los resultados se presentan a continuación:

Tabla 6

Eficiencias del filtro de piedra pómez en la remoción de la DBO₅ y DQO

Muestreo	Eficiencia de remoción de DBO ₅ (%)			Eficiencia de remoción de DQO (%)		
	Filtro 5 mm	Filtro 10 mm	Filtro 15 mm	Filtro 5 mm	Filtro 10 mm	Filtro 15 mm
1	45,9	37,3	29,0	40,8	32,3	27,4
2	48,8	42,9	28,8	47,9	38,6	33,9
3	52,3	42,7	36,7	44,7	37,7	33,4
4	50,0	40,5	36,5	46,0	41,7	34,6
5	51,1	41,6	37,3	45,5	39,1	35,3
6	49,4	39,5	34,3	44,6	36,5	29,7
7	47,0	39,7	29,7	40,6	37,1	32,4
8	49,6	36,2	32,8	43,1	35,2	29,3
Máximo	52,3	42,9	37,3	47,9	41,7	35,3
Mínimo	45,9	36,2	28,8	40,6	32,3	27,4
Promedio	49,3	40,1	33,2	44,1	37,3	32,0

Nota. Los valores de 5 mm, 10 mm y 15 mm corresponden a los diámetros de la piedra pómez utilizados en cada filtro

Se observa que el filtro de piedra pómez de 5 mm de diámetro registró mayores eficiencias en la remoción de DBO₅ con una media de 49,3 % y valores que fluctuaron entre 45,9 y 52,3 %, en cambio, las menores eficiencias de remoción se determinaron con el filtro de piedra pómez de 15 mm con un promedio de 33,2 % y valores que oscilaron entre 28,8 y 37,3 %.

Asimismo, se observa que para el caso de DQO el filtro de piedra pómez de 5 mm de diámetro también permitió obtener mayores eficiencias en la remoción al registrar una media de 44,1 % y valores mínimos y máximos de 40,6 y 47,9 %, respectivamente, además, las menores eficiencias de remoción se determinaron también con el filtro de piedra pómez de 15 mm obteniendo un promedio de 32,0 % con valores que oscilaron entre 27,4 y 35,3 %.

Se determinó eficiencias promedio entre 33,2 y 49,3 % para DBO₅ y, entre 32,0 y 44,1 % para DQO donde las mayores eficiencias se determinaron con el filtro de 5 mm de diámetro de piedra pómez y las menores eficiencias con el filtro de 15 mm. Al respecto, Vanani y Ostad-Ali-Askari (2023) determinó que la piedra pómez en forma granular removió el 68,4 % para DBO₅ y 56,9 % para DQO; Vásconez (2018) determinó utilizando piedra pómez entre 9,5 y 12,7 mm una eficiencia de 65,87 % para DBO₅ y 59,21 % para DQO; Contreras y Manrique (2021) determinaron con un filtro percolador de piedra pómez una mayor eficiencia de 56,97 % para DBO₅ y Alvarez (2022) al utilizar filtros de material orgánico registró eficiencias de 81,80 % para DBO₅ y 82,38 % para DQO. Al comparar los resultados, se observan diferencias significativas en las eficiencias y todas las reportadas fueron superiores a lo encontrado, estas diferencias se pueden atribuir a factores como: materiales utilizados en los filtros, proporción de los materiales filtrantes y tiempo de retención hidráulica que es un factor muy importante en los sistemas.

Se observó que, en las últimas semanas de muestreo del agua residual tratada, la eficiencia en la remoción de concentraciones de DBO₅ y DQO en cada filtro utilizado comenzó a disminuir a comparación de los anteriores muestreos, situación similar a lo encontrado por Vásconez (2018) quien además menciona que esto se debe a la elevada carga orgánica que se retiene en el material filtrante generando así sobrepoblación de organismos que pueden discurrir en el agua filtrada.

4.4. Remoción de la DBO₅ y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba mediante filtros de piedra pómez

Con el objetivo de validar la hipótesis general planteada se desarrolló la prueba T de muestras emparejadas y la prueba de análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias estadísticamente significativas en la remoción de DBO₅ y DQO según filtros de piedra pómez y la prueba Tukey para estimar el diámetro de piedra pómez óptimo.

4.4.1. Influencia del filtro de piedra pómez en la remoción de DBO₅ y DQO del agua residual del camal municipal

Tabla 7

Prueba T de muestras emparejadas para comparar concentraciones de DBO₅ y DQO del afluente y efluente de los filtros de piedra pómez

Parámetros	t	gl	Sig. (bilateral)
DBO ₅ con filtro de 5 mm de diámetro de piedra pómez	7,304	7	< 0,001*
DBO ₅ con filtro de 10 mm de diámetro de piedra pómez	7,112	7	< 0,001*
DBO ₅ con filtro de 15 mm de diámetro de piedra pómez	6,542	7	< 0,001*
DQO con filtro de 5 mm de diámetro de piedra pómez	7,130	7	< 0,001*
DQO con filtro de 10 mm de diámetro de piedra pómez	7,239	7	< 0,001*
DQO con filtro de 15 mm de diámetro de piedra pómez	6,885	7	< 0,001*

Nota: *Significativo al 0,05 de significancia

Se observa que, todos los filtros de piedra pómez con diferente diámetro influyeron significativamente en la remoción de DBO₅ y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba al encontrar un p-valor (< 0,001) que fue menor al nivel de significancia (0,05). Esto demuestra que la piedra pómez puede actuar como un material eficiente en la remoción de carga orgánica, tal y como lo encontrado por Vanani y Ostad-Ali-Askari (2023); Vargas (2019) y Vásconez (2018). Además, según Fetene y Addis (2020) es eficiente también en la remoción de fosfato de aguas residuales, por lo que se recomienda estudiar la remoción de otros parámetros. Esto se debe a que la piedra pómez, se caracteriza por ser rugosa y favorece el desarrollo microbiano, lo cual disminuye bacterias patógenas y materia orgánica (Larico-Mamani et al., 2021).

4.4.2. Diámetro óptimo de piedra pómez en la remoción de DBO₅ y DQO del agua residual del camal municipal

Tabla 8

ANOVA para evaluar la influencia de la piedra pómez según diámetro en la remoción de DBO₅ del agua residual del camal municipal

Fuente de varianza	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado de la media	F-Valor	p-valor
Diámetros de piedra pómez	1 047,12	2	523,56	68,28	< 0,0001*
Error	161,02	21	7,67		
Total	1 208,13	23			

Nota: *Significativo al 0,05. R² Aj= 85,0 %; CV = 6,78

Se evidencia que a un 95 % de confianza la eficiencia en la remoción de concentraciones de DBO₅ difirió estadísticamente según diámetros de piedra pómez, al encontrar un p-valor (<0,0001) menor que el nivel de significancia (0,05), en otras palabras, se demostró estadísticamente que los tres diámetros de piedra pómez estudiados influyeron significativamente en la remoción de concentraciones de DBO₅ de las aguas residuales del camal municipal de Moyobamba. Además, el coeficiente de determinación ajustado (R² Aj = 85,0 %) y coeficiente de variabilidad (CV = 6,78) mostraron una elevada

confiabilidad y asociación entre la eficiencia en la remoción de DBO_5 y los filtros con diferentes diámetros de piedra pómez estudiados.

Tabla 9

ANOVA para evaluar la influencia de la piedra pómez según diámetro en la remoción de DQO del agua residual del camal municipal

Fuente de varianza	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado de la media	F-Valor	p-valor
Diámetros de piedra pómez	593,60	2	296,95	39,87	< 0,0001*
Error	156,40	21	7,45		
Total	750,30	23			

Nota: *Significativo al 0,05. R^2 Aj= 79,0 %; CV = 7,22

Se evidencia que a un 95 % de confianza la eficiencia en la remoción de concentraciones de DQO difirió estadísticamente según diámetros de piedra pómez, al encontrar un p-valor (<0,0001) menor que el nivel de significancia (0,05), en otras palabras, se demostró estadísticamente que los tres diámetros de piedra pómez estudiados influyeron significativamente en la remoción de concentraciones de DQO de las aguas residuales del camal municipal de Moyobamba. Además, el valor del R^2 Aj (79,0 %) y CV (7,45) mostraron una elevada confiabilidad y asociación entre la eficiencia en la remoción de DQO y los filtros con diferentes diámetros de piedra pómez estudiados.

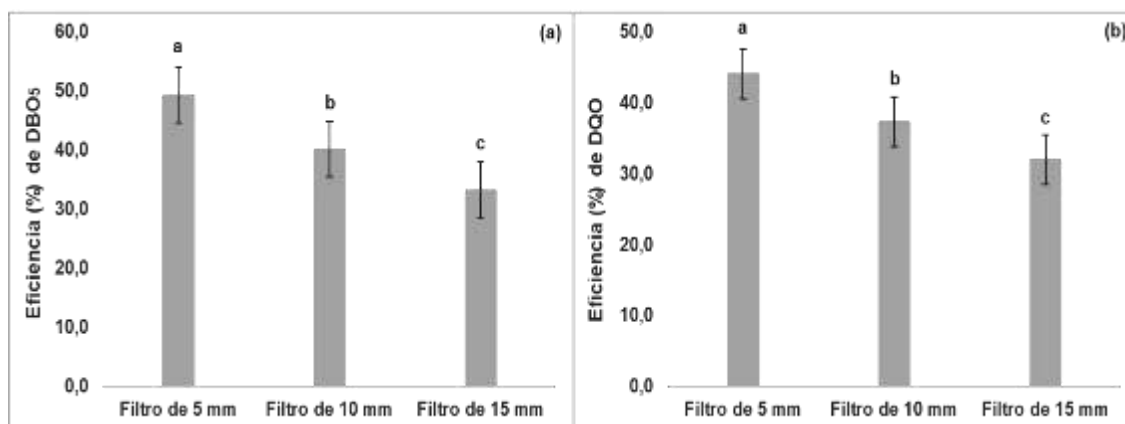


Figura 8

Prueba de Tukey ($p < 0,05$). (a) DBO_5 ; (b) DQO.

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

A un 95 % de confianza se determinó mediante la prueba de Tukey que el diámetro de piedra pómez óptimo en la remoción de concentraciones de DBO_5 fue 5 mm ($\bar{x} = 49,3$ %) y el menos efectivo fue 15 mm ($\bar{x} = 33,2$ %) (Figura 8a). Asimismo, se observa que también para remover DQO el tratamiento óptimo fue 5 mm ($\bar{x} = 44,1$ %) y el menos eficiente fue 15 mm ($\bar{x} = 32,0$ %) (Figura 8b).

Se encontró que mientras menor sea el diámetro de la piedra pómez más eficiente será la remoción de carga orgánica de aguas residuales de un camal municipal. Esto se

corroborar con lo encontrado por Fetene y Addis (2020) quien al remover concentraciones de fosfato con tamaños de piedra pómez menores a 4,75 mm encontraron mayor eficiencia con partículas entre 0,075 y 0,425 mm. Asimismo, Mocha y Moreira (2021) al trabajar con piedra pómez entre 0,125 y 0,5 mm y Kocadagistan (2014) al utilizar tamaños de 0,59 mm, encontraron mayores eficiencias que lo reportado en el presente estudio. Esto se puede atribuir a que al ser la piedra pómez llena de agujeros y surcos, los de menor tamaño generan más superficie y se multiplican los espacios porosos, lo cual puede aumentar la capacidad de retención. Además, tal y como mencionan Alraddadi y Assaedi (2021) el tamaño de las partículas y área superficial de rocas volcánicas desempeñan un papel fundamental en aplicaciones de adsorción, cuya capacidad es más alta en partículas más pequeñas, debido a que son más reactivas y los oligoelementos se concentran en partículas más finas.

Sin embargo, estudios como lo desarrollado por Vásconez (2018) quien trabajó con partículas de piedra pómez entre 9,5 y 12,7 mm, y lo realizado por Vargas (2019) que utilizó piedra pómez de 12,5 mm, registraron mayores eficiencias en la remoción de DBO_5 y DQO que lo reportado en el presente estudio. Esto puede deberse a los tiempos de retención hidráulica (TRH) de los filtros utilizados, ya que los autores mencionados trabajaron con TRH mayor a 5 hrs y en el estudio se trabajó con TRH de 1h 03' 39". Según Mocha y Moreira (2021) mientras mayor sea el TRH, mayor es la retención de concentraciones contaminantes en el filtro.

Se sugiere desarrollar estudios añadiendo otro tipo de rocas o gravas al material filtrante utilizado. Además, aumentar el TRH y la cantidad de piedra pómez, ya que según Contreras y Manrique (2021); De Rozari et al. (2021) y Vargas (2019) el incremento del porcentaje de piedra pómez en los medios filtrantes es más eficiente en la reducción de concentraciones de DBO_5 y DQO.

CONCLUSIONES

El camal municipal de la ciudad de Moyobamba vierte aguas residuales con elevada carga orgánica que excede los VMA para vertimiento de aguas residuales no domésticas en el alcantarillado sanitario y los LMP para el vertimiento de efluentes líquidos de actividades agroindustriales como planta de beneficio y camales. Las concentraciones de DBO_5 varían entre 940,0 y 2 505,4 mg/L, y las de DQO entre 1 872,3 y 4 863,4 mg/L.

Las concentraciones promedio de DBO_5 y DQO en el agua residual tratada con filtros de piedra pómez no cumplen los VMA y los LMP establecidos por la normativa peruana. Las menores concentraciones para ambos parámetros se obtienen con el filtro de 5 mm de diámetro, alcanzando valores de 498,5 a 1 225,1 mg/L para DBO_5 y de 1 120,0 a 2 652,2 mg/L par DQO.

El filtro de piedra pómez de 5 mm de diámetro presenta las mayores eficiencias de remoción, con valores que oscilan entre 45,9 y 52,3 % para DBO_5 , y entre 40,6 y 47,9 % para DQO. Además, conforme pasan las semanas la elevada carga orgánica puede retenerse en el material filtrante y alterar el normal proceso de remoción.

El uso de filtros de piedra pómez influye significativamente en la remoción de DBO_5 y DQO del agua residual del camal municipal. Los diámetros del material filtrante muestran diferencias significativas en la eficiencia de remoción de carga orgánica, siendo el diámetro de 5 mm el más eficiente y el de 15 mm en menos eficaz.

RECOMENDACIONES

A las autoridades municipales recomendar implementar filtros de piedra pómez para reducir concentraciones de carga orgánica y complementar con otro tipo de rocas o gravas para mejorar la eficiencia. Asimismo, recomendarles implementar otros sistemas de tratamiento y buenas prácticas para reducir la carga contaminante de los efluentes.

A la población aledaña al camal municipal recomendarles evitar el uso del cuerpo superficial hídrico receptor de aguas residuales del camal municipal de Moyobamba para actividades como riego de vegetales y bebida de animales, debido a la elevada carga orgánica en el efluente.

A empresas responsables del servicio de saneamiento recomendar fiscalizar y exigir a los administradores del camal municipal el cumplimiento de los VMA con el objetivo de evitar afectaciones en el ambiente y alcantarillado público.

A docentes, alumnos e investigadores, recomendarles tomar en cuenta los resultados del presente estudio y complementar realizando investigaciones con menores diámetros de piedra pómez, añadir otro tipo de rocas, gravas o arena, incrementar los tiempos de retención hidráulica y el volumen de los materiales filtrantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adonu, R. E., Dzokoto, L., y Issifu, S. (2017). Sanitary and hygiene conditions of slaughterhouses and its effect on the health of residents (A case study of Amasaman slaughterhouse in the Ga West Municipality, Ghana). *Food Science and Quality Management*, 65, 11-15. <https://core.ac.uk/reader/234684607>
- Aleksić, N., Nešović, A., Šušteršič, V., Gordić, D., y Milovanović, D. (2020). Slaughterhouse water consumption and wastewater characteristics in the meat processing industry in Serbia. *Desalination and Water Treatment*, 190, 98-112. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25745>
- Ali, M., Kumar, A., Yvaz, A., y Salah, B. (2023). Central composite design application in the optimization of the effect of pumice stone on lightweight concrete properties using RSM. *Case Studies in Construction Materials*, 18, e01958. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e01958>
- Alonge, D. O. (1991). *Textbook of Meat Hygiene in the Tropics*. Ibadan, Nigeria: Farmose Press.
- Alraddadi, S., y Assaedi, H. (2021). Physical properties of mesoporous scoria and pumice volcanic rocks. *Journal of Physics Communications*, 5(11), 115018. <https://doi.org/10.1088/2399-6528/ac3a95>
- Alvarez, Y. (2022). *Eficiencia del filtro de material orgánico en la reducción de parámetros en las aguas residuales del matadero municipal de Rioja* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/4623>
- Amasifuen, J. E., y Morón, K. R. (2021). *Aplicación de dosis de piedra pómez y carbón activado para el tratamiento de agua residual en Camal Municipal Moquegua, 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/73440>
- Anaya, I., y Zegarra, C. R. (2015). *Análisis y propuestas al marco regulatorio de las descargas de aguas residuales no domésticas a las redes de alcantarillado* [Tesis de maestría, Universidad del Pacífico]. Repositorio institucional. <http://repositorio.up.edu.pe/handle/11354/1632>
- Bautista, P., y Pramparo, L. (2022). Use of native microorganisms as an alternative for biological removal of organic matter in wastewater from the pharmaceutical

- industry. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 66(2), 239-247. <https://doi.org/10.3311/PPch.18222>
- Breida, M., Alami, S., Ouammou, M., Bouhria, M., y Hafsi, M. (2020). Pollution of water sources from agricultural and industrial effluents: Special attention to NO_3^- , Cr(VI), and Cu(II). *En Water Chemistry*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.86921>
- Bustillo-Lecompte, C. F., y Mehrvar, M. (2015). Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances. *Journal of Environmental Management*, 161, 287-302. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.07.008>
- Caballero, A. E. (2009). *Metodología integral innovadora para planes y tesis*.
- Çifçi, D. İ., y Meriç, S. (2017). Manganese adsorption by iron impregnated pumice composite. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 522, 279-286. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.03.004>
- Contreras, V. K., y Manrique, Y. V. (2021). *Filtro percolador de piedra pómez para la remoción de materia orgánica, en el tratamiento del agua residual del camal municipal de Huancavelica – 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/96222>
- De Rozari, P., Krisnayanti, D. S., Refli, Yordanis, K. V., y Atie, M. R. R. (2021). The use of pumice amended with sand media for domestic wastewater treatment in vertical flow constructed wetlands planted with lemongrass (*Cymbopogon citratus*). *Heliyon*, 7(7), e07423. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07423>
- Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA. (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*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Recuperado 26 de julio de 2023, de <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-aprueba-el-reglamento-de-valores-maximos-decreto-supremo-n-010-2019-vivienda-1748339-3/>
- Decreto Supremo N.° 2009-MINAM. (2009). *Aprueba límites máximos permisibles (LMP) para efluentes agroindustriales tales como planta de camales y plantas de beneficio*.

- https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/311089/Imp_camales.pdf?v=1556771596
- Edokpayi, J. N., Odiyo, J. O., y Durowoju, O. S. (2017). Impact of wastewater on surface water quality in developing countries: A case study of South Africa. *Water Quality*, 401-416. <https://doi.org/10.5772/66561>
- Espinoza, L. F. (2022). Modernización del camal municipal Saposoa implementando una planta de tratamiento de aguas residuales [Tesis de maestría, Universidad Nacional Federico Villarreal]. En *Universidad Nacional Federico Villarreal*. <http://repositorio.unfv.edu.pe:8080/handle/20.500.13084/6931>
- Ferro, J. P., y Montalvo, M. Á. (2021). *Interperismo físico y químico de la piedra pómez como roca ígnea*. Genially. <https://view.genially.com/61440f08d6a3ab0d8c2388bc/presentation-intemperismo-piedra-pomez>
- Fetene, Y., y Addis, T. (2020). Adsorptive removal of phosphate from wastewater using ethiopian Rift pumice: Batch experiment. *Air, Soil and Water Research*, 13, 117862212096965. <https://doi.org/10.1177/1178622120969658>
- Fuquene, D. (2011). *Sistema de tratamiento de aguas residuales, Modulo didáctico*.
- George, P. (2004). *Diccionario de geografía (Ed. Económica)*. España: Ediciones Akal.
- González, M., Marcilla, A., Tauste, J. R., y Villa, I. (2010). *Programa de autocontrol sanitario en mataderos*. <https://sms.carm.es/ricsmur/bitstream/handle/123456789/4203/Programa.de.autocont.136585.0.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gualdrón, L. E. (2016). Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros fisicoquímicos y biológicos. *Dinámica Ambiental*, 1, 83-102. <https://doi.org/10.18041/2590-6704/AMBIENTAL.1.2016.4593>
- Izquierdo, I. M. (2016). *Efecto de un biofiltro de piedra pómez en la remoción del material orgánico del efluente agroindustrial Casa grande* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/6797>
- Jamal, S., y Ajmal, U. (2019). Environmental impacts of slaughter houses with special reference to India: A review. *Journal of the Gujarat Research Society*, 21(14), 2212-2222. <http://gujaratresearchsociety.in/index.php/JGRS/article/view/3355>

- Kalbhor, A., Patil, P., Patil, S., Datake, S., Nikam, V., y Salunkhe, R. N. (2023). Review paper to develop a dual media filter using pumice stone. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 3(1), 561-567. <https://doi.org/10.48175/IJAR SCT-7916>
- Kocadagistan, E. (2014). Treatment of slaughterhouse wastewaters with upflow anaerobic pumice bed reactor. *Life Science Journal*, 11(6), 345-349. https://www.lifesciencesite.com/ljsj/life1106/047_24007life110614_345_349.pdf
- Larico-Mamani, C. J., Fernandez-Mamani, D. L., Cahua-Alvarez, J. L., y Cabana-Alanoca, R. (2021). Remoción de materia orgánica y bacterias patógenas de las aguas residuales domésticas en filtro percolador, laguna facultativa y lodos activados. *Revista Científica Investigación Andina*, 21(1). <https://revistas.uancv.edu.pe/index.php/R CIA/article/view/926>
- Mahbulbul, M. M., Hossain, M. S., Karim, M. R., Uddin, M. F., Hasan, M., y Khan, R. H. (2023). Surface water quality profiling using the water quality index, pollution index and statistical methods: A critical review. *Environmental and Sustainability Indicators*, 18, 100247. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100247>
- Martínez, H. J. (2006). Agroindustria y competitividad. Estructura y dinámica en Colombia 1992-2005. En *Observatorio agrocadenas Colombia*. Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Martos, F. (2004). *Agentes medioambientales de la Generalitat Valenciana: Vol. Volumen II*. Editorial MAD.
- Mejía-Lopez, A., Cabrera, M., & Carillo, Y. (2017). Remoción de contaminantes orgánicos presentes en agua residual doméstica mediante prototipo a escala de laboratorio. *La Granja*, 26(2), 72. <https://doi.org/10.17163/lgr.n26.2017.07>
- Méndez, J. P., y Marchán, J. (2008). *Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución*. https://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/libro_ptar_gtz_sunass.pdf
- Metcalf, L., Eddy, H. P., y Tchobanoglous, G. (1991). *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse* (Vol. 4). McGraw-Hill: New York, NY, USA.
- Mocha, J. M., y Moreira, F. E. (2021). *Filtro gravitatorio con piedra pómez molida para el tratamiento primario de aguas residuales porcinas* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Mnanabí Manuel Félix López]. Repositorio institucional. <https://repositorio.esпам.edu.ec/handle/42000/1445>

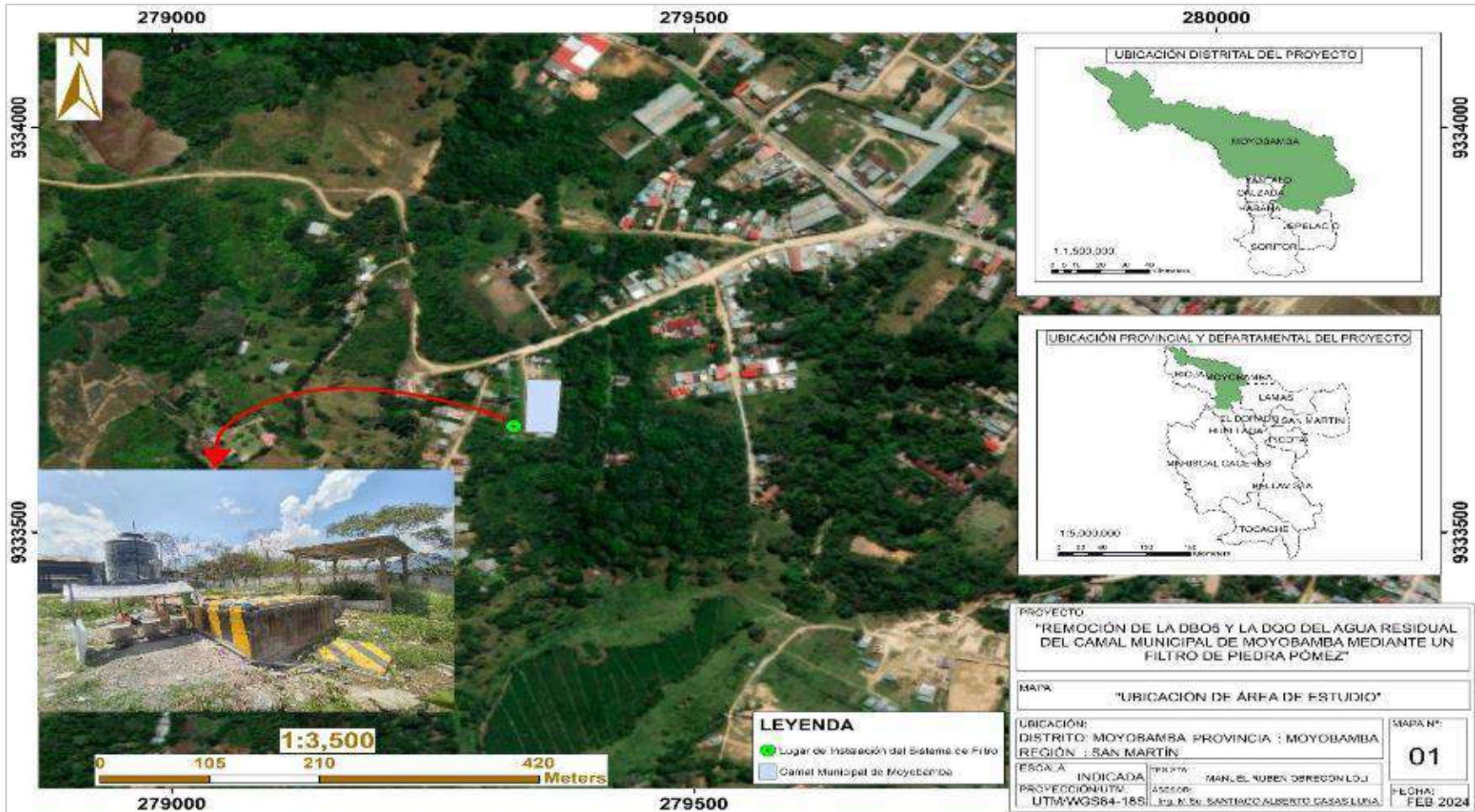
- Moreno, B. (2006). *Higiene e inspección de carnes I*. España: Ediciones Díaz de Santos.
- Musa, M. A., e Idrus, S. (2021). Physical and biological treatment technologies of slaughterhouse wastewater: A review. *Sustainability*, 13(9), 4656. <https://doi.org/10.3390/su13094656>
- Nemerow, N. L., y Dasgupta, A. (1998). Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos. En *tratamiento de vertidos industriales y peligrosos*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S. A.
- Ng, M., Dalhatou, S., Wilson, J., Kamdem, B. P., Temitope, M. B., Paumo, H. K., Djelal, H., Assadi, A. A., Nguyen-Tri, P., y Kane, A. (2022). Characterization of slaughterhouse wastewater and development of treatment techniques: A review. *Processes*, 10(7), 1300. <https://doi.org/10.3390/pr10071300>
- Nieto, R., y Huaman, J. J. (2019). *Optimización de los parámetros operacionales del proceso de oxidación avanzada en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de un matadero de porcinos* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/4495>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización ambiental (OEFA). (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Olaniran, E. I., Sogbanmu, T. O., y Saliu, J. K. (2019). Biomonitoring, physico-chemical, and biomarker evaluations of abattoir effluent discharges into the Ogun River from Kara Market, Ogun State, Nigeria, using *Clarias gariepinus*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(1), 44. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7168-3>
- Osorio, F., Torres, J. C., y Sánchez, M. (2010). *Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes: Aplicación de procesos industriales a la reutilización de aguas residuales*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Panduro, R. J. (2017). *Tratamiento Integral de las Aguas Residuales del Matadero Municipal de la ciudad de Moyobamba en un Biorreactor Anaeróbico Tipo UASB a nivel remoto* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2389>
- Raffo, E., y Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17(1), 71-80. <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>

- Ramallo, R. S. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial Reverté, S. A.
- Ramos, C. (2021). Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica*, 10(1), 1-7.
<https://doi.org/10.33210/ca.v10i1.356>
- Resolución Ministerial N.º 273-2013-Vivienda. (2013). *Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales - PTAR*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/13762-273-2013-vivienda>
- Rojas, R. (2002). *Conferencia: Sistemas de tratamiento de aguas residuales*.
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57123734/GESTION_INTEGRAL_DEL_TRATAMIENTO_AR-libre.pdf?1533264908=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCurso_Internacional_GETION_INTEGRAL_DE_T.pdf&Expires=1720042029&Signature=aPSSUmA8zll8n6sX7i8MMbXPh~1ZJqeYhUb6UFe0Rlp1WehhHn7fEIL0EqI8qT4cIXrE4s8gDySj8e60BstDJjhgNqmBtOy~cs4A9NJxHTJXThtUifCmDpPnFLBTTbEm8EIytSd6W6IPiryAd1PuAM90H56n2yedRnkEgcGehHu-Vb-hdg9sGFsBQ3eugGhjiibjYk9-u0nvg0t4R6PMRqANX-mXTLOTI2~ahl~j06BhiWWwR3dU1VGqyllo6ujUkJw8iNwTLB-U8YQ
- Romero-Aguilar, M., Colin-Cruz, A., Sanchez-Salinas, E., y Ortiz-Hernández, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(3), 157-167.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992009000300004&script=sci_abstract
- Salas, G., y Condorhuamán, C. (2008). Tratamiento de las aguas residuales de un centro de beneficio o matadero de ganado. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 11(1), 29-35.
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/4885>
- Sánchez, C., y Reyes, C. (2006). *Metodología y diseño en la investigación científica* (E. V. Universitaria, Ed.).
- Sasse, L. (1998). *Decentralised wastewater treatment in developing countries*.
<https://www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/1933#>

- Sastre, M. (1886). *Lecciones sobre objetos comunes y educación para guía de las maestras y de las madres de familia*. Argentina: Igón Hermanos, Editores.
- Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú (SENASA). (2021). *San Martín: Inician construcción de matadero municipal de Moyobamba*. Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú. <https://www.senasa.gob.pe/senasacontigo/san-martin-inician-construccion-de-matadero-municipal-de-moyobamba/>
- Shende, A. D., Dhenkula, S., Waghambare, A., Rao, N. N., y Pophali, G. R. (2022). Water consumption, wastewater generation and characterization of a slaughterhouse for resource conservation and recovery. *Water Practice and Technology*, 17(1), 366-377. <https://doi.org/10.2166/wpt.2021.122>
- Shon, H. K., Vigneswaran, S., y Kandasamy, J. (2007). *Characteristics of effluent organic matter in wastewater*. <https://www.eolss.net/sample-chapters/c07/E6-144-01.pdf>
- Sial, J. K., Mahmood, S., Kılıç, Z., Saeed, M. M., Iqbal, M., y Rehman, H. A. (2022). Water pollution from agriculture and industry. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 12(03). <https://doi.org/10.14741/ijcet/v.12.3.8>
- Vanani, H. R., y Ostad-Ali-Askari, K. (2023). Mineral pumice efficiency in wastewater treatment in dairy industries. *Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics*, 70(1), 129-139. <https://doi.org/10.2478/heem-2023-0009>
- Vargas, A. L. (2019). *Aplicación de piedra pómez como filtro en el proceso de tratamiento de aguas residuales verdes de un centro de beneficio animal Puno* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/11819>
- Vásconez, V. H. (2018). *Análisis de la piedra pómez como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes del Centro de Faenamiento Ocaña del cantón Quero* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio institucional. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27232>
- Yang, D., Yang, Y., y Xia, J. (2021). Hydrological cycle and water resources in a changing world: A review. *Geography and Sustainability*, 2(2), 115-122. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.05.003>
- Yang, L., Shin, H.-S., y Hur, J. (2014). Estimating the concentration and biodegradability of organic matter in 22 wastewater treatment plants using fluorescence excitation emission matrices and parallel factor analysis. *Sensors*, 14(1), 1771-1786. <https://doi.org/10.3390/s140101771>

ANEXOS

Anexo 1. Ubicación del área de estudio



Anexo 2. Autorización para ingreso al camal municipal de Moyobamba



MUNICIPALIDAD PROVINCIAL
DE MOYOBAMBA

“Año de La Unidad, La Paz y El Desarrollo”

Moyobamba, 3 de julio 2023.

CARTA N°012-2023-MPM/A.

SEÑORA:
Blga. M.Sc. **ASTRIHT RUIZ RIOS**
Decana de la Facultad de Ecología
Universidad Nacional de San Martín

Ciudad. -

ASUNTO : Solicitud de Autorización para realizar la ejecución de tesis en el Matadero Municipal.

REF. : FUT. N°0109470 -EXP. 516816

Es grato dirigirme a usted, para saludarle cordialmente a nombre de la Municipalidad Provincial de Moyobamba, en atención al documento de la referencia, se autoriza a estudiante: **Manuel Rubén Obregón Loli, Bachiller de la E.P de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ecología**, para realizar la Ejecución del Proyecto de Tesis denominado: **“Remoción de la DBO Y DQO DEL Agua Residual del Matadero Municipal de Moyobamba, mediante un filtro de piedra pómez”**.
remisión que se efectúa para los fines pertinentes.

Sin otro particular, me suscribo de usted, expresándole las muestras de mi especial consideración y estima.

Atentamente,

EXP. 516816



Firmado Digitalmente por:
PEÑA ROBALINO Ernesto FAU
20146806679 sofl
Cargo : ALCALDE PROVINCIAL
Motivo: Soy autor del documento
Fecha: 04.08.2023 16:39:23-0500

C.c
• Archivo

Jr. Pedro Canga N° 262 - Plaza de Armas Moyobamba



Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico de la MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE MOYOBAMBA generado en concordancia por lo dispuesto en la ley 27269. Autenticidad e integridad pueden ser contrastada a través de la siguiente dirección web <http://177.73.264.74/validad/e0069d39-b903-4da4-8d5f-4ea195021a35.pdf>

... para el acceso, uso de equipos y materiales en el laboratorio

Anexo 3. Autorización para ingreso al laboratorio, registro de uso de materiales y equipos, y asistencia al laboratorio



FACULTAD DE ECOLOGÍA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA
 LABORATORIO DE INGENIERÍA SANITARIA



"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

Moyobamba, 21 de agosto 2023

CARTA N° 027-2023-SIV.UNSM/FE/RLIS

Señor Blga. M.Sc.
ASTRITH RUIZ RIOS
 Decano de la Facultad de Ecología

Asunto: AUTORIZACIÓN PARA INGRESO AL LABORATORIO DE INGENIERÍA SANITARIA

Referencia: exp. N° 3214-2023-FECOL, prov. 2491.

Me dirijo a usted para saludarlo cordialmente a su persona y a la vez; indicar que, según la referencia indicada, la tesista **Manuel Ruben Obregón Loli**, identificado con DNI: **72452558**, egresado de programa de estudios de ingeniería Ambiental; presenta solicitud para ingresar al laboratorio de Ingeniería Sanitaria, estando en la fase experimental de la Tesis: **"Remoción de la DBO y DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba mediante un filtro de piedra pómez"**, por lo que requiere el uso del laboratorio de Ingeniería Sanitaria, para los análisis respectivos.

El tesista debe ingresar al laboratorio de Ingeniería Sanitaria conjuntamente con su asesor **Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna, Jhon cruz ventura, Delmester Chuquimbalqui Marina**, a partir del día **lunes 21 de agosto** y las fechas que indican en el **cronograma**, cumpliendo con todos los protocolos de bioseguridad.

Por lo indicado; como responsable del laboratorio de Ingeniería Sanitaria; expreso la respectiva **conformidad**; sugiriendo a su Decanatura informar al interesado el permiso de ingreso a los ambientes de la Facultad, en coordinación con Vigilancia.



Stahler Rigoberto Vásquez
 INGENIERO SANITARIO
 CIP N° 219448

Encargado laboratorio ingeniería sanitaria
 Facultad de Ecología de la UNSM

REGISTRO DE DATOS DEL USO DE LABORATORIO

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
FACULTAD DE ECOLOGÍA**





**"FICHA DE REGISTRO DE DATOS PARA EL USO DEL LABORATORIO DE
INGENIERÍA SANITARIA"**

LABORATORIO: INGENIERÍA SANITARIA – FECOL – UNSM

Fecha (as):

23 de Agosto del 2023	25 de setiembre del 2023
28 de Agosto del 2023	26 de setiembre del 2023
30 de Agosto del 2023	02 de Octubre del 2023
04 de setiembre del 2023	04 de Octubre del 2023
06 de setiembre del 2023	09 de Octubre del 2023
11 de setiembre del 2023	11 de Octubre del 2023
13 de setiembre del 2023	16 de Octubre del 2023
18 de setiembre del 2023	
20 de setiembre del 2023	

Asesor:	Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna	Fecha de solicitud:	04/08/2023
Hora de entrada:	2:30 pm	Hora de salida:	8:00 pm
Nombre del tesista:	Manuel Ruben Obregón Loli		
Actividad:	Operaciones a realizar: Dilución de sustancias y análisis fisicoquímico de agua residual.		
01	Colorímetro portátil multiparámetro (Marca HACH, modelo DR900)		
02	Digestor digital DRB200		
03	Medidor de Oxígeno disuelto (OD) HI98193 Marca HANNA		
04	Pipeta de 10 ml		
05	Fiola volumétrica de 50 ml		
06	Vaso precipitado		
07	Pipette controller BPIP-402		
Firma de tesista(as)		Firma del asesor	
		 Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna Asesor de Tesis FECOL - UNSM	



Firma Digital

Firmado digitalmente por RIGOR
 WAC2022.F Scanner F401
 20160768191.pdf
 Modelo: Clay V7 B
 Fecha: 02.12.2024 10:44:02 -05:00

Anexo 4. Estudios de granulometría



Moyobamba, 20 de enero del 2021

INFORME N° 060– 2021 LM CECONSE-L L M

Señor : **MANUEL RUBEN OBREGÓN LOLI**

Proyecto : "REMOCIÓN DE LA DBO5 Y DQO5 DEL AGUA RESIDUAL DEL CAMAL MUNICIPAL DE MOYOBAMBA MEDIANTE UN FILTRO DE PIEDRA PÓMEZ"

Asunto : **RESULTADOS DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.**

I. GENERALIDADES.

NOMBRE DEL PROYECTO

"REMOCIÓN DE LA DBO5 Y DQO5 DEL AGUA RESIDUAL DEL CAMAL MUNICIPAL DE MOYOBAMBA MEDIANTE UN FILTRO DE PIEDRA PÓMEZ"

INTRODUCCIÓN

El análisis granulométrico tiene como finalidad obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en las muestras de suelo. Así es posible determinar también su clasificación mediante sistemas SUCS o AASHTO.

Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente. Para suelos con tamaño de partículas mayor a 0,075 mm. (74 micrones) se utiliza el método de análisis mecánico mediante tamices de abertura y numeración.



Centro de Servicios,
consultoría y ejecuciones de obras públicas y privadas
Carretera Fernando Belaúnde Terry Km. 493.50, Moyobamba -
Perú



OBJETIVOS

- Determinar si el material cumple con las especificaciones técnicas del expediente técnico para cama de apoyo.
- cuantitativamente la distribución de tamaño de partículas por medio del proceso de tamizado y el cálculo de los coeficientes de uniformidad, C_u , y curvatura C_c , siempre y cuando sean aplicables.

FINALIDAD Y ALCANCE

Este Modo Operativo describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74mm (N°200)

Este modo operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso.

NORMATIVA

ASTM D 422: Standard Test Method for Particle -size Analysis of Soils.

EQUIPOS Y MATERIALES

Durante el proceso de la determinación de la granulometría de las muestras se emplearon los siguientes equipos y procedimientos:

MATERIALES Y EQUIPOS

- Horno de secado termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Balanza electrónica con 0.01 g de precisión.
- Tamices (3", 2", 1", ¾", ½", 3/8", ¼", No.4, No. 10, No. 30, No. 50, No. 100, No.200 y bandeja.)
- Desecador conteniendo sílica gel



Centro de Servicios,
consultoría y ejecuciones de obras públicas y privadas
Carretera Fernando Belaúnde Terry Km. 493.50, Moyobamba -
Perú



- Mortero
- Cuarteadores.
- Equipo de manipuleo: Guantes de asbesto, cucharas, taras y cepillo.

MUESTRA A ENSAYAR

- ✓ Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante (1 muestras).
- ✓ Una vez obtenidas las muestras, fragmentar los agregados del suelo utilizando el mortero hasta obtener granos separados.
- ✓ Secar el suelo en el horno a una temperatura constante 110 ± 5 °C.
- ✓ Seleccionar una cantidad de muestras representativa según la tabla 1, ya sea por cuarteo o por una selección aleatoria del suelo, mezclando regularmente el material antes de obtener la muestra requerida.

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

1. Determinar la masa del recipiente limpio y seco.
2. Seleccionar una muestra del suelo seco y determinar su masa seca junto con el recipiente, Ms + recipiente. Restando la masa del recipiente determinar la masa seca de la muestra del suelo, Ms.
3. Colocar la muestra del suelo en el tamiz No. 200 y proceder a lavar cuidadosamente utilizando el agua del grifo hasta que esta se vuelva clara y el suelo retenido por el tamiz no presente finos. Tener mucho cuidado de no dañar el tamiz ni perder suelo en este proceso. Si existe una considerable cantidad de material grueso, es recomendable utilizar el tamiz No. 4, además del No. 200, a fin de reducir el daño del tamiz No. 200.
4. Determinar nuevamente la masa del recipiente limpio y seco.



LMCECONSE
CONSULTORIOS INGENIERIA

*Centro de Servicios,
consultoría y ejecuciones de obras públicas y privadas
Carretera Fernando Belaúnde Terry Km. 493.50, Moyobamba -
Perú*



5. El material retenido debe ser cuidadosamente vertido en el recipiente previamente pesado. Se debe de tener cuidado de no dejar partículas del suelo en la malla del tamiz.
6. Dejar de reposar la muestra lavada hasta que la parte superior en suspensión se aclare y las partículas se hayan precipitado casi en su totalidad.
7. Vaciar la mayor parte del agua clara superior y colocar el recipiente más la muestra de suelo en el horno de secado durante 24 horas.
8. Luego de las 24 horas, dejar de enfriar en el desecador y determinar la masa de material grueso seco y el recipiente. Restando la masa del recipiente se obtiene la masa del material grueso.
9. En caso de que exista más del 10% de grava (i.e. material mayor a 4.75 mm) se debe separar manualmente las partículas grandes a través de los tamices 3", 2", 1", ¾", ½", 3/8", ¼" y registrar las masas retenidas.
10. Verificar que los tamices N°4, N°10, N°30, N°50, N°100, N°200 Y la bandeja se encuentren limpios y libres de partículas retenidas entre la malla.
11. Colocar el suelo restante en la máquina de tamizado, verificando que los tamices N°4, N°10, N°30, N°50, N°100, N°200 y la bandeja estén apilados en ese orden en los tamices.
12. Verte el material retenido en cada tamiz, empezando por el tamiz de mayor abertura, en un recipiente y determinar las masas de suelo retenido en cada uno de los tamices, utilizando la opción "tara de la balanza. Es importante no perder ninguna partícula de suelo. Es común que aparezcan partículas retenidas en la malla del tamiz, cuando esto sucede, de debe limpiar con el cepillo por la parte inferior de la malla, teniendo cuidado que las partículas caigan dentro del recipiente. Si el tamizado no fue adecuadamente realizado, algunas partículas podrán



Centro de Servicios,
consultoría y ejecuciones de obras públicas y privadas
Carretera Fernando Belaúnde Terry Km. 493.50, Moyobamba -
Perú

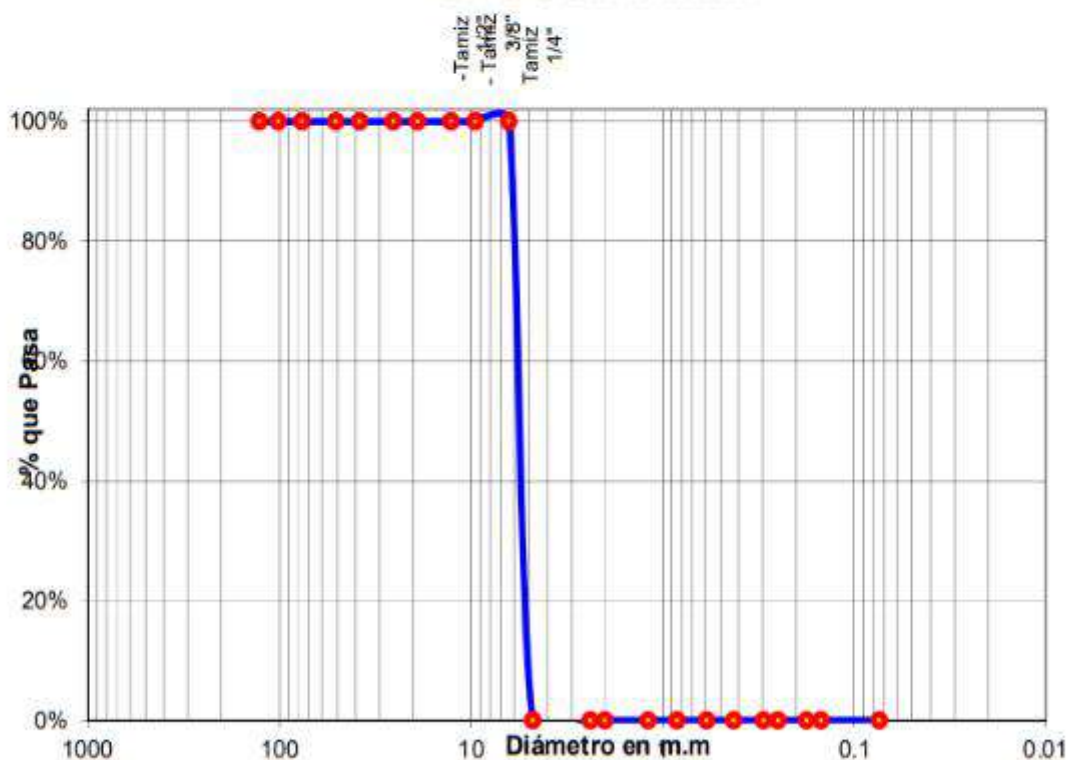


caer del tamiz sobre el papel. En tal caso, colocar este material en el tamiz siguiente antes de su pesaje.

CONCLUSIONES

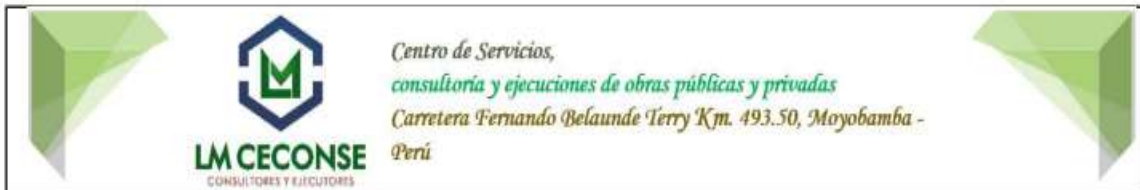
- Los datos y muestras fueron proporcionadas por el solicitante en el laboratorio de suelos y concreto LM CECONSE E.I.R.L.
- El suelo es una grava mal graduada considerado como piedra pómez de 5 milímetros, con 99.98% de grava, 0.00 de arena, 0.02 de finos (que pasa la malla N°200) No presenta límites de consistencia según la clasificación unificada de suelos siendo su clasificación unificada de suelos SUCS: GP Y AASHTO: A-1-a(0).

Curva Granulométrica



ANEXOS

- ENSAYOS DE LABORATORIO



Proyecto: "REMOCIÓN DE LA DBOS Y DQ05 DEL AGUA RESIDUAL DEL CAMAL MUNICIPAL DE MOYOBAMBA MEDIANTE UN FILTRO DE PIEDRA PÓMEZ"

Localización del Proyecto: CAMAL MUNICIPAL DE MOYOBAMBA

Descripción del material: GRAVA MAL GRADUADA

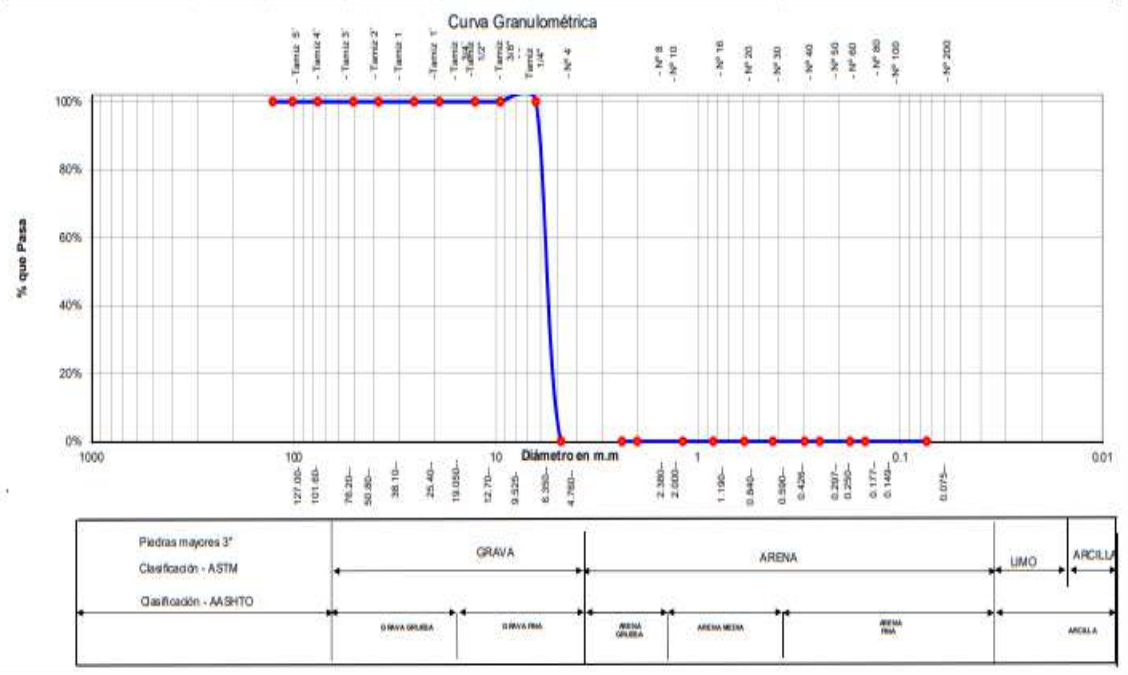
Solicitante: MANUEL RUBEN OBREGÓN LOI

Hecho Por: Ing. Luis Lopez Mendoza CIP: 75233

Fecha: 20/01/2021

Para Uso:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM-D6913 - N.T.P. 339.128					Composición Granulométrica %						
Tamizos	Peso	% Retenido	% Pterido	% Que							
Ø	(mm)	Retenido	Parcial	Acumulado	Pasa	% QUE PASA PARA CLASIFICACION					
Tamiz 5"	127.00					GRAVA	99.98%				Nº 40 = 0.02%
Tamiz 4"	101.60					ARENA	0.00%				Nº 100 = 0.02%
Tamiz 3"	76.20					LIMOS Y ARCILLAS	0.02%				Nº 200 = 0.02%
Tamiz 2"	50.80					Descripción Muestra:					
Tamiz 1 1/2"	38.10					Grupo SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Sub-Grupo : GRAVAS					
Tamiz 1"	25.40					GRAVA MAL GRADUADA					
Tamiz 3/4"	19.05					SUCS =	GP	AASHTO =	A-1-a(0)		
Tamiz 1/2"	12.70					LL	=	WT	=	50.00	
Tamiz 3/8"	9.525					LP	=	WT+SAT	=	5050.00	
Tamiz 1/4"	6.350	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	IP	=	WSAL	=	5000.00	
Nº 4	4.750	4998.79	99.98%	99.98%	0.02%	IG	=	WT+SDL	=	5048.79	
Nº 8	2.380	0.00	0.00%	99.98%	0.02%	D	90=	WSDL	=	29.00	
Nº 10	2.000	0.00	0.00%	99.98%	0.02%	D	60=	% Finos	=	0.02	
Nº 16	1.190	0.00	0.00%	99.98%	0.02%	D	30=	% ERR	=		
Nº 20	0.840	0.00	0.00%	99.98%	0.02%	D	10=	Cc	=		
Nº 30	0.590	0.00	0.00%	99.98%	0.02%	D	10=	Cu	=		
Nº 40	0.425	0.00	0.00%	99.98%	0.02%	Descripción del Suelo Ensayado:					
Nº 50	0.297	0.00	0.00%	99.98%	0.02%	El suelo es una grava mal graduada considerado como piedra pómez de 5 milímetros, con 99.98% de grava, 0.00 de arena, 0.02 de finos (que pasa la malla Nº200) No presenta límites de consistencia según la clasificación unificada de suelos siendo su clasificación unificada de suelos SUCS: GP Y AASHTO: A-1-a(0).					
Nº 60	0.250	0.00	0.00%	99.98%	0.02%	% de Humedad Natural de la muestra ensayada					
Nº 80	0.177	0.00	0.00%	99.98%	0.02%	Número de tarro	=	1	Peso del agua	=	12.5
Nº 100	0.149	0.00	0.00%	99.98%	0.02%	Peso del tarro	=	30.7	Peso suelo húmedo	=	137.6
Nº 200	0.074	0.00	0.00%	99.98%	0.02%	Peso del tarro + Mh	=	168.2	Peso suelo seco	=	125.1
Fondo	0.01	1.21	0.02%	100.00%	0.00%	Peso del tarro + Ms	=	155.8	% Humedad Muestra	=	10.0
TOTAL		5000.00									





Moyobamba, 20 de enero del 2021

INFORME N° 061– 2021 LM CECONSE-L L M

Señor : **MANUEL RUBEN OBREGÓN LOU**

Proyecto : "REMOCIÓN DE LA DBO5 Y DQO5 DEL AGUA RESIDUAL DEL CAMAL MUNICIPAL DE MOYOBAMBA MEDIANTE UN FILTRO DE PIEDRA PÓMEZ"

Asunto : **RESULTADOS DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.**

I. GENERALIDADES.

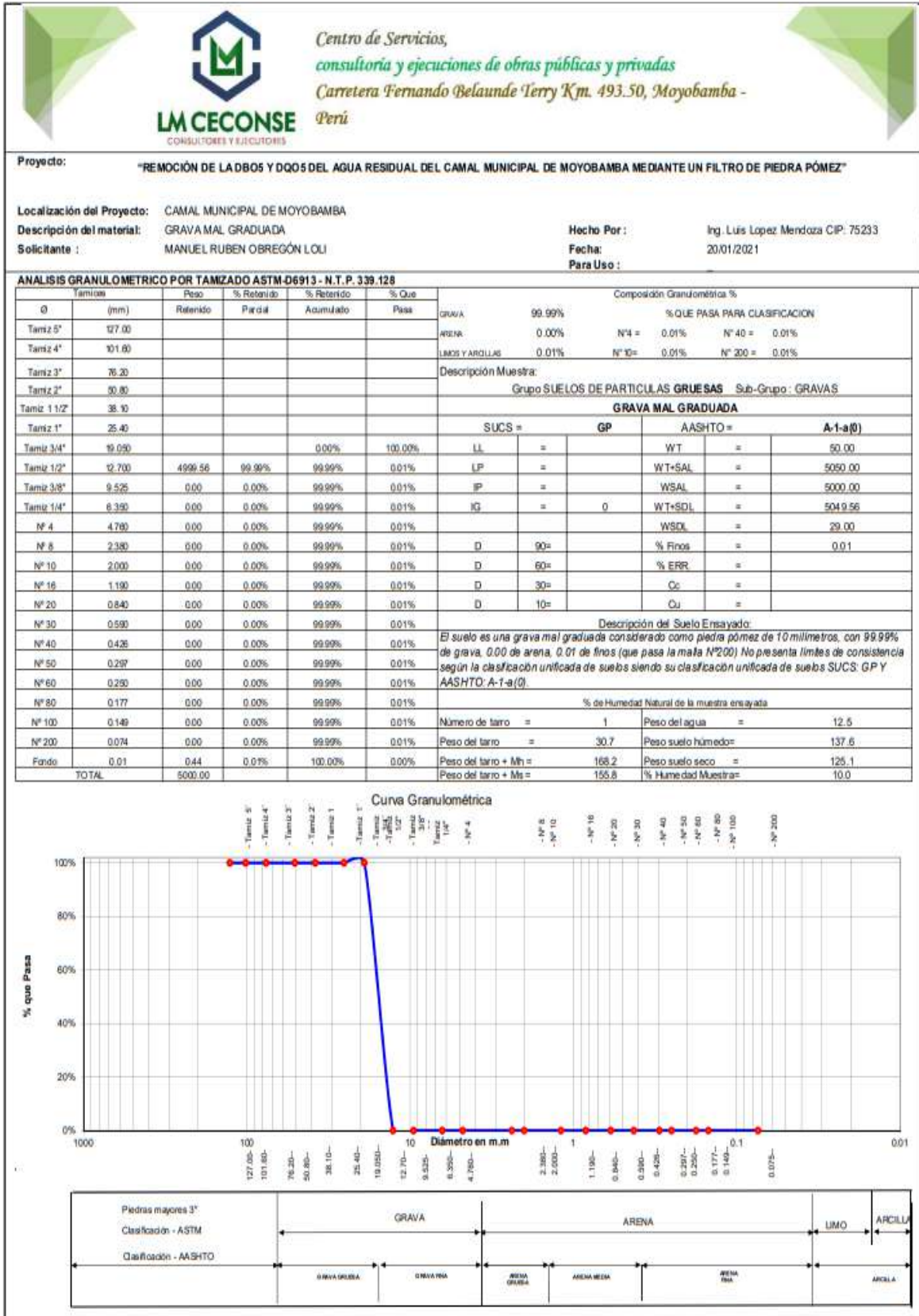
NOMBRE DEL PROYECTO

"REMOCIÓN DE LA DBO5 Y DQO5 DEL AGUA RESIDUAL DEL CAMAL MUNICIPAL DE MOYOBAMBA MEDIANTE UN FILTRO DE PIEDRA PÓMEZ"

INTRODUCCIÓN

El análisis granulométrico tiene como finalidad obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en las muestras de suelo. Así es posible determinar también su clasificación mediante sistemas SUCS o AASHTO.

Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente. Para suelos con tamaño de partículas mayor a 0,075 mm. (74 micrones) se utiliza el método de análisis mecánico mediante tamices de abertura y numeración.





Moyobamba, 20 de enero del 2021

INFORME N° 062– 2021 LM CECONSE-L L M

Señor : **MANUEL RUBEN OBREGÓN LOLI**

Proyecto : **“REMOCIÓN DE LA DBO5 Y DQO5 DEL AGUA RESIDUAL DEL CAMAL MUNICIPAL DE MOYOBAMBA MEDIANTE UN FILTRO DE PIEDRA PÓMEZ”**

Asunto : **RESULTADOS DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.**

I. GENERALIDADES.

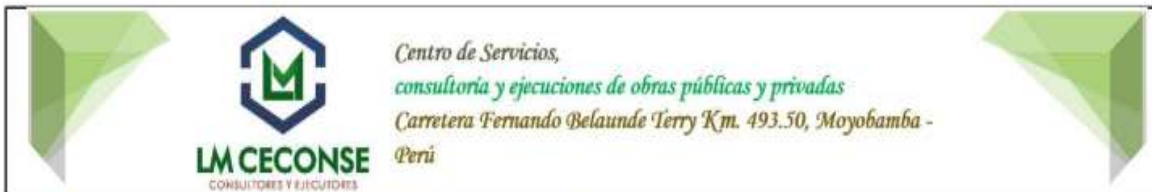
NOMBRE DEL PROYECTO

“REMOCIÓN DE LA DBO5 Y DQO5 DEL AGUA RESIDUAL DEL CAMAL MUNICIPAL DE MOYOBAMBA MEDIANTE UN FILTRO DE PIEDRA PÓMEZ”

INTRODUCCIÓN

El análisis granulométrico tiene como finalidad obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en las muestras de suelo. Así es posible determinar también su clasificación mediante sistemas SUCS o AASHTO.

Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente. Para suelos con tamaño de partículas mayor a 0,075 mm. (74 micrones) se utiliza el método de análisis mecánico mediante tamices de abertura y numeración.



Proyecto: "REMOCIÓN DE LA DBO5 Y DQO5 DEL AGUA RESIDUAL DEL CAMAL MUNICIPAL DE MOYOBAMBA MEDIANTE UN FILTRO DE PIEDRA PÓMEZ"

Localización del Proyecto: CAMAL MUNICIPAL DE MOYOBAMBA

Descripción del material: GRAVA MAL GRADUADA

Solicitante: MANUEL RUBEN OBREGÓN LOUI

Hecho Por: Ing. Luis Lopez Mendoza CIP: 75233

Fecha: 20/01/2021

Para Uso:

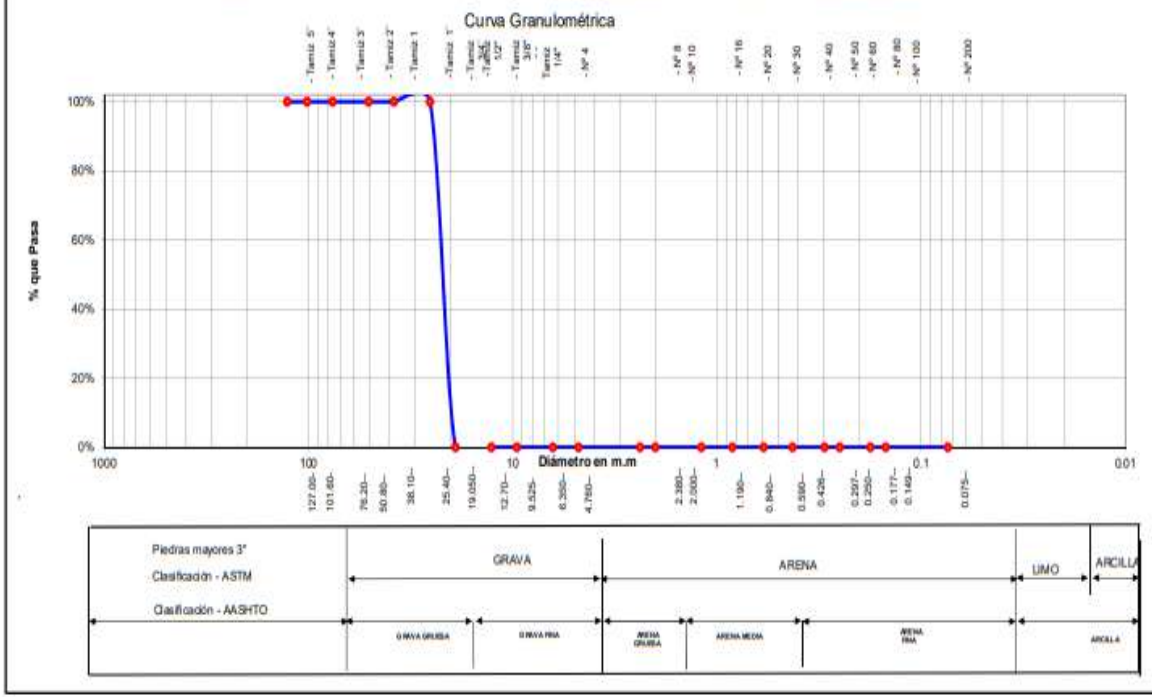
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM-D6913 - N.T.P. 339.128					
Tamiz	Ø (mm)	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
Tamiz 5"	127.00				
Tamiz 4"	101.60				
Tamiz 3"	76.20				
Tamiz 2"	50.80				
Tamiz 1 1/2"	38.10				
Tamiz 1"	25.40			0.00%	100.00%
Tamiz 3/4"	19.050	4999.86	100.00%	100.00%	0.00%
Tamiz 1/2"	12.700	0.00	0.00%	100.00%	0.00%
Tamiz 3/8"	9.525	0.00	0.00%	100.00%	0.00%
Tamiz 1/4"	6.350	0.00	0.00%	100.00%	0.00%
Nº 4	4.750	0.00	0.00%	100.00%	0.00%
Nº 8	2.380	0.00	0.00%	100.00%	0.00%
Nº 10	2.000	0.00	0.00%	100.00%	0.00%
Nº 16	1.190	0.00	0.00%	100.00%	0.00%
Nº 20	0.840	0.00	0.00%	100.00%	0.00%
Nº 30	0.590	0.00	0.00%	100.00%	0.00%
Nº 40	0.425	0.00	0.00%	100.00%	0.00%
Nº 50	0.297	0.00	0.00%	100.00%	0.00%
Nº 60	0.250	0.00	0.00%	100.00%	0.00%
Nº 80	0.177	0.00	0.00%	100.00%	0.00%
Nº 100	0.149	0.00	0.00%	100.00%	0.00%
Nº 200	0.074	0.00	0.00%	100.00%	0.00%
Fondo	0.01	0.14	0.00%	100.00%	0.00%
TOTAL		5000.00			

Composición Granulométrica %			
GRAVA	100.00%	% QUE PASA PARA CLASIFICACION	
ARENA	0.00%	Nº 4 = 0.00%	Nº 40 = 0.00%
LIMOS Y ARCILLAS	0.00%	Nº 10 = 0.00%	Nº 200 = 0.00%

Descripción del Suelo Ensayado:			
Grupo SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Sub-Grupo : GRAVAS			
GRAVA MAL GRADUADA			
SUCS =	GP	AASHTO =	A-1-a(0)
LL	=	WT	= 50.00
LP	=	WT+5AL	= 5050.00
IP	=	WSAL	= 5000.00
IG	= 0	WT+5CL	= 5049.86
		W5CL	= 29.00
D 90=		% Finos	= 0.00
D 60=		% ERR	=
D 30=		Cc	=
D 10=		Cu	=

Descripción del Suelo Ensayado:
 El suelo es una grava mal graduada considerado como piedra pómez de 15 milímetros, con 100.00% de grava, 0.00 de arena, 0.00 de finos (que pasa la malla Nº200) No presenta límites de consistencia según la clasificación unificada de suelos siendo su clasificación unificada de suelos SUCS: GP Y AASHTO: A-1-a(0).

% de Humedad Natural de la muestra ensayada			
Número de tarro	= 1	Peso del agua	= 12.5
Peso del tarro	= 30.7	Peso suelo húmedo	= 137.6
Peso del tarro + Mh	= 168.2	Peso suelo seco	= 125.1
Peso del tarro + Ms	= 155.8	% Humedad Muestra	= 10.0



Anexo 5. Datos de DBO₅ y DQO obtenidos en el laboratorio

Tabla 10

Datos de DBO₅ y DQO obtenidos en el laboratorio

Muestreo	Pretratamiento		Postratamiento											
			Filtro 5 mm				Filtro 10 mm				Filtro 15 mm			
	DBO ₅	DQO	DBO ₅	% rem	DQO	% rem	DBO ₅	% rem	DQO	% rem	DBO ₅	% rem	DQO	% rem
1	1 296,2	2 653,5	701,0	45,9	1 571,6	40,8	812,6	37,3	1 796,5	32,3	920,1	29,0	1 925,4	27,4
2	1 748,5	3 605,0	895,2	48,8	1 878,2	47,9	998,3	42,9	2 215,0	38,6	1 245,3	28,8	2 384,0	33,9
3	1 088,0	2 131,1	518,5	52,3	1 179,3	44,7	623,4	42,7	1 327,0	37,7	688,2	36,7	1 420,0	33,4
4	1 247,3	2 176,2	623,4	50,0	1 175,5	46,0	742,1	40,5	1 269,4	41,7	791,8	36,5	1 422,4	34,6
5	2 505,4	4 863,4	1225,1	51,1	2 652,2	45,5	1 462,0	41,6	2 960,5	39,1	1 570,0	37,3	3 148,2	35,3
6	1 899,6	3 939,2	960,3	49,4	2 183,7	44,6	1 149,5	39,5	2 502,4	36,5	1 248,6	34,3	2 770,1	29,7
7	940,0	1 872,3	498,5	47,0	1 112,0	40,6	566,4	39,7	1 178,2	37,1	660,5	29,7	1 265,0	32,4
8	1 011,1	2 240,0	510,0	49,6	1 274,2	43,1	645,2	36,2	1 451,0	35,2	679,3	32,8	1 584,0	29,3

Nota. Los valores de DBO₅ y DQO están en mg/L. % rem: porcentaje de remoción



Tesista

Manuel Ruben Obregón Loli

Anexo 6. Análisis estadísticos

Tabla 11

Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) de los datos de remoción para evaluar la influencia de la piedra pómez

	Estadístico	gl	Sig.
Disminución DBO ₅ – Filtro 5 mm	0,880	8	0,190
Disminución DBO ₅ – Filtro 10 mm	0,868	8	0,143
Disminución DBO ₅ – Filtro 15 mm	0,866	8	0,138
Disminución DQO – Filtro 5 mm	0,857	8	0,113
Disminución DQO – Filtro 10 mm	0,843	8	0,080
Disminución DQO – Filtro 15 mm	0,821	8	0,057

Tabla 12

Prueba T de muestras emparejadas

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
DBO ₅ – Filtro 5 mm	725,5125	280,9409	99,3276	490,6401	960,3849	7,304	7	< 0,001
DBO ₅ – Filtro 10 mm	592,0750	235,4692	83,2509	395,2179	788,9321	7,112	7	< 0,001
DBO ₅ – Filtro 15 mm	491,5375	212,5002	75,1302	313,8828	669,1922	6,542	7	< 0,001
DQO – Filtro 5 mm	1306,7500	518,3651	183,2697	873,3859	1740,1141	7,130	7	< 0,001
DQO – Filtro 10 mm	1097,5875	428,8763	151,6307	739,0380	1456,1370	7,239	7	< 0,001
DQO – Filtro 15 mm	945,2000	388,3075	137,2874	620,5668	1269,8332	6,885	7	< 0,001

Anexo 7. Panel fotográfico



Fotografía 1. Acondicionamiento del terreno para la instalación del sistema de filtros de piedra pómez.



Fotografía 2. Construcción del sistema de filtros de piedra pómez.



Fotografía 3. Construcción del sistema de filtros de piedra pómez.



Fotografía 4. Medición de caudal de ingreso a los filtros de piedra pómez.



Fotografía 5. Sistema de filtro de piedra pómez instalado en el camal municipal.



Fotografía 6. Muestreo de agua residual cruda y tratada del camal municipal de Moyobamba.



Fotografía 7. Funcionamiento del sistema de filtro de piedra pómez y puntos de muestreo donde se recolectaron las muestras postratamiento.



Fotografía 8. Muestras de agua residual cruda y tratada acondicionadas en un cooler para su traslado al laboratorio para su respectivo análisis.



Fotografía 9. preparación de muestras de agua residual cruda y tratada para su análisis de laboratorio.



Fotografía 10. Análisis de las concentraciones de DBO₅ y DQO del agua residual cruda y tratada del camal municipal de Moyobamba.

MANUEL RUBEN OBREGON LOLI

Remoción de la DBO5 y la DQO del agua residual del camal municipal de Moyobamba mediante un filtro de piedra pómez

 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN - FECOL

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:524498288

Fecha de entrega

7 nov 2025, 9:01 GMT-5

Fecha de descarga

7 nov 2025, 9:32 GMT-5

Nombre del archivo

ok. Informe final de tesis - Manuel Obregón Loli.docx

Tamaño del archivo

5.8 MB

76 páginas

15.756 palabras

84.815 caracteres

15% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 13%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 11%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.