

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

COMPARACIÓN DEL TRATAMIENTO AEROBIO DE  
AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES DE LA PTAR  
MAGOLLO CON LODOS ACTIVADOS Y  
MICROORGANISMOS EFICIENTES

TESIS

Presentada por:

Bach. Jhulyus Anthony Jossepe Ticona Calcina

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

TACNA – PERÚ

2024

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

Facultad de Ciencias Agropecuarias

**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**

**TESIS**

**COMPARACIÓN DEL TRATAMIENTO AEROBIO DE  
AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES DE LA PTAR  
MAGOLLO CON LODOS ACTIVADOS Y  
MICROORGANISMOS EFICIENTES**

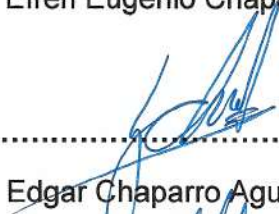
SUSTENTADA Y APROBADA EL 05 DE setiembre DEL 2024,  
SIENDO EL JURADO CALIFICADOR:

**PRESIDENTE:**



.....  
Dr. Efrén Eugenio Chaparro Montoya

**SECRETARIO:**



.....  
Dr. Edgar Chaparro Aguilar

**VOCAL:**



.....  
Dr. Carlos Francisco Tito Vargas

**ASESOR:**



.....  
Dr. Williams Sergio Almanza Quispe

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, WILLIAMS SERGIO ALMANZA QUISPE, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 8088-2023-FCAG de la tesis, titulada:

“COMPARACIÓN DEL TRATAMIENTO AEROBIO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES DE LA PTAR MAGOLLO CON LODOS ACTIVADOS Y MICROORGANISMOS EFICIENTES”

Presentado por el bachiller JHULYUS ANTHONY JOSSEPE TICONA CALCINA, para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del **software de similitud textual TURNITIN** cuenta con el **nivel de similitud permitido** cuyo porcentaje es de 7 %. Por lo que, **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciada líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental, según corresponda consiguientemente la publicación en el repositorio institucional.

FIRMA ASESOR  
Williams Sergio Almanza Quispe, 44369780



FIRMA TESISTA  
Jhulyus Anthony Jossepe Ticona Calcina, 76244150



## **DEDICATORIA**

A Dios y a mi familia, por haberme dado la fortaleza para poder llevar a cabo esta investigación frente a las adversidades que se fueron presentando en el camino de su ejecución, brindarme consejos y acompañarme hasta el final del camino.

## **AGRADECIMIENTO**

A la vida, por haberme dado los obstáculos necesarios para poder fortalecerme como persona y como profesional.

A mis padres, por haber sido fuente de fortaleza y amor para no detenerme ante las adversidades y las dificultades que se fueron presentando.

Al Ing. Álvaro Nilton Herrera Villanueva, por apoyarme directamente con la realización de esta investigación que permitirá abrir puertas a futuras investigaciones relacionadas con la problemática que decidí evaluar.

## CONTENIDO

	<b>Pág</b>
	.
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>IV</b>
<b>CONTENIDO .....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>XII</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS .....</b>	<b>XIII</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XIV</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XV</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1	Planteamiento del problema .....	3
1.2	Formulación y sistematización del problema .....	7
1.2.1	Problema general .....	7
1.2.2	Problemas específicos .....	7
1.3	Delimitación de la investigación .....	8
1.3.1	Delimitación temporal .....	8
1.3.2	Delimitación espacial .....	8
1.3.3	Delimitación teórica .....	8

1.4	Justificación .....	9
1.4.1	Justificación social .....	9
1.4.2	Justificación económica .....	9
1.4.3	Justificación ambiental .....	10
1.4.4	Justificación científica .....	11
1.5	Limitaciones .....	11

## **CAPÍTULO II**

### **OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

2.1	Objetivos .....	12
2.1.1	Objetivo general .....	12
2.1.2	Objetivos específicos .....	12
2.2	Hipótesis .....	12
2.2.1	Hipótesis general .....	12
2.2.2	Hipótesis específicas .....	13
2.3	Variables .....	13
2.3.1	Definición de variables .....	13
2.3.2	Identificación de variables .....	14
2.3.3	Operacionalización de variables .....	14

**CAPÍTULO III**  
**MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

3.1	Marco referencial .....	16
3.1.1	Nivel internacional .....	16
3.1.2	Nivel nacional .....	21
3.1.3	Nivel local .....	25
3.2	Bases teóricas .....	29
3.2.1	Aguas residuales .....	29
3.2.2	Lodos activados .....	37
3.2.3	Microorganismos eficientes .....	41
3.3	Definición de conceptos básicos .....	42
3.3.1	Aereación .....	42
3.3.2	Agua residual .....	43
3.3.3	Aceites y grasas .....	43
3.3.4	Caudal del diseño .....	43
3.3.5	Coliformes .....	43
3.3.6	Demanda Bioquímica de Oxígeno .....	44
3.3.7	Demanda Química de Oxígeno .....	44
3.3.8	Estándares de Calidad Ambiental .....	44
3.3.9	Floculación .....	44

3.3.10	Índice de biodegradabilidad .....	44
3.3.11	Lodo activado .....	45
3.3.12	Oxígeno disuelto .....	45
3.3.13	Potencial de hidrógeno .....	45
3.3.14	Relación alimento/microorganismos .....	45
3.3.15	Tiempo de retención hidráulica .....	46
3.3.16	Valorización .....	46

## **CAPÍTULO IV**

### **MARCO METODOLÓGICO**

4.1	Caracterización o tipo del diseño de investigación .....	47
4.2	Lugar de estudio .....	47
4.3	Población y/o muestra de estudio .....	48
4.3.1	Población .....	48
4.3.2	Muestra .....	48
4.4	Método .....	49
4.5	Técnicas aplicadas en la recolección de la información ..	50
4.6	Instrumentos de la investigación .....	58
4.6.1	Materiales .....	58

**CAPÍTULO V**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

5.1	Resultados .....	60
5.1.1	Análisis las características fisicoquímicas y biológicas del agua residual municipal del afluyente de la PTAR Magollo	60
5.1.2	Efecto del uso de lodos activados y microorganismos eficientes en aguas residuales municipales en función a su calidad fisicoquímica y biológica .....	64
5.2	Discusión de resultados .....	78
5.2.1	Discusión de las características fisicoquímicas y biológicas del agua residual municipal del afluyente de la PTAR Magollo .....	78
5.2.2	Discusión del efecto del uso de lodos activados y microorganismos eficientes en aguas residuales municipales en función a su calidad fisicoquímica y biológica .....	79
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>81</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>82</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>83</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>98</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Operacionalización de variables .....	14
<b>Tabla 2.</b> Estándares de Calidad Ambiental para riego de vegetales y bebida de animales .....	35
<b>Tabla 3.</b> Límites Máximos Permisibles para efluentes municipales .....	36
<b>Tabla 4.</b> Parámetros de diseño .....	55
<b>Tabla 5.</b> Promedio de los resultados de los parámetros fisicoquímicos y biológicos de la muestra de agua residual municipal .....	60
<b>Tabla 6.</b> Análisis de varianza de Demanda Bioquímica de Oxígeno de la muestra inicial .....	61
<b>Tabla 7.</b> Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p > 0,05$ ) para DBO de las muestras iniciales .....	61
<b>Tabla 8.</b> Análisis de varianza de Demanda Química de Oxígeno de la muestra inicial .....	62
<b>Tabla 9.</b> Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p > 0,05$ ) para DQO de las muestras iniciales .....	62
<b>Tabla 10.</b> Análisis de varianza de Coliformes Termotolerantes de Oxígeno de la muestra inicial .....	63
<b>Tabla 11.</b> Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p > 0,05$ ) para Coliformes Termotolerantes de las muestras iniciales .	63
<b>Tabla 12.</b> Resultados de los análisis del parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno .....	66

<b>Tabla 13.</b>	Análisis de varianza de los resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno .....	67
<b>Tabla 14.</b>	La prueba de rango múltiple de Tukey ( $p > 0,05$ ) para DBO en base a los tratamientos .....	67
<b>Tabla 15.</b>	La prueba de rango múltiple de Tukey ( $p > 0,05$ ) para DBO en base a las horas .....	68
<b>Tabla 16.</b>	Resultados de los análisis del parámetro Demanda Química de Oxígeno .....	68
<b>Tabla 17.</b>	Análisis de varianza de los resultados de Demanda Química de Oxígeno .....	69
<b>Tabla 18.</b>	La prueba de rango múltiple de Tukey ( $p > 0,05$ ) para DQO en base a los tratamientos .....	69
<b>Tabla 19.</b>	La prueba de rango múltiple de Tukey ( $p > 0,05$ ) para DQO en base a las horas .....	70
<b>Tabla 20.</b>	Resultados de los análisis del parámetro Coliformes Termotolerantes .....	70
<b>Tabla 21.</b>	Análisis de varianza de los resultados de Coliformes Termotolerantes .....	71
<b>Tabla 22.</b>	La prueba de rango múltiple de Tukey ( $p > 0,05$ ) para Coliformes Termotolerantes en base a los tratamientos .....	71
<b>Tabla 23.</b>	La prueba de rango múltiple de Tukey ( $p > 0,05$ ) para Coliformes Termotolerantes en base a las horas .....	72
<b>Tabla 24.</b>	Parámetros del tratamiento con lodos activados (T2) y lodos con microorganismos eficientes (T1) .....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Diagrama de variables .....	13
<b>Figura 2.</b> Mapa de ubicación del afluente de la PTAR Magollo ...	48
<b>Figura 3.</b> Diagrama de flujo para la obtención de la muestra .....	49
<b>Figura 4.</b> Flujograma de las etapas del desarrollo de la investigación .....	59
<b>Figura 5.</b> Reactor tipo carrusel .....	64
<b>Figura 6.</b> Ensamblaje del sistema de aireación .....	65
<b>Figura 7.</b> Esquema del reactor tipo carrusel elaborado para los tratamientos .....	65
<b>Figura 8.</b> Comparación de los resultados del parámetro pH de la muestra final .....	73
<b>Figura 9.</b> Comparación de los resultados del parámetro Conductividad Eléctrica de la muestra final .....	74
<b>Figura 10.</b> Comparación de los resultados del parámetro Oxígeno disuelto de la muestra final .....	75
<b>Figura 11.</b> Comparación de los resultados del parámetro DBO de la muestra final .....	76
<b>Figura 12.</b> Comparación de los resultados del parámetro DQO de la muestra final .....	77
<b>Figura 13.</b> Comparación de los resultados del parámetro Coliformes Termotolerantes de la muestra final .....	78

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 1.</b> Matriz de consistencia .....	99
<b>Anexo 2.</b> Acta de compromiso para acceso al área para ejecución de tesis .....	100
<b>Anexo 3.</b> Evidencia fotográfica .....	103

## RESUMEN

El agua es uno de los recursos naturales más indispensables para la vida, ya que sustenta el desarrollo de diversas actividades humanas, por lo que se debe priorizar su tratamiento. Este estudio se ha realizado con el **objetivo** de comparar el tratamiento aerobio de aguas residuales municipales de la PTAR Magollo con lodos activados y microorganismos eficientes. Para la **metodología** se llevó a cabo la extracción de una muestra de 360 litros de agua, obtenida directamente del afluente para analizar los valores iniciales de pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, DBO, DQO y Coliformes Termotolerantes. Luego se construyeron dos reactores tipo carrusell para los ensayos de tratabilidad que implicaron la aplicación de lodos convencionales y lodos previamente enriquecidos con microorganismos eficientes y se tomó una muestra final con el fin de determinar la eficiencia de ambos tratamientos. Los mejores **resultados** obtenidos corresponden a la aplicación del tratamiento T1 a las 72 h, cumpliendo con el ECA de agua para riego de vegetales, por lo cual se llegó a la **conclusión** que el tratamiento a base de lodos enriquecidos con microorganismos eficientes es mucho más efectivo que el tratamiento a base de lodos activados.

**Palabras clave:** Efectividad, estándares de calidad ambiental, lodos activados, microorganismos eficientes.

## **ABSTRACT**

Water is a fundamental resource for various daily activities of people around the world. However, after use, it undergoes a transformation as it mixes with excreta, urine, food remnants, etc; resulting in large quantities of wastewater. Therefore, prioritizing its treatment is crucial. This research aims to compare the aerobic treatment of municipal wastewater from the Magollo WWTP using activated sludge and efficient microorganisms. For the methodology, a 360-liter from the influent of the Magollo WWTP for initial pH values, electrical conductivity, dissolved oxygen, BOD, COD, and Thermotolerant Coliforms. Two carousel-type reactors were then constructed for both proposed treatments. During the treatability testing process with activated sludge and activated sludge enriched with efficient microorganisms using an experimental design, and a final sample was taken to determine the efficiency of both treatments. The best results were obtained with treatment T1 after 72 hours, fulfilling the water quality standards for vegetable irrigation. Consequently, it was concluded that the treatment based on sludge enriched with efficient microorganisms is much more effective than treatment based on activated sludge.

**Keywords:** Activated sludge, Effectiveness, Efficient microorganisms, Environmental Quality Standards.

## INTRODUCCIÓN

El uso de agua es una necesidad primordial para las actividades diarias de las personas, sea para el uso personal, domésticas, recreativas o actividades económicas, por tanto, es importante aplicar soluciones ambientales sostenibles para su tratamiento con el fin de que se salvaguarde la integridad de los habitantes y de nuestra región (Calderón et al., 2019). Entre esas soluciones está la obligación de una intervención necesaria hacia las aguas residuales de todo tipo, de manera que se tengan parámetros aceptables y sus residuos sean tratados como corresponde, sin embargo, no se cumple a grandes rasgos (Briceño y Torpoco, 2022).

En el Perú, las autoridades pretenden transformar positivamente las condiciones sociales tanto en sectores urbanos como rurales ya que en diversos puntos del país no se cuentan con desagüaderos y se opta por fosas sépticas, lo cual representa un foco infeccioso al no realizarse un mantenimiento programado y las condiciones en las que se mantiene, captando roedores y dando lugar a desafíos sanitarios de impacto recurrente en la nación (Díaz y Collantes, 2019).

Ya se cuenta con un organismo especializado en regular y controlar las actividades ambientales, además de fiscalizar todo vertido de aguas, con el fin de preservar las condiciones normales de los bienes ecológicos y así evitar dañar el equilibrio ecológico (Hualpa, 2019), aproximadamente

de un 60 a 100 % de los elementos nocivos en fuentes hídricas deben ser removidos previo a su descarga en ríos, lagos o mares; lo cual se consigue mediante la depuración biológica de aguas servidas mediante biomasa activa (Huamani, 2020), con lo cual los efluentes reducen su concentración de DBO, DQO y Coliformes Termotolerantes.

Por ello es fundamental establecer un método de depuración eficiente, razón por la que la presente investigación plantea comparar la efectividad del sistema aerobio de aguas servidas municipales de la PTAR Magollo mediante lodos convencionales y microorganismos eficientes.

El primer apartado de la investigación desarrolla la problemática central, estableciendo su descripción, formulación, fundamentación, relevancia, limitaciones y alcances. El segundo capítulo presenta los antecedentes investigativos, los cimientos teóricos y la definición de términos esenciales. En el tercer capítulo se expone la estructura metodológica, detallando la tipología y el diseño del estudio, el grupo poblacional, la muestra, la operacionalización de las variables y las herramientas para la recolección de información. En el cuarto capítulo, se exhiben los hallazgos obtenidos conforme a los objetivos. Finalmente, el quinto capítulo aborda la discusión, donde se contrastan los resultados con estudios previos, y se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.1 Planteamiento del problema

El agua se torna fundamental como parte de diversas actividades en beneficio de la población (Morales et al., 2022), las cuales pueden alterar su estado inicial a causa de la adición de fosfatos y nitratos por el uso desmedido de detergentes en el lavado de ropa y la limpieza del hogar (Chauca y Tadeo, 2022) o por la presencia de sustancias orgánicas provenientes de excretas, restos de comida o desechos de origen animal (Paz, 2019), siendo estos los agentes que producen cambios que alteran sus condiciones iniciales y afectando la calidad del cuerpo de agua más cercano al ser reincorporado en el mismo sin el tratamiento correspondiente, alterando su calidad y produciendo contaminación (Velasco y Molano, 2019). Al producirse dicha contaminación, la población que haga uso de ella se expone con facilidad a ciertos agentes patógenos como *Cryptosporidium sp.*, *Escherichia Coli* y colífagos somáticos; provocando malos olores, diarrea y otras afecciones a la salud y al ambiente (Morales et al., 2022).

Esta consecuencia preocupante surge desde la búsqueda de una mejor calidad de vida sin considerar las consecuencias y al cambio climático que amenaza con reducir aún más el porcentaje de agua dulce en el planeta (Limache y Tirado, 2022). Frente a ello se establecen compromisos ambientales a través de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Centeno y Murillo, 2019), especificados en los 3, 6, 7, 11 y 15, buscando promover la adopción generalizada de métodos ecológicos de saneamiento para aguas servidas, disminuyendo el porcentaje de aguas servidas sin depurar, empleando el agua reutilizada para la irrigación de entornos naturales urbanos a fin de incrementar la proporción de áreas verdes (Baldeón y Chávez, 2023) y sugiriendo la valorización de los derivados generados por las metodologías empleadas en la depuración de aguas servidas e incluso, de manera que se asegure la disponibilidad del recurso hídrico para las futuras generaciones al reestablecer el ciclo natural del agua mediante el vertido del efluente higiénicamente apto, es decir, sin excretas ni agentes contaminantes adversos (Montenegro et al., 2019).

Un aproximado del 70 % de aguas residuales a nivel mundial no pasan por un proceso de tratamiento que aproxime sus parámetros a valores aceptables; siendo una viva representación el Perú, con un porcentaje similar a nivel nacional (Campos y Marchán, 2021). Si bien se cuenta con PTAR's en varios departamentos del Perú, aún existe un

aproximado de 89 localidades que cuentan con una en funcionamiento (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS], 2022). Gran parte de las ya existentes hace uso de lagunas facultativas, presentándose una remoción de materia orgánica en un 50 % y no se realizan suficientes labores de operación y mantenimiento debido a una malinterpretación del concepto de bajo costo; presentándose por ello una sobrecarga orgánica que hace que se considere dicha tecnología como ineficiente (Campos y Marchán, 2021). En núcleos poblacionales que no disponen de un sistema integrado de saneamiento básico se presentan focos infecciosos que atraen vectores y enfermedades que se manifiestan en mayor medida con el pasar del tiempo (Díaz y Collantes, 2019).

Para el cumplimiento de dichas demandas se tiene la depuración de aguas servidas a modo de una acción prioritaria que tiene la finalidad de lograr que se ajuste a los parámetros estipulados por la reglamentación en vigor (Ávalos, 2019). Para lograr ello se selecciona, bajo ciertos criterios, la tecnología a emplear en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) a proponer y, si es el caso, contemplar opciones para poder brindar dichos servicios en comunidades alejadas del núcleo urbano (Solano et al., 2022).

Una opción factible que cubre dichos aspectos son los lodos activados, los cuales son el subproducto principal de casi gran parte de las

PTAR's (Velasco y Molano, 2019) por lo que buscar medidas para disminuir su generación y para su tratamiento son fundamentales para el desarrollo de la sostenibilidad del recurso hídrico. Esta tecnología hace uso de flóculos, los cuales albergan una gran variedad de bacterias, hongos, protozoarios, rotíferos, entre otros que trabajan en conjunto en la biooxidación de los residuos biológicos (Peralta, 2024). A pesar de presentar una elevada eficiencia, es una opción que requiere de una adecuada planificación para su implementación puesto a que puede presentar un desequilibrio entre su funcionamiento y la inversión (Cortez, 2022), a la vez de la inversión requerida para operatividad y mantenimiento.

Por otro lado, los microorganismos eficientes tienen una alta tasa de aceptación debido a que tienen una acción más rápida al contar con una mezcla de microorganismos naturales específicos con un determinado nivel de temperatura, pH y oxígeno para su óptimo desarrollo, teniendo como única deficiencia la reducción de su acción ante presencia de metales y una elevada dureza (Calderón et al., 2019).

Debido a que en la PTAR Magollo se registra el incumplimiento de ciertos parámetros como DBO, DQO y coliformes termotolerantes (Calisaya, 2023) e incluso ya se ha declarado en varias ocasiones su colapso (Limache y Tirado, 2022) debido a que cada vez la población tacneña es mayor y a la vez que se presentan precipitaciones a lo largo del

año que llegan a incrementar el caudal que llega a la PTAR Magollo hasta unos 375 L/s, excediendo el caudal de diseño actual de 180 L/s y por ende dificultando el proceso de tratamiento en las lagunas facultativas (Ramos y Chambilla, 2022). Es por todo esto que presentamos esta investigación donde damos a conocer una comparación entre el tratamiento de lodos activados y otro igual, pero con la adición de microorganismos eficientes, los cuales representan una alternativa sostenible para dar abasto al tratamiento de la materia biológica contenida en las aguas servidas del afluente de la PTAR Magollo.

## **1.2 Formulación y sistematización del problema**

### **1.2.1 Problema general**

- ¿Cómo se realiza una comparación entre el tratamiento aerobio de aguas residuales municipales de la PTAR Magollo con lodos activados y microorganismos eficientes?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas y biológicas del agua residual municipal del afluente de la PTAR Magollo?
- ¿Cuál es el efecto del uso de lodos activados y microorganismos eficientes en aguas residuales municipales en función a su calidad fisicoquímica y biológica?

### **1.3 Delimitación de la investigación**

#### **1.3.1 Delimitación temporal**

La ejecución del proyecto de investigación se efectúa en el periodo 2023 en la época de primavera, comprendida entre los meses de noviembre, diciembre y mediados de enero; desde la adquisición de materiales y equipos para la construcción de los sistemas a emplear junto con la solicitud del espacio para la ejecución de los tratamientos hasta la obtención de los datos de laboratorio.

#### **1.3.2 Delimitación espacial**

El espacio para el presente proyecto se encuentra en la región de Tacna, provincia Tacna y en la irrigación Magollo para el muestreo de agua del ingreso de aguas servidas del sistema de saneamiento de Magollo, mientras que la ejecución de los tratamientos y la extracción de unidades de prueba para los análisis finales se determinan en el CEA III – Fundo Los Pichones de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann

#### **1.3.3 Delimitación teórica**

La investigación se enfoca principalmente en la comparación del saneamiento de aguas servidas municipales con la aplicación de la tecnología de lodos activados y una combinación entre la misma y microorganismos eficientes.

## **1.4 Justificación**

### **1.4.1 Justificación social**

A través del presente estudio, se satisface la creciente demanda de un sistema adecuado de depuración de aguas servidas a causa del colapso que se evidencia en las PTAR de Tacna a causa del incremento del caudal de sus afluentes y a la escasez hídrica que se resalta cada vez más en diversos distritos del Perú a causa del cambio climático y a la sobreexplotación de cuencas, siendo principalmente afectadas las comunidades altoandinas de Tacna (D.S. 035-2023-PCM, 2023), donde se tiene la potencial posibilidad de extraer casi toda la fracción contaminante biodegradable acumulada en aguas servidas y, con adición de otras tecnologías, puede ser transformada en agua potable y a los lodos crudos en derivados sustituyentes de gran calidad. Con ello se logra reducir el impacto del vertido de los efluentes de las PTAR en cuerpos de agua, minimizando los conflictos socioambientales por la disponibilidad del recurso hídrico y permite que se reestablezca el equilibrio hidrológico.

### **1.4.2 Justificación económica**

Con la aplicación de lodos activados junto a microorganismos eficientes como tecnología de tratamiento de aguas servidas se reconoce su potencial como una fuente de ingresos sostenible, al poder recircularse los lodos crudos como lodos activados a través de un proceso de

enriquecimiento con microorganismos eficientes que puede financiarse mediante la valorización de una parte de los lodos crudos en forma de diversos insumos para reemplazar a otros productos de uso diario que son caros y perjudiciales para el medio ambiente. Dicho sistema generalmente presenta una eficiencia mayor al 80 % con un menor consumo de energía a la vez de emplearse en un área reducida (Buitrago, 2022) y coste de inversión bajo en cuanto a la aplicación propia del lodo (Candela, 2020)

#### **1.4.3 Justificación ambiental**

Es fundamental el uso de tecnología de tratamiento de aguas residuales sustentada en biomasa activa y microorganismos eficientes en Tacna ya que como la PTAR Magollo se encuentra dentro del conjunto de las PTAR en Perú que se encuentran categorizadas como grandes y su tecnología de tratamiento se basa principalmente en la aplicación de lagunas facultativas (SUNASS, 2022), se tiene una gran deficiencia en el proceso de tratamiento al remover solo un 50 % de la carga orgánica en aguas residuales y operando sin recursos financieros ni un plan de mantenimiento, vertiendo sus efluentes al cuerpo de agua más cercano o usarlo para riego de vegetales y como bebida de animales, generando contaminación en ecosistemas acuáticos a causa de la intrusión de agentes adversos y exceso de nutrientes (Huamán, 2020).

#### **1.4.4 Justificación científica**

La investigación que se realiza brinda una base de datos actualizada sobre los parámetros fisicoquímicos y biológicos del afluente de la PTAR Magollo, por lo que estos valores continúan incrementándose debido a las precipitaciones y al consumo del recurso hídrico en actividades domésticas. Además, considerando los valores de DBO - DQO del afluente de la PTAR Magollo registrados por Limache y Tirado (2022) y de la Entidad Prestadora de Servicios de Tacna (Empresa Prestadora de Servicios Tacna [EPS Tacna], 2022) de 117,3 mg/L - 280 mg/L y de 377,8 mg/L - 756 mg/L respectivamente, obtenemos índices de biodegradabilidad de 0,42 y 0,50 respectivamente, siendo estos propios de aguas residuales poco biodegradables según Salazar (2021) o medianamente biodegradables según Perojo et al. (2022); por lo que una tecnología con gran eficiencia será necesaria para remover carga orgánica.

#### **1.5 Limitaciones**

Todos los análisis contemplados en la presente investigación se efectúan por encargo a terceros en un laboratorio que cuenta con un procedimiento para muestras provenientes de aguas residuales y que está certificado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL).

## **CAPÍTULO II**

### **OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

#### **2.1 Objetivos**

##### **2.1.1 Objetivo general**

- Comparar el tratamiento aerobio de aguas residuales municipales de la PTAR Magollo con lodos activados y microorganismos eficientes.

##### **2.1.2 Objetivos específicos**

- Analizar las características fisicoquímicas y biológicas del agua residual municipal del afluente de la PTAR Magollo.
- Evaluar el efecto del uso de lodos activados y microorganismos eficientes en aguas residuales municipales en función a su calidad fisicoquímica y biológica.

#### **2.2 Hipótesis**

##### **2.2.1 Hipótesis general**

- Si se compara el tratamiento aerobio de aguas residuales municipales de la PTAR Magollo con lodos activados y microorganismos eficientes entonces se determina cual es el mejor.

## 2.2.2 Hipótesis específicas

- El análisis del agua residual municipal del afluente de la PTAR Magollo permite determinar sus características fisicoquímicas y biológicas.
- El efecto del uso de lodos activados y microorganismos eficientes en el tratamiento de aguas residuales municipales influye en su calidad fisicoquímica y biológica.

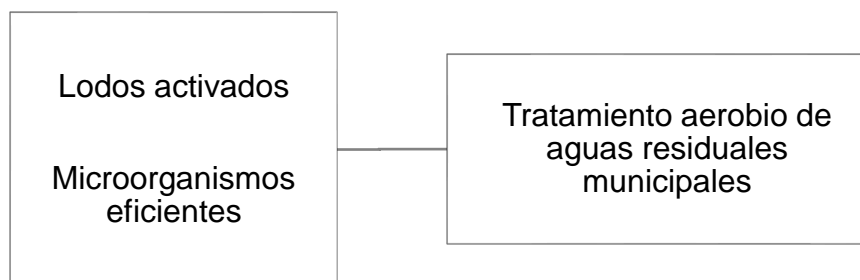
## 2.3 Variables

### 2.3.1 Definición de variables

La figura 1 muestra la representación de variables del presente trabajo, se presenta la variable independiente “Lodos activados” y “Microorganismos eficientes”; por otro lado, se tiene la variable dependiente “Tratamiento aerobio de aguas residuales municipales”.

#### Figura 1

*Diagrama de variables*



*Nota.* Las variables mencionadas comparten parámetros de evaluación.

### 2.3.2 Identificación de variables

Variables independientes:

- Lodos activados.
- Microorganismos eficientes.

Variables dependientes

- Tratamiento aerobio de aguas residuales municipales.

### 2.3.3 Operacionalización de variables

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

<b>Variables</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>
<b>V.I.</b> Lodos activados	Biomasa suspensión	en Porcentaje de lodo
<b>V.I.</b> Microorganismos eficientes (ME)	Población microorganismos eficientes	de Concentración
<b>V.D.</b> Tratamiento aerobio de aguas residuales municipales	Cantidad de oxígeno	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
	Materia orgánica	Demanda Química de Oxígeno (DQO) Coliformes Termotolerantes

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL**

#### **3.1 Marco referencial**

##### **3.1.1 Nivel internacional**

Arciniega y Salazar (2021) en su estudio titulado “Diseño de la planta de tratamiento de agua residual mediante lodos activados para la comunidad de Pesillo” evalúa la capacidad de biodegradabilidad del agua residual en mención mediante el índice de biodegradabilidad, el cual fue 0,41 según lo que registra, concluyendo que el tratamiento biológico es el ideal para las condiciones del agua residual en estudio; además, menciona que la aereación contribuye eficientemente con el desarrollo de las comunidades bacterianas presentes en los lodos y en la degradación de la carga orgánica.

Félix y Leiva (2023) en su investigación titulada “Diseño y construcción de una micro planta de tratamiento de aguas residuales con tecnologías de lodos activados en sistema biológico secundario en el Centro de Experimentación Ayora” realiza el cálculo de parámetros como pH, solidos sedimentables, DQO, DBO, conductividad, entre otros para la construcción de la micro planta en la que realizó una prueba de tratamiento

con lodos activados donde trabaja a una DQO inicial de 2 360 mg/L que disminuye hasta una DQO final de 310 mg/L, con lo cual concluye que el tratamiento efectuado con lodos activados permite cumplir con la normativa ambiental vigente que la respalda.

Galindo et al. (2021) en su artículo de investigación titulado “Caracterización de aguas residuales tratadas de la Comarca Lagunera y su viabilidad en el riego agrícola” nos habla sobre el uso de agua residual tratado para el riego orientado a los forrajes gracias a su gran contenido de nutrientes y a la minimización de la contaminación frente a otros fertilizantes con un menor aporte. Al realizar muestreos a las plantas por once meses obtiene valores de 23,5 mg/L de N; 4 mg/L de P y 22 mg/L de K aproximadamente, además de presentar una alta salinidad y carga orgánica, excediendo los límites máximos permisibles considerados.

Guerra et al. (2021) en su artículo de investigación titulado “Prototipo para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria quesera en el Cantón Guano, provincia de Chimborazo” da a conocer el gran problema de la industria quesera al tener como una desventaja sus aguas residuales con una gran carga orgánica, por lo que busca proponer un diseño conformado por la caracterización de sus aguas residuales, análisis de lodos activados y el estudio de las propiedades de la carga orgánica para remover materia orgánica; a su vez, centra la alternativa en

el tiempo de retención hidráulico aplicado de 12, 24, 48 y 72 horas, obteniendo una DBO de 21 600 mg/L a 59 mg/L y una DQO de 60 600 mg/L a 25 040 mg/L, con una eficiencia del 99,7 %. De esta forma llega a la conclusión de se requiere un considerable tiempo de retención hidráulico para poder obtener una mayor disminución de DBO y DQO, además de reconocer que el proceso de depuración con fangos activos evidencia una significativa reducción del contenido orgánico.

Mejía y Ayala (2019) en su investigación titulada “Evaluación del uso de diferentes niveles de inyección de aire en un reactor de lodos activados con presión a escala piloto” realiza el monitoreo in situ de los parámetros pH, oxígeno disuelto, temperatura y caudal, con los que establece el tiempo de retención hidráulico (TRH) y la inyección de aire; a su vez, registra de forma ex situ parámetros como los sólidos totales y las demandas tanto bioquímica como química de oxígeno con el fin de determinar la eficiencia de remoción final de la carga orgánica en el biorreactor; concluyendo que se realiza una remoción eficaz con cortos tiempos de retención y la disminución de hasta un 15 % de aire.

Quinatoa de la Cruz (2022) en su estudio titulado “Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de lodos activados para el Camal Municipal del Cantón Mejía” evalúa ciertos parámetros fundamentales con los cuales genera las dimensiones óptimas

para el tratamiento, concluyendo que con la correcta identificación y análisis de las muestras del agua residual que se pretende tratar, se pueden emplear las tecnologías de tratamiento óptimas para lograr una mayor eficiencia.

Rosas y Ramón (2021).en su artículo de investigación titulado “Biodegradabilidad de lixiviados procedentes de un relleno sanitario utilizando un sistema de lodos activados flujo pistón” resalta la importancia de la consideración del Tiempo de Retención Celular (TRC) en el tratado de cargas altas de lixiviado y poder determinar la cinética el sistema empleado, además de ser una variable importante para poder trabajar en operación continua, Concluye que para 50 L se requiere de un factor F/M de 1,1 KgDQO/KgSSV.d con un TRC de 15, con lo cual se amplía la aplicación de estas variables en el campo del diseño de biorreactores.

Sánchez y Román (2020) en su estudio titulado “Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales para una empresa empaquera y exportadora de camarón en la ciudad de Guayaquil” concluye que lo primordial a considerar para cualquier diseño de tecnología de tratamiento es el caudal del afluente a tratar.

Trujillo (2020) en su investigación titulada “Dimensionamiento hidráulico de un reactor biológico de lodos activados para el Camal Municipal de Lago Agrio” realiza la medición a parámetros fisicoquímicos y

biológicos con los que evidencia las condiciones en las que se encontraban las aguas residuales a tratar, por lo que considera un tanque aireador de lodos activados y un clarificador secundario como etapas fundamentales para la correcta ejecución del tratamiento biológico. Con dichas consideraciones, concluye que con la aplicación de la propuesta para una DQO inicial de 2 354,50 mg/L se consigue hasta un 95 % de remoción teórica de la carga orgánica.

Sagrero (2020) en su estudio titulado “Diseño de un biorreactor de fibras huecas inmersas para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica” efectúa la caracterización del agua residual empleada y propone el uso de un tanque anaerobio, un tanque anóxico, un tanque de preareamiento y un biorreactor de fibras huecas inmersas, el cual se basa en un mecanismo complejo de lodos activados, con los que concluye que el uso de las tecnologías propuestas cubren las deficiencias que presentan entre sí, además de que el reactor de fibras huecas elimina la carga orgánica con un bajo tiempo de retención.

Ochoa (2021) en su investigación titulada “Evaluación de la tratabilidad de nutrientes de aguas cloacales domésticas por medio de un biorreactor de lecho fluido MBBR” infiere que se requiere de ciertas condiciones para la correcta ejecución de un sistema biológico de depuración de aguas servidas como el que fue empleado en la

investigación, tales como contar con un pH cercano a 7 para el óptimo desarrollo del material microbiano, un control de la carga inicial de DBO para definir el TRH el cual será mayor si la DBO es mayor y el volumen del reactor, con el que se puede incrementar la eficiencia.

Arango y Caycedo (2022) en su estudio titulado “Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas para la Vereda Tablacito ubicada en Rionegro” recopila datos sobre la zona de estudio y otros sistemas de tratamiento para la formulación del diseño hidráulico, concluyendo que para el tratamiento biológico se debe disponer de un filtro anaerobio de flujo ascendente por su baja dificultad de construcción, presentar nulo riesgo respecto a su implementación y una baja afectación a la calidad de vida de la comunidad.

Palomino (2020) en su investigación titulada “Viabilidad energética para la gestión del lodo residual a través de digestión anaerobia de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de la planta de beneficio de AVINSA S.A.S.” registra las especificaciones del biosólido estabilizado en estudio como un pH de 5,74; una alcalinidad de 260 800 mg/L y una DQO de 102 000 mg/L, por lo que concluye que el lodo residual proveniente de la PTARI de Avinsa S.A.S. representa un insumo potencial para la generación de metano en un promedio de 4664 mL/d a partir de 10 L de lodo, obteniendo entre 807,8 – 875,1 kW . h en promedio mensual.

### **3.1.2 Nivel nacional**

Barahona (2020) en su estudio titulado “Características y ventajas comparativas del tratamiento por lodos activados y el sistema convencional mediante lagunas de estabilización para el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Juliaca” donde evidencia un claro desabasto de la PTAR de Juliaca, operando con una sobrecarga del caudal proyectado de 100 L/s y en un terreno donde no se cuenta con el espacio suficiente para su expansión, concluyendo que se requiere de una extracción urgente de los biosólidos para mantenerse en los umbrales normativos; además, los sistemas de lodos activados representan una alternativa factible por la falta de espacio y su gran capacidad de remoción de bacterias patógenas.

Briceño y Torpoco (2022) en su investigación titulada “Generación de biofertilizante mediante el aprovechamiento de los lodos activados de una planta de tratamiento de aguas residuales en Independencia” realiza el tratamiento de los lodos con compost y vermicompost durante 3 meses, concluyendo que el biofertilizante obtenido es favorable para su propósito y cumple con la normativa ambiental nacional relacionada con biosólidos.

Díaz et al. (2022) en su artículo de investigación titulado “Dinámica funcional de la comunidad bacteriana del lodo activado de una planta de tratamiento de agua residual y su relación con variables ambientales y de operación” da a entender que aunque se hayan conseguido avances

relacionados con el estudio de las comunidades bacterianas de lodos activados, aun se necesitan demasiados conocimientos para poder comprender su gran potencial y variabilidad ante cambios temporales del afluente y de los procesos operativos de las PTAR. Realiza un análisis de la variación del metabolismo presentado por las bacterias presentes en el lodo activo durante todo un año frente a cambios en el entorno. Concluye que los procesos mencionados se relacionan diferencialmente con aspectos como la precipitación y la edad del lodo.

Díaz y Collantes (2019) en su estudio titulado “Determinación de la efectividad del uso de microorganismos de montaña para el tratamiento de las aguas residuales in vitro en el caserío de Chontamuyo” realiza tratamientos que reducen el pH, SS, aceites y grasas, nitratos, DQO y DBO, llegando a registrar para estos 2 últimos parámetros valores de 75 – 80 % y 91 – 92 % respectivamente, razón por la que infiere que el uso de microorganismos de montaña cuenta con una eficiencia elevada en la eliminación de impurezas biológicas a través de procesos específicos.

Hualpa (2019) en su investigación titulada “Mejoramiento de lodos deshidratados del proceso biorreactor de membrana mediante la técnica del bocashi” llega a concluir que la elaboración de bocashi a partir de biosólidos higienizados luego de la depuración de aguas cloacales representa una importante propuesta para el aprovechamiento de dicho

residuo, con un tiempo de elaboración menor al del compost convencional de 1 mes y, con las condiciones apropiadas, cumplir con lo dictado en la normativa que regula el uso y producción de biosólidos.

Huamani (2020) en su estudio titulado “Evaluación del proceso de tratamiento de agua residual y sus lodos como subproducto en una planta compacta de depuración por lodos activados” elabora un lecho para el secado de lodos provenientes del filtro prensa como tratamiento, con lo que logra caracterizarlo como biosólido al estar deshidratado y cumplir con lo establecido en el D.S. 015-2017-VIVIENDA; concluyendo que la remoción del agua residual es de un 99 % respecto a coliformes termotolerantes y el lodo tratado cumple con los parámetros de higienización, toxicidad química y estabilización.

Huamani (2021) en su investigación titulada “Propuesta de mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas por lodos activados en minera Ares” ha llegado a concluir que se requiere de sistemas de lagunaje anaerobio y facultativo en compañía con sus áreas de deshidratación, de manera que puedan respetar los umbrales normativos y pueda tenerse un tratamiento biológico aceptable.

Larico et al. (2021) en su estudio titulado “Remoción de materia orgánica y bacterias patógenas de las aguas residuales domésticas en filtro percolador, laguna facultativa y lodos activados” realiza la pormenorización

de las unidades de proceso y describe las unidades de proceso, calculando la efectividad de los tres tipos de tratamiento biológico que fueron de 64 %, 88 %, 49 % y 59 % para filtro percolador, lodos activados, lagunas facultativas primarias y secundarias; por lo que concluye que los lodos activados representan la mejor alternativa de remoción de la DBO.

Pacori (2021) en su investigación titulada “Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante el sistema de lodos activados en Villa Chullunquiani” realiza el cálculo de la futura población beneficiada igual a 9 102 individuos, propone al sistema de fangos activos dentro del sistema de saneamiento secundario por su elevada eficiencia para un reactor de 453,76 m<sup>3</sup> de capacidad; concluyendo que podría respetar los umbrales normativos al emplear los mejores procesos para cada fase de tratamiento.

Sánchez y Villaverde (2020) en su estudio titulado “Sistema de lodos activados en la calidad de efluentes del Camal Municipal de El Porvenir” toma algunas unidades de análisis del vertido de salida, correspondiente al entorno objetivo del tratamiento base y proceso a base de fangos activos en el transcurso de 12 días, analiza la DBO, DQO y SST; concluyendo que el proceso a base de fangos activos empleado es altamente efectivo en relación con la disminución de las cifras de los indicadores previamente analizados con excepción de los aceites y grasas con un 2,96 %.

Torres y Yauri (2019) llevan a cabo una investigación titulada “Evaluación de parámetros biocinéticos mediante lodos activados a nivel de laboratorio de los efluentes de la piscigranja de Miraflores para remoción de la carga orgánica” determinando las propiedades del agua residual en la piscifactoría mediante un muestreo aleatorio por un mes, luego agrega a un reactor aeróbico una porción de lodo activado de la laguna oxidativa San Agustín junto con el agua residual en estudio, obteniendo una remoción de 85,13 % de DQO; concluyendo que el tratamiento de fangos activos muestra una elevada descontaminación de residuos orgánicos.

### **3.1.3 Nivel local**

Álvarez (2021) en su estudio titulado “Conocimiento y práctica del tratamiento de agua intradomiciliaria en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna” concluye que las instituciones públicas fomenten la sensibilización de la regulación y saneamiento de afluentes residuales, además de evidenciar una clara necesidad de la población de contar con disponibilidad de agua potable a través de la ejecución de proyectos de saneamiento y brindar sistemas de almacenamiento adecuados para garantizar la disponibilidad del recurso hídrico en la población

Baca (2021) en su investigación titulada “Dimensionamiento y evaluación de un reactor Raceway como sistema de desinfección solar de

agua mediante hierro cero valente a escala de laboratorio” concluye que su reactor Raceway como sistema de tratamiento solar con el fin de la eliminación de *Escherichia coli* y coliformes totales a concentraciones mayores a 2 000 NMP/100 mL es altamente eficiente, alcanzando una remoción de 99,96 % y de costo asequible.

Hinojosa y Koc (2021) en su estudio titulado “Centro interactivo del agua para fortalecer la educación y la cultura de su uso en la ciudad de Tacna” llega a concluir que la exhibición del agua en base a los usos, su distribución en el país o la región y las actividades realizadas para su conservación son fundamentales para dar a conocer a la población sobre la importancia del agua en nuestra vida diaria, de manera que se pueda contar con la aprobación y la participación de la comunidad de Tacna respecto a los futuros proyectos de mejora del abastecimiento del recurso hídrico, sea en la propia zona urbana o en los centros poblados alejados de la ciudad.

Hinojosa (2020) en su investigación titulada “Purificación y caracterización de la enzima pectinasa producida por *Geobacillus* sp.” destaca su potencial en la depuración de aguas usadas de las industrias de productos cítricos con fangos activos mediante el uso de pectinasas bacterianas; concluyendo que su purificación, al emplear sulfato de amonio

para precipitado, cromatografía a gel y cromatografía basada en intercambio iónico, permite obtener el porcentaje de rendimiento aproximado de 31,36 %.

Huanacuni (2019) al obtener sus datos requeridos dentro de su estudio titulado “Capacidad de depuración de aguas residuales domésticas con aplicación de diferentes tecnologías de tratamiento sostenibles con costos de operación y mantenimiento económicos para pequeñas comunidades descentralizadas en Cono sur” concluye que la tecnología de tratamiento de aguas residuales basada en sistemas de lagunaje anaerobios y humedales de origen antrópico en conjunto, presenta una capacidad de depuración aceptable con un presupuesto operativo reducido respecto a los parámetros turbidez, coliformes termotolerantes, sulfatos, aceites y grasas; sin embargo, no logró tener una remoción significativa de DBO, DQO y de SST.

Huarachi (2020) en su investigación titulada “Propuesta de mejora del sistema de tratamiento de aguas residuales del Matadero Municipal de Tacna” da a conocer algunas observaciones sobre el establecimiento estudiado, indicando que no tenía en su poder manuales para su operación y el mantenimiento, manejo de cribas, estructuras de rebose, medidor de caudal, desarenador y un sedimentador; concluyendo que los reactores anaerobios de flujo ascendente representan un tratamiento óptimo para el

agua residual en estudio y propone alternativas para reducir residuos.

Larico (2023) en su estudio titulado “Descontaminación mediante la lombricultura de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Copare” emplea la lombriz de tierra para poder adecuar los lodos en estudio para su uso como abono orgánico, concluyendo que dicho proceso es ideal para la obtención de humus de buena calidad que cumple con la normativa peruana relacionada con biosólidos.

Larico (2019) en su investigación titulada “Estudio de la remoción de arsénico del Río Sama a nivel domiciliario utilizando lana de acero complementado con aereación y propuesta de diseño de un reactor batch” ejecuta ensayos a través del reactor batch, el cual menciona y resalta como el ideal para procesos similares, haciendo uso de la superficie de respuesta como metodología considerando los factores: masa de lana de acero, tiempo de contacto, pH; manteniendo un volumen constante de 1 L, removiendo eficientemente la concentración de arsénico, concluyendo que los parámetros ideales para la disminución de arsénico en 10 L de agua son un tiempo de 70 minutos, 15 gramos de lana de acero y pH de 8,14.

Limache (2021) en su estudio titulado “Evaluación comparativa de lechuga de agua y jacinto de agua para el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Tacna” extrae una muestra conformada por 140 L del

afluente de la PTAR Magollo para su purificación y ejecuta evaluaciones en los días 0, 20, 40 y 60, dando como resultado la remoción de un 98,97 % de coliformes fecales a los 40 días y de 99,36 % a los 60 días para el jacinto de agua y lechuga de agua respectivamente, concluyendo que la macrófita con la mejor capacidad de remoción general es el jacinto de agua.

Machaca (2021) en su investigación titulada “Determinación de los parámetros de operación en un reactor batch y propuesta de dimensionamiento para la disminución progresiva de arsénico del agua del río Locumba utilizando Cloruro Férrico” concluye que la remoción de arsénico en un reactor batch es elevada puesto a que el autor considera una velocidad de aproximadamente 47 revoluciones por minuto (RPM), un tiempo próximo a 25 min y trabajar con un caudal de 8 L/s.

## **3.2 Bases teóricas**

### **3.2.1 Aguas residuales**

Según Rodas (2021), se definen como aguas que se caracterizan por tener una composición variada que surge a causa de descargas sean municipales, comerciales, industriales o de servicios, así como su mezcla. Estas se transportan a través del alcantarillado, mezclándose de forma eventual con aguas superficiales, aguas subterráneas y la esorrentía proveniente de precipitaciones (Cutipa y Ramos, 2021).

A partir de la opinión de Ayala et al. (2022) podemos clasificarla a partir de su origen en aguas negras, las cuales se originan por las excretas y fluidos que se depositan en los inodoros, y las aguas grises que se forman de la mezcla de las que se generan en tinas, lavadoras, etc.

### **3.2.1.1 Tipos de aguas residuales**

Las aguas residuales domesticas se entienden como desechos hídricos emitidas por espacios residenciales, áreas empresariales e instalaciones administrativas; las cuales se conforman principalmente de excrementos humanos y orina (Quintanilla, 2021). Dentro de sus particularidades, resalta que su proporción de sólidos no supera el 1 %. La principal procedencia de microorganismos patógenos es el aparato digestivo, lo que representa un factor clave en la contaminación biológica del agua. Además, contiene nitrógeno y bacterias coliformes fecales, incluyendo los líquidos residuales generados en tinas, duchas, aseo de manos, cocina y lavandería. (Ramírez, 2021).

Las aguas residuales industriales provienen de industrias de carbón, acero, minerales no metálicos, empresas comerciales, industriales, productos farmacéuticos, cosméticos, colorantes orgánicos, pegamentos y adhesivos, jabones detergentes sintéticos, pesticidas, herbicidas, curtiembres y fábricas de cuero, textil, celulosa y plantas de papel, dentro

de este grupo también se encuentran las industrias de refinación de petróleo, cerveza y fermentación y de procesamiento de metales (Sullca, 2020).

Finalmente, las aguas cloacales municipales resultan de la mezcla entre aguas cloacales domésticas, industriales previamente tratadas y aguas de origen pluvial (Alcocer, 2019).

#### **3.2.1.2 Toma de muestra de aguas residuales**

Para poder verificar el estado de la calidad de las aguas cloacales se debe emplear una técnica que permita asegurar un resultado representativo, por lo que se debe priorizar que el lugar de muestreo posea un flujo turbulento, de manera que el agua residual se encuentre bien mezclada (Huarachi, 2020).

Las muestras simples resultan idóneas cuando el caudal de efluentes es discontinuo o cuando la fluctuación de un indicador es considerable a lo largo del muestreo. En términos generales, este método se emplea para evaluar oxígeno disuelto, cloro remanente, potencial hidrógeno, temperatura, lípidos y aceites, entre otros. (Huarachi, 2020).

Las muestras integradas resultan de la combinación de múltiples extracciones puntuales, obtenidas a intervalos regulares, generalmente

cada hora. Dichas fracciones deben mantenerse en refrigeración y, al concluir el periodo de muestreo, se mezclan en proporción directa al caudal medido, permitiendo así obtener un valor representativo de las propiedades del agua residual (Huarachi, 2020).

### **3.2.1.3 Tratamiento de aguas residuales**

Debido a la industrialización y al crecimiento exponencial de la población, se ha incrementado el uso frecuente de los acuíferos y a su vez la sobreacumulación de aguas residuales, es fundamental la aplicación de un adecuado tratamiento que pueda aumentar la disponibilidad de agua dulce, evitar la contaminación de cuerpos de agua aledaños a causa del inadecuado manejo de aguas crudas y evitar alteraciones a la biodiversidad (Altamirano, 2020).

Entre los indicadores más relevantes relacionados con aguas servidas que han incrementado su problemática es la materia orgánica y los agentes patógenos que consigo lleva, la cual puede ser tratado mediante la formación de un cúmulo microbiano capaz de degradarla a través del consumo y desarrollo de microorganismos que aumenten la capacidad de degradación, conocido como lodos activados (Alvarado y Valencia, 2023).

#### **3.2.1.4 Panorama del Perú sobre el tratamiento de aguas residuales**

Conforme al informe sectorial de las instalaciones de descontaminación hídrica dentro de las empresas proveedoras bajo fiscalización de la Superintendencia Nacional de Servicios y Saneamiento (SUNASS, 2022), la inversión realizada para la infraestructura de agua potable, alcantarillado y tratamiento entre los años 2016 - 2021 llega a los 8 636 millones de soles. Sin embargo, se evidencia que en el periodo 2020 - 2021, de las 202 PTAR visitadas, solo 171 se encuentran operativas, 27 se hallan paralizadas y 4 se encuentran en proceso de construcción.

Entre los principales defectos que se dan a conocer son las deficiencias estructurales y dotación limitada de recursos tales como dispositivos para medir el flujo entrante, falta de cribas y del bypass, incluyendo planes de contingencia para cubrir la inversión en materia de operatividad y su continuo mantenimiento respecto a nuevas tecnologías. Entre estos aspectos observados el que más llama la atención es el no aplicar fangos activos en los sistemas de tratamiento en un 50 % puesto a que, al emplearse en gran medida lagunas de estabilización, se evidencia una gran sobrecarga tanto orgánica e hidráulica (SUNASS, 2022).

#### **3.2.1.5 Marco legal de las aguas residuales en el Perú**

De manera que se pueda contar con una correcta administración legal del agua residual como un recurso, se establecen diversas normas

con el fin de asegurar su idóneo tratamiento, además de su disposición en cuerpos de agua cercanos al área de tratamiento e incluso su posible reuso.

a) Ley N° 28611 – Ley General del Ambiente

Según el Artículo 122 relacionado con el tratamiento de residuos líquidos, se establece que las empresas de saneamiento deben cumplir con un adecuado tratamiento de las aguas servidas y, además, el sector de Vivienda, Construcción y Saneamiento posee bajo su gestión la inspección de las PTAR en el país, de manera que cumplan con lo estipulado en sus Instrumentos de Gestión Ambiental (Núñez, 2019).

b) Decreto Supremo N° 018-2017-MIDAGRI

Se contempla las funciones de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) donde, entre las cuales, se contemplan la Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos y la Autoridad Administrativa del Agua, los cuales tienen el magno deber otorgar autorizaciones de vertimiento de aguas depuradas acondicionadas a las reservas hídricas naturales, además de otorgar autorizaciones de reuso de aguas depuradas acondicionadas respectivamente (Ávalos, 2019).

c) Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

Establece los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para cada tipo de cuerpo de agua, los cuales se clasifican en determinadas categorías (López, 2021).

**Tabla 2***Estándares de Calidad Ambiental para riego de vegetales y bebida de animales*

Parámetros	Unidad de medida	Riego de vegetales		Bebida de animales
		Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	
Aceites y Grasas	mg/L	5	5	10
DBO	mg/L	15	15	15
DQO	mg/L	40	40	40
Oxígeno disuelto	mg/L	>4	>4	>5
Conductividad	uS/cm	2 500	2 500	5 000
pH	Unidad	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4
Bifenilos Policlorados	ug/L	0,04	0,04	0,045
Coliformes Termotolerantes	NMP	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP	1 000	**	**
Huevos de helminfos	huevo/L	1	1	**

*Nota.* El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta subcategoría. Recopilado de López (2021).

d) Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM

Define a los Límites Máximos Permisibles (LMP) como la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancia o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a una emisión que, al ser excedida,

causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente (López, 2021).

**Tabla 3**

*Límites Máximos Permisibles para efluentes municipales.*

Parámetros	Unidad de medida	Bebida de animales
Aceites y Grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP	10 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6,5 – 8,5
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

*Nota.* Recopilado de López (2021).

e) Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA

Se presentan los Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, donde se da a conocer que las aguas residuales no domésticas se conforman por líquidos producidos por actividades comerciales e industriales y se aplican en la descarga de aguas residuales

no domésticas al sistema de alcantarillado (Cutipa y Ramos, 2021).

f) Ley N° 29338 – Ley de recursos hídricos y su reglamento

Establece las pautas para el vertimiento de aguas residuales tratadas en cuerpos de agua bajo ciertas condiciones para que no represente impactos serios en el ambiente y da las opciones del reuso de las aguas residuales tratadas tanto como uso agrícola, forestal, parques, jardines, etc; siendo autorizadas con una Evaluación de Impacto Ambiental revisada por la Autoridad Nacional del Agua (Ávalos, 2019).

### **3.2.2 Lodos activados**

También nominado como tratamiento de fangos activados, se caracteriza por presentar pequeños periodos de estabilización, gran efectividad respecto a la disminución de carga biológica contaminante y en un terreno reducido (Campoverde, 2019).

El principio de este sistema estructurado se basa en la capacidad de los microorganismos para hacer uso de la carga orgánica y los nutrientes (N y P) que generalmente se encuentran generalmente en aguas residuales (Cortez, 2022). Según Martínez (2022), un sistema de tratamiento de fangos activos se encuentra integrado por componentes como un tanque de aereación, fuente de aereación, sedimentador, sistema de tuberías de recirculación, bomba y tubería de lodos crudos o de desecho.

El principal beneficio de este sistema radica en la facilidad de regulación de sus parámetros de operación, alcanzando una eficiencia adecuada cuando la proporción DBO/DQO se encuentra en el rango de 0,5 a 0,65. Sin embargo, la adición de descargas industriales provenientes de mataderos o del procesamiento lácteo puede generar problemas por su elevada carga y baja sedimentabilidad (Sánchez y Villaverde, 2020).

Luego del tratamiento, dichos lodos deben pasar por un proceso de secado donde reducen su contenido de agua a un aproximado del 85 %, de manera que se pueda facilitar el manejo del lodo, reducir la formación de lixiviados y disminuir los costos requeridos para su transporte hacia su disposición final (Espinosa y Lizano, 2020).

Otro aspecto que influye en su eficiencia es el bulking, el cual ocurre cuando las bacterias filamentosas son las dominantes a causa de factores como una baja concentración de sustrato y oxígeno, deficiencia de nutrientes, valores bajos de pH, entre otros aspectos (Yaya, 2022).

### **3.2.2.2 Microbiología de lodos activados**

Se basa principalmente en una aglomeración microbiana surtida que se presenta mediante flóculos dentro de un sistema aireado y revuelto, donde la materia suspendida se elimina del agua residual por adsorción y aglutinación en los flóculos que la descomponen por metabolismo

microbiano, empleando una parte para formar más biomasa y otra parte se mineraliza (Castillo y Cárdenas, 2019) y, al terminar el tratamiento, los flóculos se asentan en un clarificador o sedimentador. Los grupos de microorganismos que contienen pueden ser:

- a. Bacterias . - Tienen como función descomponer la carga orgánica del agua residual a través de la oxidación y dan lugar a los flóculos al secretar polímeros orgánicos, sobresaliendo la biota nitrificante, que cumplen un rol primordial en la depuración del amoníaco (Díaz y Collantes, 2019). Su entramado poroso y de gran apertura les otorga la firmeza adecuada para soportar la tensión hidráulica provocada por el desplazamiento del agua en la fase de aireación. (Torres y Yauri, 2019).
- b. Protozoos ciliados . - Consumen a las bacterias y la materia orgánica particulada, manteniendo un balance entre todos los tipos de microorganismos (Torres y Yauri, 2019), realizando una autopurificación al reducir la carga orgánica en el agua (Díaz y Collantes, 2019).
- c. Rotíferos . - Se encargan de aprovechar la biomasa bacteriana disgregada y sin cohesión floculante, generando una elevada efectividad del proceso aeróbico (Díaz y Collantes, 2019). También basan su alimentación en partículas pequeñas de materia orgánica,

siendo su presencia un indicativo de un proceso de tratamiento biológico aerobio eficiente (Torres y Yauri, 2019).

- d. Algas . - Son organismos unicelulares con estructura eucariota, especializados en la autonutrición mediante fotosíntesis, lo que los convierte en generadores primarios de materia orgánica en medios acuáticos. Su metabolismo depende de la absorción de dióxido de carbono, amonio, nitratos y fosfatos, que emplean para sintetizar biomasa y oxígeno (Diaz y Collantes, 2019).
- e. Hongos . – Así como con las bacterias, cumplen una función esencial en la descomposición de sustratos orgánicos y muestran resistencia en medios con reducido contenido hídrico y condiciones acidificadas. (Torres y Yauri, 2019). Generalmente el tipo que se suele observar son los filamentos fungales, generalmente causado por la deficiencia de nitrógeno y toxicidad (Diaz y Collantes, 2019).

### **3.2.2.3 Sistemas de lodos activados**

Para que un tratamiento biológico sea eficiente, deben tomarse en cuenta aspectos como la velocidad de degradación de la carga orgánica, condiciones ambientales, la modalidad de operación y el tipo de biorreactor (Lopez, 2021).

Una de los tipos de reactores son los anaerobios, los cuales no

pueden recibir oxígeno del exterior, tienen una menor depuración que los aerobios y generan poco lodo crudo, pero requieren de un bajo presupuesto destinado al mantenimiento y pueden generar metano. (Ramírez, 2021).

Otro son los aerobios, los cuales requieren de un mayor presupuesto debido a la gran cantidad de oxígeno que necesita, sin embargo, consiguen altas reducciones de materia orgánica. Hay muchas combinaciones y tipos como los Reactores Biológicos de Membranas (MBR), Reactor de Lecho Móvil (MBBR), Reactor Biológico Secuencial (SBR), lodos activados convencionales, etc.

#### **3.2.2.4 Componentes de un sistema de lodos activados**

El esquema de depuración basado en lodos activados incluye una unidad de aireación en la que los microorganismos flotan en estado suspendido con suministro de oxígeno; un módulo de sedimentación para separar las partículas sólidas y un sistema de retorno de la biomasa asentada al reactor (Rodas, 2021).

En síntesis, el proceso de lodos activados está estructurado en tres fases principales: una unidad de separación inicial, un reactor biológico y un decantador secundario.

#### **3.2.3 Microorganismos eficientes**

Al emplear microorganismos en varias aplicaciones, se ha realizado

una mayor investigación en las últimas décadas para poder expandir su aplicación, dando lugar a los microorganismos eficaces o EM (Efficient Microorganisms) que se conforman por un cultivo mixto que alberga una mezcla de especies microbianas naturales con efectos positivos, en la que predominan bacterias ácido lácticas, organismos autótrofos dependientes de luz solar y levaduras, coexistiendo en equilibrio dentro de un sustrato acuoso. (Guzman y Sánchez, 2020)

Es una tecnología novedosa del Dr. Teruo Higas que se basa en la mezcla de diferentes microorganismos benéficos de origen natural que se dividen en bacterias fototróficas, bacterias lácticas, levaduras y hongos fermentadores; las cuales pueden desarrollarse a ciertos niveles de pH y temperatura debido a que estos parámetros influyen en su proliferación y crecimiento respectivamente (Calderón et al, 2019). Su uso en el agua contaminada se encuentra regido por las propiedades del agua contaminada y el propósito del tratamiento a efectuar, además de resaltar su efectividad en la neutralización de malos olores (Guzmán y Sánchez, 2020).

### **3.3 Definición de conceptos básicos**

#### **3.3.1 Aereación**

Es el proceso empleado en el tratamiento de aguas residuales para modificar los valores de las concentraciones de las sustancias volátiles con

el apoyo del contacto con el aire, facilitando la eliminación de gases disueltos y compuestos olorosos elevadamente volátiles (Ticona, 2021).

### **3.3.2 Agua residual**

Es el volumen de agua que procede de cualquier actividad realizada por el hombre en centros urbanos e instituciones, mezclándose con otros efluentes como las aguas pluviales (Huamani, 2021).

### **3.3.3 Aceites y grasas**

Su presencia puede provocar problemas en el sistema de alcantarillado como en la infraestructura para el tratamiento de aguas residuales, siendo controlado por un sistema de desengrasado (Sánchez y Román, 2020).

### **3.3.4 Caudal del diseño**

Es la cantidad máxima de aguas residuales liberadas por la población, donde se debe multiplicar el coeficiente de retorno por el caudal de diseño y la cantidad de registros diarios. (Joaquín, 2021).

### **3.3.5 Coliformes**

Conformados por bacterias gran negativas alargadas que cuentan con la capacidad de fermentar lactosa, produciendo gase a 30 °C y, de ser el caso que cumpla con las mismas propiedades, pero a 44,5 °C, se denominan coliformes fecales o termotolerantes (Alcocer, 2019).

### **3.3.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno**

Es la cantidad de oxígeno que se requiere para que los compuestos orgánicos puedan ser oxidados en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O (Núñez, 2019).

### **3.3.7 Demanda Química de Oxígeno**

Se centra en la oxidación química de la carga orgánica e inorgánica presente en el agua residual, donde la cantidad de dicha materia oxidable se puede medir como oxígeno equivalente y se relaciona proporcionalmente con el oxígeno consumido (Núñez, 2019).

### **3.3.8 Estándares de Calidad Ambiental**

Son un indicador de calidad ambiental que establecen los parámetros de calidad de agua que debe aplicarse en el cuerpo de agua receptor (Arbaiza, 2021).

### **3.3.9 Floculación**

Es una etapa importante en el proceso de depuración de aguas residuales, el cual se da al añadir determinados compuestos que aglutinan las partículas sólidas diminutas o coloidales presentes en el agua (Delange, 2021).

### **3.3.10 Índice de biodegradabilidad**

Es un componente de influencia que se encuentra relacionado con la eficiencia de un proceso de degradación biológica, el cual se calcula a

través de la división entre la DBO y la DQO, debiendo tener un valor mayor a 0,4 para poder ser considerado como biodegradable (Félix y Leiva, 2023).

#### **3.3.11 Lodo activado**

Es un sistema de tratamiento biológico que se basa en el uso de microorganismos aerobios con la finalidad de biodegradar la carga orgánica y dar paso a la formación de flóculos mediante estanques de aireación para su separación, reduciendo la DBO o SST (Aguilar, 2020).

#### **3.3.12 Oxígeno disuelto**

Es el oxígeno medido en mg/L que se presenta en el agua de forma disuelta permitiendo determinar la subsistencia de organismos aerobios o anaerobios (Trujillo, 2020).

#### **3.3.13 Potencial de hidrógeno**

Es el nivel de alcalinidad o acidez que puede presentar una sustancia, la cual puede medirse a través de la concentración de iones de hidrógeno que contenga (Fernández, 2019).

#### **3.3.14 Relación alimento/microorganismos**

Es la proporción entre la fracción orgánica biodegradable que se encuentra en un cierto volumen de agua residual y la profusión de microorganismos que contiene. (Castillo y Cárdenas, 2019).

### **3.3.15 Tiempo de retención hidráulica**

Es el tiempo en el que el agua residual permanece dentro del reactor en horas. Varía según el sistema de lodos activados empleado, se da por la división entre el volumen del reactor y el caudal del afluente del reactor (Sánchez y Villaverde, 2020).

### **3.3.16 Valorización**

Cualquier operación cuya finalidad se base en el reaprovechamiento de un residuo o de los materiales que lo conforman como un sustituto en diversos procesos productivos, pudiendo darse de forma material o energética (Huamani, 2020).

## **CAPÍTULO IV**

### **MARCO METODOLOGICO**

#### **4.1 Caracterización o tipo del diseño de investigación**

El nivel de investigación que se empleó en el planeado estudio es el nivel aplicativo, al generar una transición en el estado de la problemática hallada a través de una investigación que culminó en la innovación o desarrollo de propuestas para su resolución (Delgado, 2021) y de naturaleza cuantitativa, ya que se pretende difundir conocimiento mediante la recopilación e interpretación de datos concretos y replicables para realizar inferencias (Ochoa et al, 2020).

#### **4.2 Lugar de estudio**

El distrito de Tacna, de donde se tomaron las muestras de agua del afluente de la PTAR Magollo de Tacna, para la ejecución de los tratamientos en el CEA III – Fundo Los Pichones de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann y los análisis de parámetros básicos en las instalaciones del laboratorio de Ing. Civil de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, de la Provincia y Región de Tacna.

## **Figura 2**

### *Mapa de ubicación del afluente de la PTAR Magollo*



*Nota.* Se puede obtener esta imagen satelital con Google Earth (2023).

## **4.3 Población y/o muestra de estudio**

### **4.3.1 Población**

Fueron las aguas residuales municipales del afluente de la PTAR Magollo de Tacna.

### **4.3.2 Muestra**

La muestra estuvo conformada por un total de 120 L, obtenidos del afluente de la PTAR Magollo de Tacna. Siendo este un volumen aceptable para poder tratar durante 3 días a un caudal de 1,5 L/h.

Este valor se obtuvo al realizar una medición del caudal en el reactor con ayuda de un cronómetro, donde se mostró que:

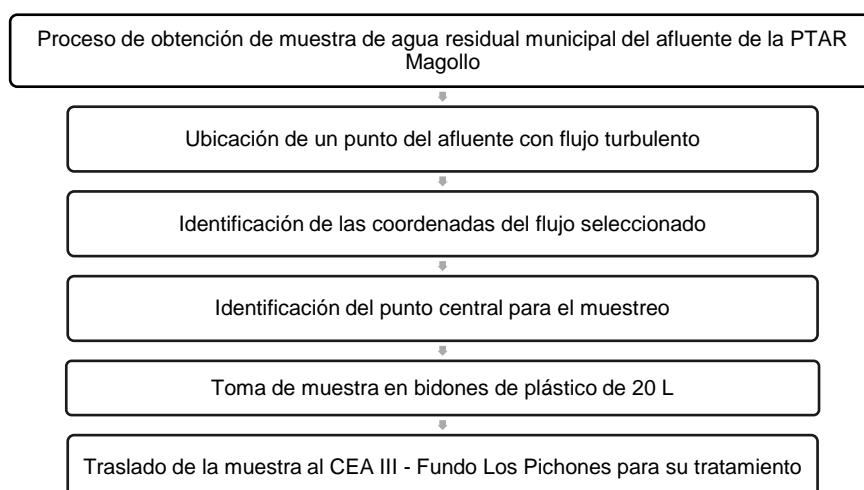
$$0,067 \text{ h} \xrightarrow{\text{para tratar}} 0,1 \text{ L} \wedge x \xrightarrow{\text{para tratar}} 120 \text{ L} \rightarrow x = 80,4 \text{ min} = 3,35 \text{ días} \cong 3 \text{ días}$$

#### 4.4 Método

Para el presente estudio se realizaron las actividades detalladas en la siguiente sección de acuerdo los objetivos. Para el muestreo de agua se tomó como referencia el Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales (Dirección General de Salud Ambiental [DIGESA], 2007).

#### Figura 3

*Diagrama de flujo para la obtención de la muestra*



*Nota.* Se considera en todo el tramo del canal un flujo turbulento.

#### 4.5 Técnicas aplicadas en la recolección de la información

Las actividades se realizaron de acuerdo a los objetivos planteados:

En primer lugar se realizó una revisión bibliográfica sobre anteriores monitoreos realizados al afluente de la PTAR Magollo, teniendo como referentes la investigación realizada por Limache y Tirado (2022) y el Instrumento de Gestión Ambiental del Proceso de Adecuación Progresiva del proyecto “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Magollo” de la Empresa Prestadora de Servicios de Tacna (EPS Tacna, 2022), quienes dan a conocer que los valores de DBO - DQO que se evidencian son de 117,3 mg/L – 280,5 mg/L y 377,8 mg/L – 756 mg/L respectivamente.

Al realizar dicho paso, se determinó el índice de biodegradabilidad según la ecuación mostrada a continuación:

$$IB = DBO/DQO \dots\dots\dots Ec. 1$$

Donde:

IB: Índice de biodegradabilidad

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

Entonces:

$$IB = \frac{117,3}{280,5} \wedge \frac{377,8}{756}$$

$$IB = 0,42 \wedge 0,49 > 0,4$$

Con dichos valores, podemos asegurar que las aguas residuales del afluente de la PTAR Magollo son biodegradables, por lo que pueden ser tratadas a través de un sistema de tratamiento biológico.

Para el análisis de las características fisicoquímicas y biológicas del afluente de la PTAR Magollo se determinó la calidad inicial de la muestra de agua residual municipal, por lo que se considera el pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto como parámetros a evaluar en base a los Estándares de Calidad Ambiental para agua mencionados en el D.S. N°004-2017-MINAM (Ministerio del Ambiente, 2017), además de la metodología que se llevó a cabo en los estudios de Aroné (2019), Jaramillo (2021) y Díaz (2021) para DBO, DQO y coliformes termotolerantes.

- pH. - Se realizó la medición con un equipo multiparámetro, donde se verificó que la sonda se encuentre correctamente conectada y sumergiéndola hasta la mitad del recipiente de la muestra y con agitación constante. Se basa en la detección de la presencia de bicarbonatos y carbonatos de metales para alcalinidad o la concentración de protones o iones hidrógeno, es decir, de la acidez del medio
- Conductividad eléctrica. - Se realizó la medición con un equipo multiparámetro, donde se verificó que el electrodo esté

correctamente conectado al equipo. Se basa en la presencia de los iones en compuestos inorgánicos, siendo buenos conductores de corriente eléctrica a diferencia de los compuestos orgánicos.

- Oxígeno disuelto. - Se realizó la medición con un equipo multiparámetro, donde se verificó que el electrodo se encuentre correctamente conectado antes de la medición. Su principio de funcionamiento se basa en la tasa de difusión del oxígeno molecular a través de las membranas del electrodo. Se debe tomar consideraciones sobre la temperatura y la altitud, puesto a que estos influyen en los resultados.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno. – Para el análisis de este parámetro se utilizó el método del Winkler, explicado en la SMEWW-APHA-AWWA-WEF parte 5 210 B, El método se aplica para evaluar la concentración de oxígeno disuelto en un lapso de 5 días. Las muestras de agua residual, o los medios de dilución adecuados, se incuban sin exposición lumínica a una temperatura de 20 °C. La reducción del oxígeno permite calcular la DBO. La medición inicial del OD se registra antes de someter las muestras a un almacenamiento controlado durante 5 días, para la lectura final.
- Demanda Química de Oxígeno. – El método estandarizado para analizar este parámetro es la colorimetría, explicado en la SMEWW-

APHA-AWWA-WEF parte 5 220 D, implica la determinación de absorbancias mediante un espectrofotómetro, cuyas variaciones dependen de si las muestras pertenecen a un intervalo bajo o elevado. Para su análisis, las muestras son preparadas con la dilución pertinente y sometidas a termorreacción a 150 °C durante 2 horas. Finalmente, se efectúa la lectura espectrofotométrica para establecer la cantidad de oxígeno que ha sido consumido.

- Coliformes Termotolerantes . – Se empleó el método fluorogénico o del número más probable, explicado en la SMEWW-APHA-AWWA-WEF parte 9 221 F-2, que abarca diluciones, etapa presuntiva y etapa confirmativa; preparando una serie de cinco tubos con caldo lauril triptosa y se codifican. Con la homogenización de la muestra ya realizada, se transfiere con una pipeta estéril 10 mL de la muestra inicial a un recipiente con 90 +- 2 mL de agua diluida, obteniendo la primera dilución ( $10^{-1}$ ) que corresponde a 0,1 mL de la muestra principal. Se homogeniza el recipiente con la solución disuelta  $10^{-1}$  del ensayo y con una pipeta previamente esterilizada se procede a transferir 10 mL a un nuevo recipiente para la dilución, dando lugar a la segunda dilución decimal ( $10^{-2}$ ), correspondiente a 0,01 mL de la muestra y finalmente se obtienen las diluciones:  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$ ,  $10^{-8}$ ,  $10^{-9}$  para el canal del afluente.

Para la evaluación de la aplicación del uso de lodos activados y microorganismos eficientes en aguas residuales municipales en función a su calidad fisicoquímica y biológica, se construyeron los reactores para el tratamiento aerobio de aguas residuales, tomándose como referencia al diseño de los reactores biológicos tipo carrusel de la PTAR La Escalerilla de Arequipa.

Además, puesto a que se llevó a cabo un tratamiento mediante un sistema de lodos activados por aireación extendida, se han considerado los valores de los parámetros de diseño habituales recomendados para dicho sistema que se muestran en la tabla 4. Entre algunas de las características más resaltantes están la velocidad en que circuló el agua en el sistema de forma proporcional con el caudal de alimentación (Chordá, 2019).

Otro aspecto relevante es la zona anóxica para la desnitrificación, donde se presentó ausencia de oxígeno y las bacterias formadoras de flóculos prevalecieron sobre las filamentosas debido a que absorbieron el sustrato orgánico, siendo el nitrato un aceptor de electrones (Yaya, 2022).

En la zona aerobia es donde se dio la disminución de la concentración del sustrato orgánico.

**Tabla 4***Parámetros de diseño*

Parámetros	Lodos activados (convencional)	Aireación prolongada	MBR
Edad del fango (días)	4 - 10	> 15	25 – 30
Tiempo de retención hidráulica (horas)	4 - 8	16 - 48	10,2 – 15,4
% reducción DBO	90	92	98

*Nota.* Recopilado de Chordá (2019).

En conjunto con el reactor se empleó un sedimentador y un clarificador, de manera que se pudo realizar el tratamiento de una forma mucho más eficiente y aproximándose más a un sistema similar a mayor escala.

Posteriormente se realizó el proceso de activación tanto de los lodos como de los microorganismos eficientes, para lo cual se tuvo que tomar una muestra preliminar de agua residual municipal con el fin de que pueda suministrarse a ambos reactores de un determinado volumen para su activación. Luego se colocó 5 L de lodos en un balde con 15 L de la muestra preliminar de agua residual y se procedió a remover para su disolución de manera que pueda integrarse adecuadamente al primer reactor y

finalmente con 50 L del agua residual, cubriendo así los 70 L de capacidad del reactor y dejando un espacio de 2 L para prevenir posibles derrames.

Entre dicho proceso, se realizó la activación del EM-Agua en base a las instrucciones dadas a conocer en el propio recipiente y según lo explicado por Calderón et al. (2019), donde en un balde con tapa hermética se mezcló 1 L de EM-Agua junto con 1 L de melaza y 18 L de agua, se selló con cinta y dejó reposar durante 7 días con el fin de que se produjese la fermentación requerida para su activación. Luego de ello se abrió el balde y se extrajo 2,5 L de la mezcla activada de EM-Agua y se mezcló junto a 2,5 L de lodos de la PTAR La Escalerilla para finalmente añadirlo a 65 L de la muestra preliminar de agua residual en el segundo reactor e igualmente dejando un espacio de 2 L para prevenir posibles derrames.

Al haber preparado ambos reactores, se esperó a evidenciar 2 fases: una fase conformada por agua turbia con pequeños flóculos y otra fase compuesta por los flóculos sedimentados, de manera que se lograra evidenciar una idónea actividad por parte de ambos tratamientos. Hecho dichos pasos, se procedió a ensamblar los demás componentes de ambos sistemas para continuar con los tratamientos. Se realizaron pruebas con agua destilada para corroborar el correcto funcionamiento del sistema, dando solución a posibles problemas como fugas o una errónea distribución del agua residual o de la carga orgánica en el sistema.

Ya con todo ello se realizó la toma de muestra de 360 L de las aguas residuales del afluente de la PTAR Magollo entre las 11:00 horas. Luego de ello se tomó una muestra de 1 L para poder evaluar los parámetros pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto en el laboratorio de Ing. Civil de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann con un multiparámetro.

Posteriormente se dispuso 120 L para cada 24 h en el tanque homogenizador, el cual se ubicó en la parte superior de la caseta de manera que no requiriese de una bomba y, en cambio, hizo uso de la gravedad para poder alimentar a ambos sistemas de tratamiento a un caudal de 0,08 L/min. En la etapa de sedimentación, se verificó que el agua que salía de ambos reactores presentase la apariencia esperada de un agua tratada, además de presentar una cierta cantidad de material en suspensión que luego quedaría atrapada en los filtros ubicados entre los sedimentadores y los clarificadores.

Ya en los clarificadores, se dispuso lámparas UV para purgar todos los microorganismos restantes, consiguiéndose así una mayor eficiencia en el tratamiento. Finalmente se extrajo muestras de los efluentes de ambos sistemas en recipientes de plástico previamente rotulados y se enviaron a un laboratorio especializado y certificado, quienes determinaron los parámetros biológicos DBO, DQO y Coliformes Termotolerantes.

Ya con todo ello preparado, se evaluó ambos tratamientos se recirculó de forma constante el agua tratada obtenida en el tercer día del tratamiento, específicamente del agua contenida en el clarificador, durante 12 días puesto a que es el día promedio para el diseño del sistema empleado según Pacori (2021). Finalmente se extrajo muestras de los efluentes de ambos sistemas en recipientes de plástico previamente rotulados y se ejecutaron los análisis experimentales y estadísticos, además de la interpretación.

## **4.5 Instrumentos de la investigación**

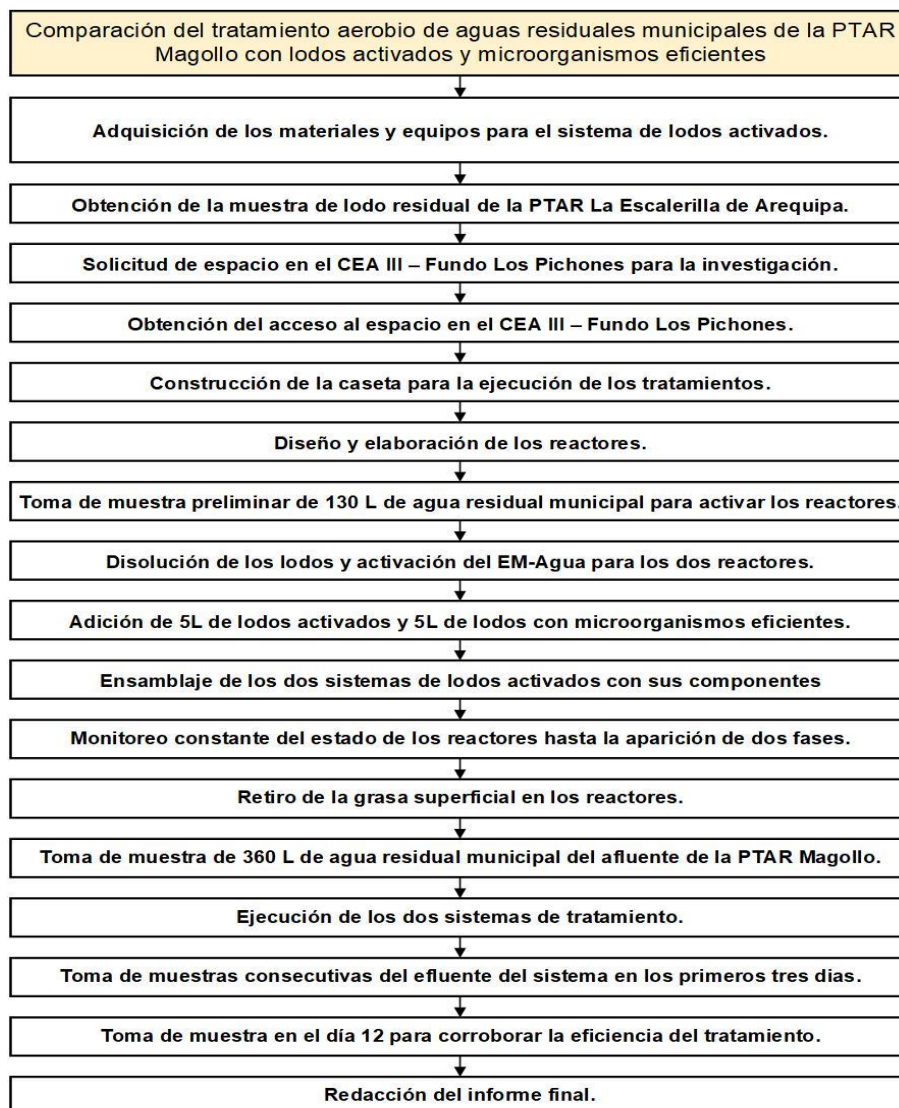
### **4.5.1 Materiales**

- 02 botellas de plástico de alta resistencia 0,25 L.
- 04 botellas de plástico de alta resistencia 1 L.
- 01 cooler.
- 01 cilindro de 200 L.
- 02 recipientes de 50 cm x 30 cm x 30 cm.
- 04 baldes transparentes de 20 L.
- 02 baldes transparentes de 5 L.
- 02 filtros de tanque.
- 02 lámparas UV.
- 08 planchas de triplay.
- 02 metros de malla rachel.

- 01 bidón de EM-Agua de 5 L.
- Válvulas, tuberías y accesorios.

#### Figura 4

*Flujograma de las etapas del desarrollo de la investigación*



*Nota.* Elaboración propia.

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1 Resultados

##### 5.1.1 Análisis de las características fisicoquímicas y biológicas del agua residual municipal del afluyente de la PTAR Magollo

Los parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua residual municipal del afluyente de la PTAR Magollo se muestran en la tabla 5, los cuales superaron a los Estándares de Calidad Ambiental del agua para riego no restringido establecidos por el D.S. N° 004-2017-MINAM.

**Tabla 5**

*Promedio de los resultados de los parámetros fisicoquímicos y biológicos de la muestra de agua residual municipal*

Parámetros	Dimensión	Muestra 1	Muestra 2	ECA
pH	unidad	6,8	6,7	6,5 – 8,5
C.E.	uS/cm	2 061	2 110	2 500
OD	mg/L	0,32	0,55	> 4
DBO	mg/L	1 429	1 441	15
DQO	mg/L	3 051	3 073	40
Colif. Termotol.	NMP	10 800 000	11 100 000	1 000

De los valores mostrados, se realizó un análisis de varianza para los parámetros biológicos mencionados, puesto a que estos fueron la principal prioridad para la factibilidad del tratamiento biológico. En la tabla 6 se muestra el ANOVA para el parámetro Demanda Biológica de Oxígeno, donde se evidenció una diferencia significativa entre los valores de la muestra de agua residual municipal del afluyente de la PTAR Magollo con un valor  $p < 0,001$ .

**Tabla 6**

*Análisis de varianza de Demanda Bioquímica de Oxígeno de la muestra inicial*

<b>FV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>P-Valor</b>
Tratamiento	4 017 002	2	2 008 501	368 908	0,0001
Error total	32	6	5		
Total (corr.)	4 017 035	8			

En la tabla 7 se mostró una similaridad entre las muestras 1 y 2, las cuales difieren del ECA, por lo que podemos asegurar que no se cumple con el ECA establecido.

**Tabla 7**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p > 0,05$ ) para DBO de las muestras iniciales*

<b>Tratamiento</b>	<b>n</b>	<b>Media</b>	<b>Significancia</b>
Muestra 2	3	1 441	a
Muestra 1	3	1 429	a
ECA	3	15	b

En la tabla 8 se muestra el ANOVA para el parámetro Demanda Química de Oxígeno, donde se evidenció una diferencia significativa entre los valores de la muestra de agua residual municipal del afluente de la PTAR Magollo con un valor  $p < 0,001$ .

**Tabla 8**

*Análisis de varianza de Demanda Química de Oxígeno de la muestra inicial*

<b>FV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>P-Valor</b>
Tratamiento	18 237 590	2	9 118 795	1 784 112	0,0001
Error total	30	6	5		
Total (corr.)	18 237 620	8			

En la tabla 9 se mostró una similaridad entre las muestras 1 y 2, las cuales difieren del ECA, por lo que podemos asegurar que no se cumple con el ECA establecido.

**Tabla 9**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p > 0,05$ ) para DQO de las muestras iniciales*

<b>Tratamiento</b>	<b>n</b>	<b>Media</b>	<b>Significancia</b>
Muestra 2	3	3 073	a
Muestra 1	3	3 051	a
ECA	3	40	b

En la tabla 10 se muestra el ANOVA para el parámetro Coliformes Termotolerantes, donde se evidenció una diferencia significativa entre los valores de la muestra de agua residual municipal del afluente de la PTAR Magollo con un valor  $p < 0,001$ .

**Tabla 10**

*Análisis de varianza de Coliformes Termotolerantes de la muestra inicial*

<b>FV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>P-Valor</b>
Tratamiento	18 237 590	2	9 118 795	1 784 112	0,0001
Error total	30	6	5		
Total (corr.)	18 237 620	8			

En la tabla 11 se mostró una similaridad entre las muestras 1 y 2, las cuales difieren del ECA, por lo que podemos asegurar que no se cumple con el ECA establecido.

**Tabla 11**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p > 0,05$ ) para Coliformes Termotolerantes de las muestras iniciales*

<b>Tratamiento</b>	<b>n</b>	<b>Media</b>	<b>Significancia</b>
Muestra 2	3	3 073	a
Muestra 1	3	3 051	a
ECA	3	40	b

### **5.1.2 Efecto del uso de lodos activados y microorganismos eficientes en aguas residuales municipales en función a su calidad fisicoquímica y biológica**

De acuerdo a nuestro segundo objetivo planteado se construyeron los dos reactores biológicos tipo carrusel tal y como se muestra en la figura 5, donde se llevaron a cabo un tratamiento mediante un sistema de lodos activados y microorganismos eficientes, ambos por aireación extendida.

**Figura 5**

*Reactor tipo carrusel*

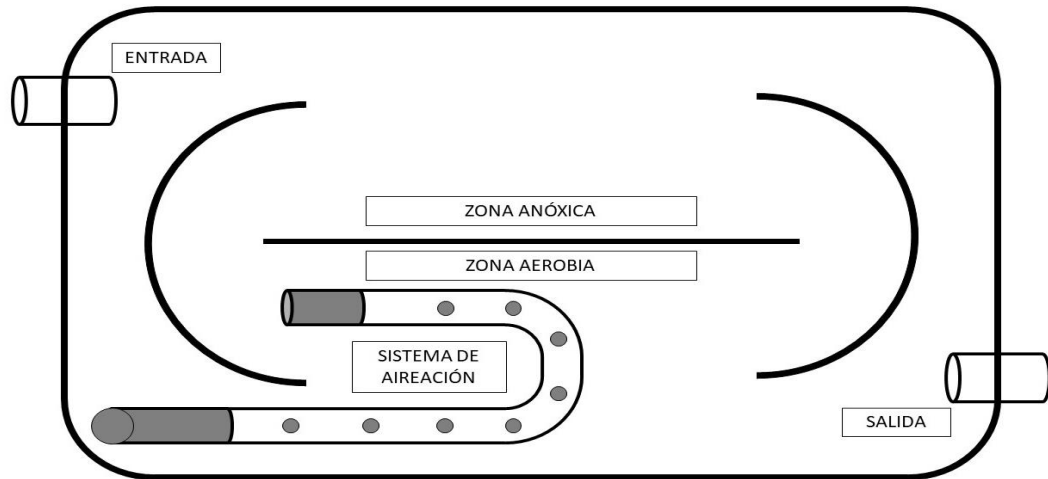


*Nota.* Los soportes en la parte superior no conforman el diseño.

A su vez, se elaboró el sistema de aireación, el cual consistió de una manguera de plástico unida a un soporte para que se mantenga rígida durante toda la etapa de tratamiento y redirigida con codos para una adecuada manipulación y se ubicó a un lado simulando la zona aerobia y la zona sin manguera, la zona anóxica, según se observa en la figura 6.

## Figura 6

### *Ensamblaje del sistema de aireación*



*Nota.* Las conexiones fueron selladas con aislante para evitar fugas.

Finalmente, se unieron ambas partes para obtener finalmente el reactor deseado, del cual se muestra un esquema de sus secciones en la figura 7.

## Figura 7

### *Esquema del reactor tipo carrusel elaborado para los tratamientos*



*Nota.* Por la reducida potencia de aireación, se requirió asistencia manual.

Al haber realizado las pruebas de tratabilidad con lodos activados y lodos enriquecidos con microorganismos eficientes con un tiempo de retención hidráulica de 24 h se obtuvo agua tratada, la cual fue analizada, brindando resultados sobre los parámetros biológicos Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Coliformes Termotolerantes

En base a ello, en la tabla 6 se nos muestran los valores resultantes de los tratamientos ejecutados respecto al parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno, los cuales difieren entre si según el tipo de tratamiento aplicado y el número de horas como tiempo de retención hidráulica.

**Tabla 12**

*Resultados de los análisis del parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno*

<b>Horas vs tratamiento</b>	<b>T0</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>
24	1 356	788,3	904
48	1 242	682,5	715,5
72	954	579,3	616,5

En base a la tabla 7, del análisis de varianza (ANOVA), se evidenció una diferencia significativa entre los tratamientos aplicados a la muestra de agua residual municipal del afluente de la PTAR Magollo con un valor  $p < 0,0001$ .

**Tabla 13***Análisis de varianza de los resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno*

<b>FV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>P -Valor</b>
A: Tratamiento	446 902	2	223 451	57,93	0,0011
B: Horas	134 923	2	67 461,5	17,49	0,0105
Error total	15 429,8	4	3 857,44		
Total (corr.)	597 255	8			

En las tablas 8 y 9 se evidenció la diferencia significativa de los 9 tratamientos y mostró una similitud entre los tratamientos T1 y T2 que difieren de T0 y en el caso de las horas se evidenció una similitud entre las 24 h y 48 h que difieren de las 72 h; el tratamiento T1 a las 72 h obtuvo una mayor reducción de la DBO a 579,3 mg/L a comparación del tratamiento T0 a las 24 h, el cual alcanzó un valor de DBO de 1 356 mg/L, por lo que podemos decir que fue el más óptimo.

**Tabla 14**

*La prueba de rango múltiple de Tukey ( $p > 0,05$ ) para DBO en base a los tratamientos*

<b>Tratamiento</b>	<b>n</b>	<b>Media</b>	<b>Significancia</b>
T1	3	683,367	a
T2	3	745,333	a
T0	3	1 184	b

**Tabla 15**

*La prueba de rango múltiple de Tukey ( $p > 0,05$ ) para DBO en base a las horas*

<b>Horas</b>	<b>n</b>	<b>Media</b>	<b>Significancia</b>
72	3	716,6	a
48	3	880	b
24	3	1 016,1	b

En la tabla 10 se nos muestran los valores resultantes de los tratamientos ejecutados respecto al parámetro Demanda Química de Oxígeno, los cuales difieren entre si según el tipo de tratamiento aplicado y el número de horas como tiempo de retención hidráulica.

**Tabla 16**

*Resultados de los análisis del parámetro Demanda Química de Oxígeno*

<b>Horas vs tratamiento</b>	<b>T0</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>
24	2 885,3	1 647,5	1 988,8
48	2 559,6	1 473,3	1 447,3
72	1 989,6	1 388,7	1 251,9

En base a la tabla 11, del análisis de varianza (ANOVA), se evidenció una diferencia significativa entre los tratamientos aplicados a la muestra de agua residual municipal del afluente de la PTAR Magollo con un valor  $p < 0,0001$ .

**Tabla 17***Análisis de varianza de los resultados de Demanda Química de Oxígeno*

<b>FV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>P -Valor</b>
A: Tratamiento	1 792 310	2	896 153	25,77	0,0052
B: Horas	598 268	2	299 134	8,60	0,0356
Error total	139 121	4	34 780,1		
Total (corr.)	2 529 690	8			

En las tablas 12 y 13 se evidenció la diferencia significativa de los 9 tratamientos y mostró una similitud entre los tratamientos T1 y T2 que difieren de T0 y en el caso de las horas se evidenció una similitud entre las 24 h y 48 h y también entre las 48 h y 72 h; el tratamiento T2 a las 72 h obtuvo una mayor reducción de la DQO a 1 251,9 mg/L a comparación del tratamiento T0 a las 24 h, el cual alcanzó un valor de DQO de 2 885,3 mg/L, por lo que podemos decir que fue el más óptimo.

**Tabla 18**

*La prueba de rango múltiple de Tukey ( $p > 0,05$ ) para DQO en base a los tratamientos*

<b>Tratamiento</b>	<b>n</b>	<b>Media</b>	<b>Significancia</b>
T1	3	1 503,17	a
T2	3	1 562,67	a
T0	3	2 478,17	b

**Tabla 19**

*La prueba de rango múltiple de Tukey ( $p > 0,05$ ) para DQO en base a las horas*

<b>Horas</b>	<b>n</b>	<b>Media</b>	<b>Significancia</b>	
72	3	1 543,4	a	
48	3	1 826,73	a	b
24	3	2 173,87	b	

En la tabla 14 se nos muestran los valores resultantes de los tratamientos ejecutados respecto al parámetro Coliformes Termotolerantes, los cuales difieren entre si según el tipo de tratamiento aplicado y el número de horas como tiempo de retención hidráulica.

**Tabla 20**

*Resultados de los análisis del parámetro Coliformes Termotolerantes*

<b>Horas vs tratamiento</b>	<b>T0</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>
24	$54 \times 10^7$	$79 \times 10^6$	$17 \times 10^7$
48	$26 \times 10^7$	$79 \times 10^5$	$79 \times 10^6$
72	$13 \times 10^7$	$7 \times 10^5$	$7 \times 10^6$

En base a la tabla 15, del análisis de varianza (ANOVA), se evidenció una diferencia significativa entre los tratamientos aplicados a la muestra de agua residual municipal del afluente de la PTAR Magollo con un valor  $p < 0,0001$ .

**Tabla 21***Análisis de varianza de los resultados de Coliformes Termotolerantes*

<b>FV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>P -Valor</b>
A: Tratamiento	132 475 x 10 <sup>8</sup>	2	662 374 x 10 <sup>7</sup>	8,50	0,0363
B: Horas	737 121 x 10 <sup>7</sup>	2	36 856 x 10 <sup>8</sup>	4,73	0,0884
Error total	311 786 x 10 <sup>7</sup>	4	779 464 x 10 <sup>6</sup>		
Total (corr.)	237 365 x 10 <sup>8</sup>	8			

En las tablas 16 y 17 se evidenció la diferencia significativa de los 9 tratamientos y mostró una similitud entre los tratamientos T1 y T2 que difieren de T0 y en el caso de las horas se evidenció una similitud entre las 24 h y 48 h y también entre las 48 h y 72 h; el tratamiento T1 a las 72 h obtuvo una mayor reducción de Coliformes Termotolerantes a 7 000 NMP/100 mL a comparación del tratamiento T0 a las 24 h, el cual alcanzó un valor de Coliformes Termotolerantes de 5 400 000 NMP/100 mL, por lo que podemos decir que fue el más óptimo.

**Tabla 22**

*La prueba de rango múltiple de Tukey ( $p > 0,05$ ) para Coliformes Termotolerantes en base a los tratamientos*

<b>Tratamiento</b>	<b>n</b>	<b>Media</b>	<b>Significancia</b>
T1	3	292 103	a
T2	3	853 333	a
T0	3	3 100 000	b

**Tabla 23**

*La prueba de rango múltiple de Tukey ( $p > 0,05$ ) para Coliformes Termotolerantes en base a las horas*

<b>Horas</b>	<b>n</b>	<b>Media</b>	<b>Significancia</b>	
72	3	459 000	a	
48	3	1 156 330	a	b
24	3	2 630 000	b	

A los 12 días se realizó una última toma de muestra con el fin de determinar la eficiencia de ambos tratamientos mediante una caracterización fisicoquímica y biológica del efluente resultante. Es con esto que, en la tabla 18, se nos muestran los parámetros fisicoquímicos y biológicos de los efluentes de ambos sistemas de tratamiento.

**Tabla 24**

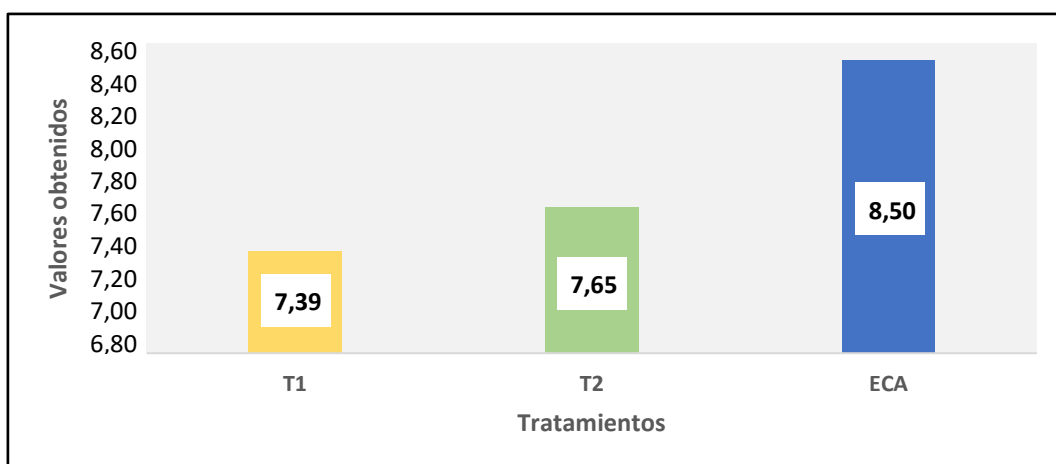
*Parámetros del tratamiento con lodos activados (T2) y lodos con microorganismos eficientes (T1)*

Parámetros	Unidad	Resultados		ECA
		T1	T2	
pH	Unidad	7,39	7,65	6,5 – 8,5
C.E.	uS/cm	3,10	3,31	2 500
OD	mg/L	10,23	12,57	> 4
DBO	mg/L	8	25	15
DQO	mg/L	27	39	40
Colif. Termotol.	NMP	317,38	1 269,53	1 000

En la figura 8 se visualiza la comparación entre los valores del parámetro pH que se obtuvieron a partir de los sistemas de tratamiento a base de lodos activados (T2) y lodos enriquecidos con microorganismos eficientes (T1), donde se cumple con los Estándares de Calidad Ambiental del agua para riego no restringido establecidos por el D.S. N° 004-2017-MINAM.

**Figura 8**

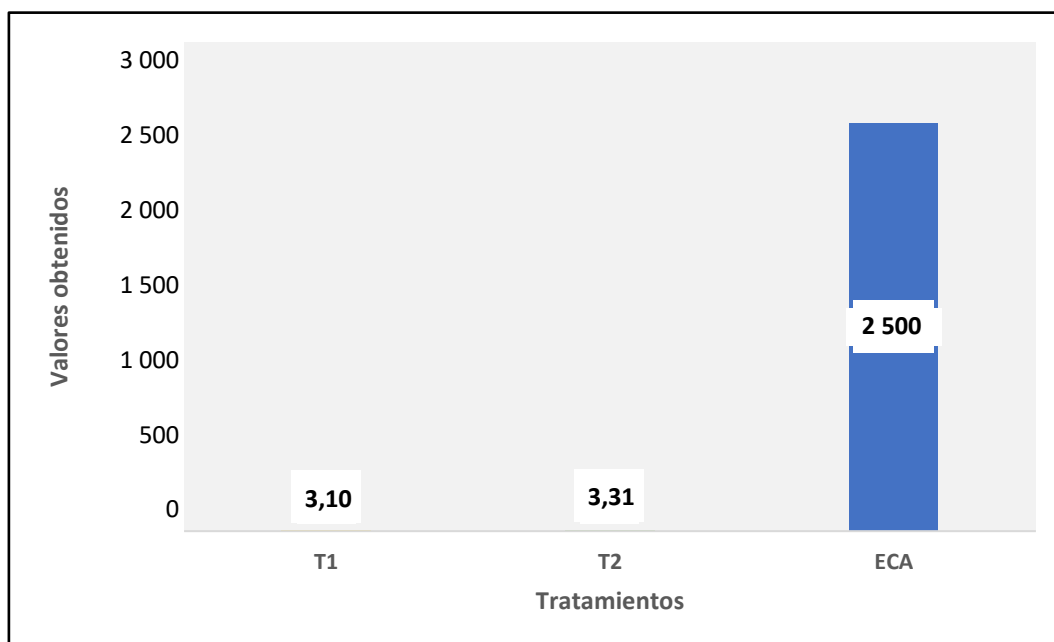
*Comparación de los resultados del análisis del parámetro pH de la muestra final*



En la figura 9 se visualiza la comparación entre los valores del parámetro Conductividad Eléctrica que se obtuvieron a partir de los sistemas de tratamiento a base de lodos activados (T2) y lodos enriquecidos con microorganismos eficientes (T1), donde se cumple con los Estándares de Calidad Ambiental del agua para riego no restringido establecidos por el D.S. N° 004-2017-MINAM.

### Figura 9

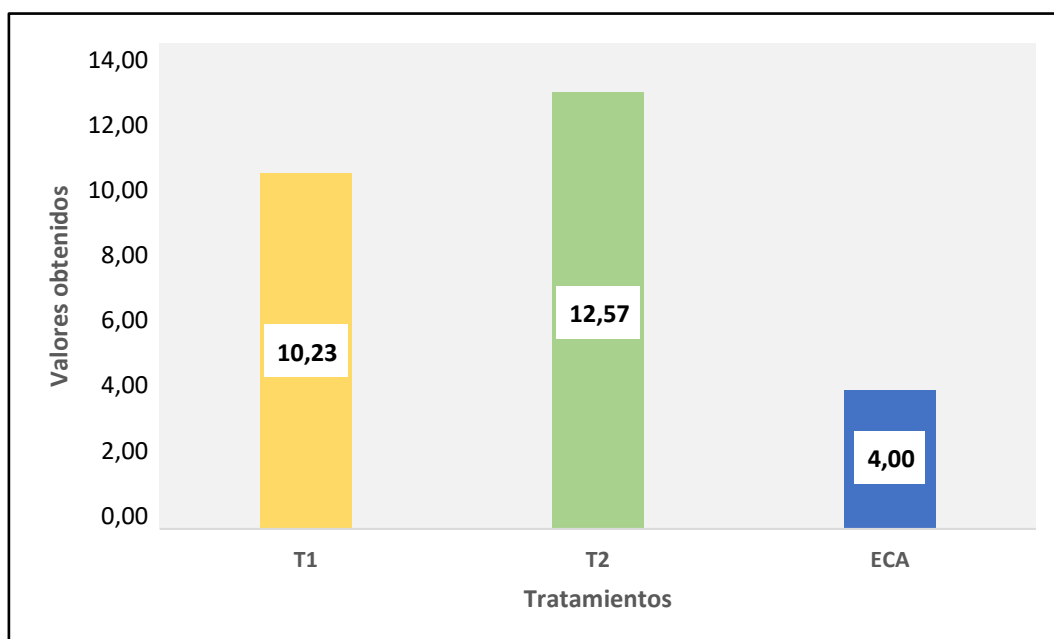
*Comparación de los resultados del análisis del parámetro Conductividad Eléctrica de la muestra final*



En la figura 10 se visualiza la comparación entre los valores del parámetro Oxígeno disuelto que se obtuvieron a partir de los sistemas de tratamiento a base de lodos activados (T2) y lodos enriquecidos con microorganismos eficientes (T1), donde se cumple con los Estándares de Calidad Ambiental del agua para riego no restringido establecidos por el D.S. N° 004-2017-MINAM.

**Figura 10**

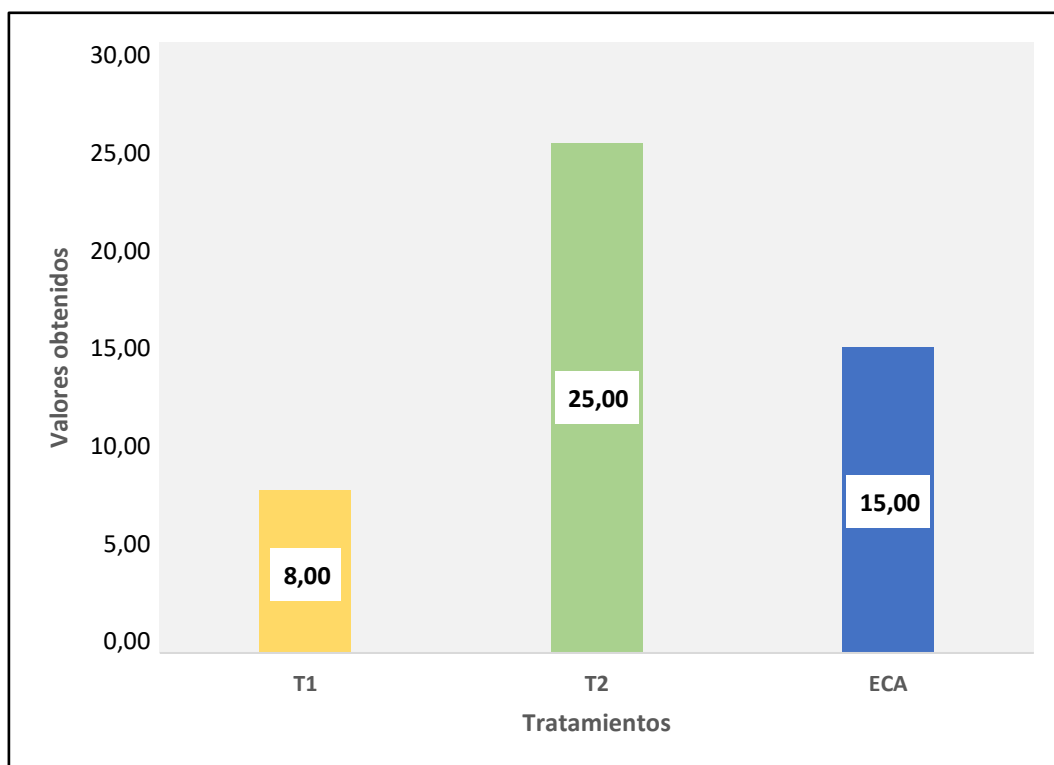
*Comparación de los resultados del análisis del parámetro Oxígeno disuelto de la muestra final*



En la figura 12 se visualiza la comparación entre los valores del parámetro DBO que se obtuvieron a partir de los sistemas de tratamiento a base de lodos activados (T2) y lodos enriquecidos con microorganismos eficientes (T1), donde solo T1 cumple con los Estándares de Calidad Ambiental del agua para riego no restringido establecidos por el D.S. N° 004-2017-MINAM.

**Figura 11**

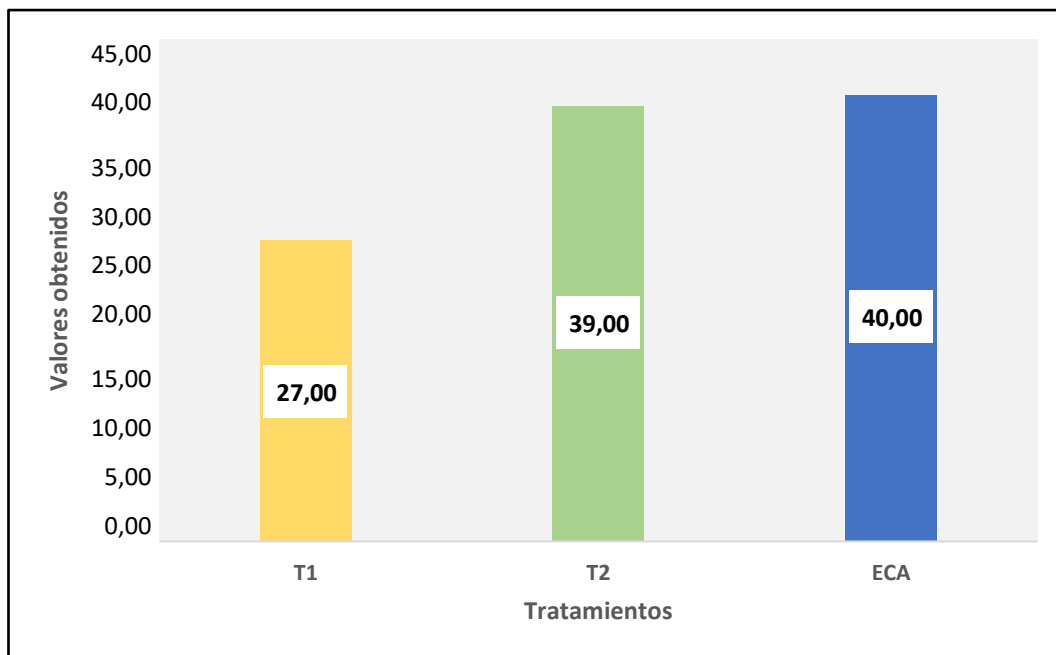
*Comparación de los resultados del análisis del parámetro DBO de la muestra final*



En la figura 12 se visualiza la comparación entre los valores del parámetro DQO que se obtuvieron a partir de los sistemas de tratamiento a base de lodos activados (T2) y lodos enriquecidos con microorganismos eficientes (T1), donde se cumple con los Estándares de Calidad Ambiental del agua para riego no restringido establecidos por el D.S. N° 004-2017-MINAM.

**Figura 12**

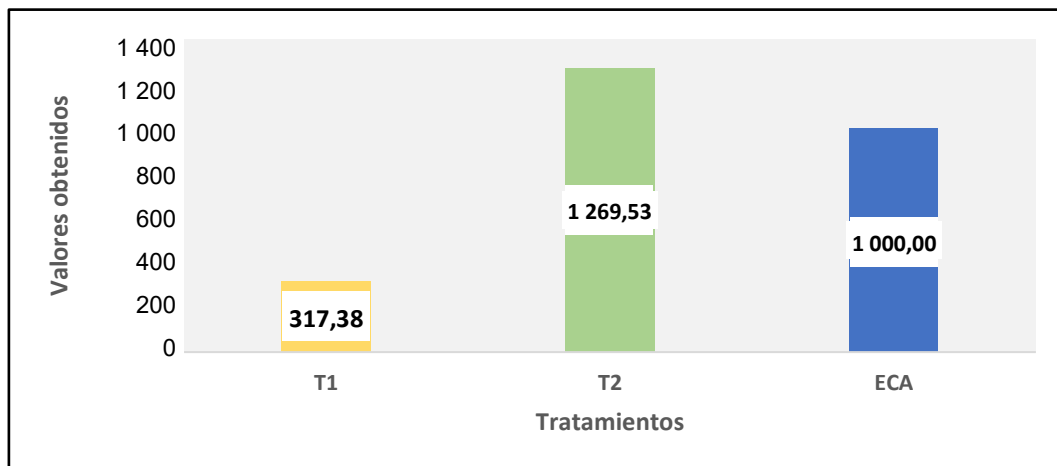
*Comparación de los resultados del análisis del parámetro DQO de la muestra final*



En la figura 13 se visualiza la comparación entre los valores del parámetro Coliformes Termotolerantes que se obtuvieron a partir de los sistemas de tratamiento a base de lodos activados (T2) y lodos enriquecidos con microorganismos eficientes (T1), donde solo el tratamiento T1 logró llegar a cumplir con los Estándares de Calidad Ambiental del agua para riego no restringido establecidos por el D.S. N° 004-2017-MINAM. En el caso del tratamiento T2, no se cumple.

**Figura 13**

*Comparación de los resultados del análisis del parámetro Coliformes Termotolerantes de la muestra final*



## 5.2 Discusión de resultados

### 5.2.1 Discusión de las características fisicoquímicas y biológicas del agua residual municipal del afluente de la PTAR Magollo

Respecto a las características fisicoquímicas del afluente de la PTAR Magollo, se obtiene un índice de biodegradabilidad de 0,47; siendo este un indicativo de alta biodegradabilidad y es susceptible de un tratamiento biológico, siendo esto reforzado por Limache y Tirado (2022), quienes al obtener valores de DBO y DQO del afluente de la PTAR Magollo, dan con un índice de biodegradabilidad de 0,42 y por la Empresa Prestadora de Servicios de Tacna (EPS Tacna, 2022), cuyos valores de DBO y DQO dan

con un índice de biodegradabilidad de 0,49. Los valores obtenidos para la DBO, DQO y Coliformes Termotolerantes no cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental del agua para riego no restringido establecidos por el D.S. N° 004-2017-MINAM.

### **5.2.2 Discusión del efecto del uso de lodos activados y microorganismos eficientes en aguas residuales municipales en función a su calidad fisicoquímica y biológica**

Los valores obtenidos para DBO, DQO y Coliformes Termotolerantes de los efluentes de los dos tratamientos muestran una disminución de la concentración, lo cual se corrobora por la investigación de Arciniega y Salazar (2021) realizan pruebas de tratabilidad con lodos activados teniendo una DQO inicial de 1 101 mg/L, por 24 horas durante 5 días, obteniendo una DQO final de 117 mg/L.

También Calderón et al (2019) obtuvo resultados favorables en su tratamiento con microorganismos eficientes a las 2 semanas, teniendo una concentración de coliformes termotolerantes de  $5 \times 10^6$  a 250 NMP, asimismo para DBO de 120,2 a 79,9 mg/L y DQO de 161,9 a 106,2 mg/L. Guerra et al. (2021) también realiza un tratamiento a base de lodos activados que le arroja valores de DBO de 21 600 mg/L a 59 mg/L y una DQO de 60 600 mg/L a 25 040 mg/L, con una eficiencia del 99,7 %.

Se llegó a cumplir con los Estándares de Calidad Ambiental considerados, resaltando con ello la eficacia del tratamiento a base de lodos activados junto a los microorganismos eficientes sobre el tratamiento conformado únicamente por lodos activados, debiendo ser cubiertos algunos aspectos como una adecuada inversión o análisis de laboratorio más frecuentes (Barahona, 2020); además, la presencia de ciertos sólidos podría haber influido en la reducción de los valores de los parámetros puesto a que elementos como las grasas y arenas pueden afectar al tratamiento biológico empleado (Sánchez y Villaverde, 2020).

Estos aspectos mencionados, si bien influyen directamente en el proceso, no afectan al tratamiento en general puesto a que el tratamiento a base de lodos activados posee un porcentaje de remoción elevado por sobre otros tratamientos como las lagunas facultativas o filtros percoladores (Larico et al., 2021).

## CONCLUSIONES

- La comparación entre el tratamiento aerobio de aguas residuales de la PTAR Magollo con lodos activados y microorganismos eficientes indica que el tratamiento a base de lodos enriquecidos con microorganismos eficientes es mucho más efectivo que el tratamiento a base de lodos activados.
- Al analizar las características fisicoquímicas y biológicas del afluente de la PTAR Magollo, se evidencia que los valores hallados sobrepasan los Estándares de Calidad Ambiental, por lo tanto, es necesario que pase por un tratamiento previo para que pueda ser empleada para el riego de vegetales y bebida de animales.
- Al evaluar la aplicación del uso de lodos activados y microorganismos eficientes en una muestra de agua residual municipal de 360 L por 24, 48 y 72 horas; se evidencia una diferencia significativa en función a su calidad fisicoquímica y biológica a través los parámetros pH, Conductividad Eléctrica, Oxígeno disuelto, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Coliformes Termotolerantes; además de que se aprecia una reducción progresiva de los valores de los parámetros evaluados, cumpliendo con los Estándares de Calidad Ambiental del agua para riego no restringido establecidos por el D.S. N° 004-2017-MINAM.

## RECOMENDACIONES

- Para un mejor análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua residual municipal, es recomendable tomar 9 muestras en 3 diferentes puntos con el fin de precisar un promedio óptimo.
- Se debe emplear un mecanismo que permita retener, aparte de los sólidos, aceites y grasas presentes en el agua residual municipal, puesto a que puede obstruir las conexiones entre los diversos componentes empleados en el sistema de tratamiento de agua residual.
- Se debe realizar una aereación manual de vez en cuando, con el fin de que el agua residual y los procesos metabólicos que se den no afecten al recipiente que conforma el reactor.
- Tomar muestras cada 3 días durante 24 días, con el fin de tener 8 muestras que permitan tener un esquema más preciso del proceso de disminución de la carga orgánica, esto considerando la muestra 0 de agua residual municipal.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Moreno, J. A. (2020). *Tratamiento de aguas residuales con el uso de microalgas* [Tesis para optar el Grado de Bachiller, Universidad Científica del Sur]. <https://hdl.handle.net/20.500.12805/1417>
- Alcocer Tapara, L. M. (2019). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales utilizando tecnología apropiada* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Peruana del Centro]. <http://repositorio.upecen.edu.pe/handle/20.500.14127/183>
- Altamirano Abraham, J. R. (2020). *Desarrollo de un modelo matemático para la propuesta y evaluación de escenarios de reducción del consumo eléctrico en un sistema de tratamiento por lodos activados* [Tesis para optar el Grado de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/19784>
- Alvarado Llanos, S. y Valencia Huatay, R. (2023). *Efecto del yogurt vencido sobre la calidad de los lodos activados y los parámetros cinéticos del biorreactor de las aguas residuales domésticas – Cajamarca* [Tesis para obtener título profesional]. <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/2878>
- Álvarez Cuarite, J. M. (2021). *Conocimiento y práctica del tratamiento de agua intradomiciliaria en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna* [Tesis para optar el Grado de Maestría, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/4607>
- Arango Escobar, S. y Caycedo Toro, S. (2022). *Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas para la vereda tablacito ubicada en Rionegro, Antioquía* [Tesis para obtener título

profesional, Universidad EIA].  
<https://repository.eia.edu.co/handle/11190/5367>

Arbaiza Gonzales, T. M. (2021). *Proliferación de microalgas en plantas de tratamiento de aguas residuales* [Tesis para optar el Grado de Bachiller, Universidad Científica del Sur].  
<https://hdl.handle.net/20.500.12805/1676>

Arciniega Tenemaza, A. E. y Salazar Chacha, J. P. (2021). *Diseño de la planta de tratamiento de agua residual mediante lodos activados para la Comunidad de Pesillo* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Politécnica Salesiana].  
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19898>

Aroné Mendoza, S. L. (2019). *Indicadores fecales en afluente y efluente en aguas residuales de la laguna de estabilización Boca del Río de EMAPISCO S.A.* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional San Luis Gonzaga].  
<http://repositorio.unica.edu.pe/handle/123456789/3107bn>

Ávalos Sanguinetti, O. A. (2019). *Reúso de agua residual tratada* [Diapositivas de PowerPoint]. Autoridad Nacional del Agua. Ministerio de Agricultura y Riego.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12543/3841>

Ayala Luna, S. M., Milla Zacarías, D. M., Montero Chávez, D. N. (2022). *Higienización de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de Manchay y su uso como insumo de cultivo* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Continental]. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/12235>

- Baca Delgado, L. S. (2021). *Dimensionamiento y evaluación de un reactor Raceway como sistema de desinfección solar de agua mediante hierro cero valente a escala de laboratorio* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/4611>
- Baldeón Panebra, S. I. y Chávez Casanova, L. G. (2023). *Efectividad de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial en la planta de tratamiento de aguas residuales Juan Velasco Alvarado* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://hdl.handle.net/20.500.12952/8400>
- Barahona Perales, F. J. (2020). *Características y ventajas comparativas del tratamiento con lodos activados y lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales de Juliaca* [Tesis para optar el Grado de Magister, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez]. <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/5277>
- Briceño Torrejon, D. P. y Torpoco Tamayo, G. D. (2022). *Generación de biofertilizante mediante el tratamiento de lodos activados de una PTAR en Independencia, Lima* [Tesis para obtener título profesional, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/116633>
- Buitrago Parada, C. C. (2022). *Comparación de los diferentes procesos y modificaciones de tratamientos de aguas residuales por lodos activados relacionando costos de operación y eficiencia de remoción de sustrato* [Tesis para obtener título profesional,

Universidad Católica de Colombia].  
<https://hdl.handle.net/10983/30511>

Calderón Huamaní, D. F., Huaranca Contreras, P. P., y Díaz Rodríguez, J. J. (2019). Tratamiento Aguas Residuales Mediante Tecnología de Microorganismos Eficientes – Substanzalla, Ica - Perú. *ÑAWPARISUN*, 3(1), 13-18.  
<http://repositorio.unaj.edu.pe:8080/handle/UNAJ/46>

Calisaya Anco, J. A. (2023). *Disponibilidad del recurso hídrico en cuanto a su cantidad* [Diapositivas de PowerPoint]. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, Gobierno del Perú.  
<https://docs.google.com/presentation/d/12xpO4YpMpNyJOQ0g8zCP4WZXiX6yGW3/edit?usp=sharing&oid=103014678153058935143&rtpof=true&sd=true>

Campos Rodriguez, M. J. y Marchán Vargas, J. F. (2021). *Avances, ventajas y desventajas de los nanomateriales en el tratamiento de aguas residuales: una revisión sistemática* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Cesar Vallejo].  
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/87647>

Campoverde Niño, O. J. (2019). *Tratamiento de aguas residuales de una empresa industrial de congelados* [Tesis para obtener título profesional, Universidad de Piura].  
<https://hdl.handle.net/11042/4397>

Candela Levano, G. M. (2020). *Propuestas de estabilización y aprovechamiento de lodos de PTAR y BES en Perú basadas en su caracterización fisicoquímica y microbiológica* [Tesis para

obtener título profesional, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4422>

Castillo Melgarejo, R. E. y Cárdenas Mejía, J. C. (2019). *Evaluación de la eficiencia de un módulo de lodos activados en el tratamiento de agua residual domestica del Distrito de San Miguel* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional del Callao]. <https://hdl.handle.net/20.500.12952/4560>

Centeno Mora, E. y Murillo Marín, A. (2019). Tipología de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales ordinarias instaladas en Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 53(2), 97-110. <https://doi.org/10.15359/rca.53-2.5>

Chauca Jaune, K. V. y Tadeo Cashpa, J. B. (2022). *Reducción de fosfatos y nitratos en efluentes domésticos mediante filtros a base de cáscaras de Cocos nucifera y huevo de Gallus gallus domesticus en Carabayllo* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/94073>

Chordá Sáez, C. (2018). *Diseño de un reactor de aireación prolongada para la ampliación de una EDAR* [Tesis para obtener título profesional, Universitat Jaume I]. <http://hdl.handle.net/10234/175733>

Cortez Abanto, D. E. (2022). *Constantes cinéticas en función a los parámetros de control del sistema de lodos activados a escala de laboratorio en el Camal Municipal de Cajamarca* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/5001>

- Cutipa Paucarima, E. C. y Ramos Borda, G. S. (2021). *Propuesta de un sistema de tratamiento biológico para agua residual no doméstica del Centro Comercial de Arequipa* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional de San Agustín]. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/13816>
- Díaz Ruiz, A. N., Arenas Taboada, A., Hoyos Bastidas, O., Ramirez, D., Niño García, J. P. y García Chaves, M. C. (2022). Dinámica funcional de la comunidad bacteriana del lodo activado de una planta de tratamiento de agua residual. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 24(2), 26-35. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v24n2.101036>
- Díaz Burgos, T. C. y Collantes Chules, L. (2019). *Determinación de la efectividad del uso de microorganismos de montaña para el tratamiento de aguas residuales in vitro en el caserío de Chontamuyo* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Peruana Unión]. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/1944>
- Díaz Muñoz, L. A. (2021). *Eficiencia en la remoción de materia orgánica de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Lajas* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. <http://hdl.handle.net/20.500.14142/311>
- D.S. N° 035-2023-PCM. Que declara el Estado de Emergencia en varios distritos de algunas provincias de los departamentos de Áncash, Arequipa, Apurímac, Ayacucho, Cusco, Huancavelica, Huánuco, Ica, Junín, Lima, Moquegua, Puno y Tacna; y, de la Provincia Constitucional del Callao, por peligro inminente ante intensas precipitaciones pluviales. *Diario El Peruano* (2023). <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/2159530-2>

- Delange Zevallos, G. (2021). *Estudio y diseño para la puesta en operación gradual de una PTARD* [Tesis para optar el Grado de Maestría, Universidad Nacional de San Agustín]. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/14332>
- Delgado Bardales, J. M. (2021). La investigación científica: Su importancia en la formación de investigadores. *Ciencia Latina*, 5(3). [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v5i3.476](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.476)
- Duque, R. (2022) *Eficiencia de un sistema de lodos activados para descargas de agua en producción del laboratorio Penaeus S.A.* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/9657>
- Empresa Prestadora de Servicios Tacna (2022). Evaluación del IGAPAP de la PTAR de Magollo. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/3680690-105-2022-vivienda-dgaa>
- Espinosa Enriquez, L. A. y Lizano Vernis, K. E. (2020). *Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de lodos activados para la comunidad de Paquiesticancia* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18606>
- Félix Puente, G. V. y Leiva Chávez, D. A. (2023). *Diseño y construcción de una micro planta de tratamiento de aguas residuales con tecnologías de lodos activados en sistema biológico secundario en el Centro de Experimentación Ayora* [Tesis para obtener título

profesional, Universidad Politécnica Salesiana].  
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24434>

Fernandez Gutierrez, Y. M. (2019). *Comparación del biocoagulante Tamarindus indica y Sulfato de Aluminio en el tratamiento de aguas residuales* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur].  
<https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/113>

Galindo Pardo, F. V., Jacobo Salcedo, M., Cueto Wong, J. A., Reta Sánchez, D. G., García Hernández, J. L. y Vázquez Vázquez, C. (2021). Caracterización de aguas residuales tratadas de la comarca lagunera y su viabilidad en el riego agrícola. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(1), 189-201.  
<https://doi.org/10.29312/remexca.v11i1.2084>

Guerra Huilca, F., Cabrera Vallejo, M. y Salazar Yépez, W. (2021). Prototipo para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria quesera en el cantón Guano provincia de Chimborazo. *Novasinerгия*, 1(2), 20-29.  
<https://doi.org/10.37135/unach.ns.001.02.02>

Guzman Trujillo, F. Z., y Sánchez Torres, E. C. (2020). *Revisión y Análisis de la Eficiencia del Manejo de Aguas Residuales con Microorganismos Eficaces y de Montaña* [Tesis para optar el Grado de Bachiller, Universidad Peruana Unión].  
<http://hdl.handle.net/20.500.12840/3284>

Hinojosa Calderón, T. K. (2020). *Purificación y caracterización de la enzima Pectinasa producida por Geobacillus sp P4* [Tesis para

obtener título profesional, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/4202>

Hinojosa Franco, J. C. y Koc Tamayo, A. M. (2021). *Centro interactivo del agua para fortalecer la educación y la cultura de su uso en la ciudad de Tacna* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/4179>

Hualpa Pinto, A. E. (2019). *Mejoramiento de lodos deshidratados del proceso Biorreactor de membrana (MBR) mediante la técnica del Bocashi* [Tesis para optar el Grado de Bachiller, Universidad Científica del Sur]. <https://hdl.handle.net/20.500.12805/905>

Huamán Siuce, M. (2020). *Aprovechamiento de lodos activados provenientes de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la obtención de carbón activado* [Tesis para optar el Grado de Bachiller, Universidad Científica del Sur]. <https://hdl.handle.net/20.500.12805/1472>

Huamani Condori, J. C. (2021). *Propuesta de mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales por lodos en minera Ares* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Continental]. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/10870>

Huamani Lopez, E. G. (2020). *Evaluación del proceso de tratamiento de agua residual y sus lodos como subproducto en una planta compacta de depuración por lodos activados* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional de San Agustín]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/11024>

- Huanacuni Lupaca, C. (2019). *Capacidad de depuración de aguas residuales domésticas con aplicación de diferentes tecnologías de tratamiento sostenibles con costos de operación y mantenimiento económicos para pequeñas comunidades descentralizadas en Tacna, Perú* [Tesis para optar el Grado de Doctor, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/2540>
- Huarachi Núñez, Y. D. (2020). *Propuesta de mejora del sistema de tratamiento de aguas residuales del matadero municipal de Tacna* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Privada de Tacna]. <http://hdl.handle.net/20.500.12969/1527>
- Jaramillo Yupanqui, J. V. (2021). *Efecto de las dimensiones hidráulicas óptimas de los tanques sépticos para la remoción de la DBO5 de las aguas residuales domésticas* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo]. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5318>
- Joaquín Táccunan, L. C. (2021). *Diseño de tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales en Chacapampa* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Peruana Los Andes]. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/2828>
- Larico Gómez, C. A. (2023). *Descontaminación mediante la lombricultura de los lodos residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Copare, Tacna* [Tesis para optar el Grado de Maestría, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/3477>

- Larico Mamani, C. J., Fernández Mamani, D. L., Cahua Álvarez, 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, *Investigación Andina*, 21(1).  
<http://dx.doi.org/10.35306/rev.%20cien.%20univ..v21i1.926>
- Larico Mamani, P. L. (2019). *Estudio de la remoción de arsénico del río Sama a nivel domiciliario utilizando lana de acero complementado con aireación y propuesta de diseño de un reactor batch* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann].  
<https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/1790>
- Limache Quispe, F. D. (2021). *Evaluación comparativa de lechuga de agua (Pistia stratiotes) y jacinto de agua (Eichhornia crassipes) para el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Tacna* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann].  
<http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/4427>
- Limache Quispe, F. D. y Tirado Rebaza, L. U. M. (2022). Acción de dos macrófitas para el tratamiento del agua residual de las lagunas de estabilización de Magollo. *Ciencia y Desarrollo*, 21(1), 29-39.  
<http://10.33326/26176033.2022.1.1239>
- Lopez Amésquita, G. (2021). *Simulación de una PTAR basado en el modelo de lodos activos ASM1 para evaluar la eficiencia de remoción de materia orgánica y nutrientes de las aguas residuales municipales* [Tesis para obtener título profesional, Universidad

Nacional Mayor de San Marcos].  
<https://hdl.handle.net/20.500.12672/17942>

Machaca Rodríguez, A. S. (2021). *Determinación de los parámetros de operación en un reactor batch y propuesta de dimensionamiento para la remoción de arsénico del agua del Río Locumba - Ite, Región Tacna, utilizando cloruro férrico* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann].  
<https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/3883>

Martínez Aranda, R. (2022). *Efecto de un campo magnético en un proceso de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales municipales* [Tesis para optar el Grado de Maestría, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua].  
<http://hdl.handle.net/20.500.12013/2309>

Mejía Mesa, J. A. y Ayala Cardona, A. F. (2019). *Evaluación uso de diferentes niveles de inyección de aire en un reactor de lodos activados con presión a escala piloto* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Santo Tomás].  
<http://hdl.handle.net/11634/18400>

Mendoza Gibaja, J. E. y Villa Siccos, H. S. (2023). *Tratamiento de las aguas residuales empleando el sistema Tohá* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Andina del Cusco].  
<https://hdl.handle.net/20.500.12557/6186>

Montenegro Gómez, S. P., Yamile Pulido, S. y Calderón Vallejo, L. F. (2019). *Prácticas de biorremediación en suelos y aguas. Notas de Campus*, 1. <https://doi.org/10.22490/notas.3451>

- Morales Mora, E., Reyes Lizano, L., Barrantes Jiménez, K. y Chacón Jiménez, L. (2022). Evaluación temporal y espacial en la calidad microbiológica del agua superficial. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1), 120-137. <https://doi.org/10.15359/rca.56-1.6>
- Núñez Figueroa, M. (2019). *Eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Cajabamba – Cajamarca: Alternativas para mejorar su tratamiento* [Tesis para optar el Grado de Doctor, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/3526>
- Ochoa Foliaco, M. C. (2021). *Evaluación de la tratabilidad de nutrientes del agua residual doméstica de la Universidad EIA por medio de un biorreactor de lecho fluido MBBR* [Tesis para obtener título profesional, Universidad EIA]. <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/3301>
- Ochoa, R., Nava, N. y Fusil, D. (2020). Comprensión epistemológica del tesista sobre investigaciones cuantitativas, cualitativas y mixtas. *Revista científica electrónica de Ciencias Humanas*, 15(45), 13-22. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7407375>
- Pacori Pacori, J. (2021). *Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales mediante el sistema de lodos activados en Villa Chullunquiani* [Tesis para optar el Grado de Bachiller, Universidad Privada San Carlos]. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/264>
- Palomino Prieto, O. (2020). *Viabilidad energética para la Gestión del Lodo Residual a través de digestión Anaerobia de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de la planta de*

*beneficio de AVINSA S.A.S.* [Tesis para optar el Grado de Maestría, Universidad de Santander]. <https://repositorio.udes.edu.co/handle/001/5101>

Paz Majluf, S. F. (2019). *Diseño y evaluación de un biofiltro a base del musgo blanco Sphagnum magellanicum para mejorar la calidad de agua de uso doméstico en comunidades rurales* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Peruana Cayetano Heredia]. <https://hdl.handle.net/20.500.12866/8542>

Peralta Laura, E. S. (2024). *Proyecto de sistema de abastecimiento de agua potable, alcantarillado, drenaje pluvial y PTAR con lodos activados para la APV* [Tesis para optar el Grado de Maestría, Universidad Nacional de San Antonio de Abad]. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/8496>

Perojo Bellido, A. M., Aguilera Corrales, Y., Villar Aneiros, A. y Avilés Aguilera, Y. (2022). Caracterización de las aguas residuales generadas en la producción de conjugados monovalentes en Vacunas. *Vaccimonitor*, 31(2), 60-67. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1025028X2022000200060&lng=es&nrm=iso](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025028X2022000200060&lng=es&nrm=iso)

Quinatoa de la Cruz, N. P. (2022). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de lodos activados para el Camal Municipal del Cantón Mejía* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23463>

Quintanilla Castro, E. H. (2021). *Eficiencia de un reactor de lodos activados a escala de laboratorio en la concentración de oxígeno*

*disuelto en aguas residuales domésticas* [Tesis para optar el Grado de Maestría, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/4606>

Ramírez Chacón, O. (2021). *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales y su reutilización en la empresa agroindustrial TUMÁN S.A.A. para disminuir costos de producción* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/4362>

Ramírez Tafur, C. A. (2019). *Diseño de un sistema de lecho filtrante con microorganismos eficientes para la reducción de materia orgánica en aguas residuales del sector Chontamuyo* [Tesis para optar el Grado de Bachiller, Universidad Peruana Unión]. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2371>

Ramos Álvarez, J. D. y Chambilla Marca, L. F. (2022). *Evaluación de riesgos para mejorar el flujo de aguas residuales en el colector primario de la Avenida Tarata* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Privada de Tacna]. <http://hdl.handle.net/20.500.12969/2434>

Rodas Muñoz, D. V. (2021). *Eficiencia de los lodos activados a escala laboratorio en la disminución de DQO, DBO, SST, aceites y grasas; del efluente del Camal Municipal de Cajamarca* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/4534>

Rosas Vargas, J. A. y Ramón Valencia, J. A. (2021). *Biodegradabilidad de lixiviados procedentes de un relleno sanitario utilizando un*

sistema de lodos activados flujo pistón. *Orinoquia*, 24(2), 99-109.  
<https://doi.org/10.22579/20112629.633>

Sagrero Mora, V. J. (2020). *Diseño de un biorreactor de fibras huecas inmersas para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica* [Tesis para obtener el Grado de Licenciado, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo].  
[http://hdl.handle.net/DGB\\_UMICH/8240](http://hdl.handle.net/DGB_UMICH/8240)

Salazar Rodriguez, J. R. (2021). *Eficiencia de la remoción de constituyentes orgánicos en lagunas facultativas a escala en función al tiempo de retención hidráulica en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Celendin* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional de Cajamarca].  
<http://hdl.handle.net/20.500.14074/4083>

Sánchez Baque, J. V. y Román Ullauri, S. E. (2020). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales Industriales para una empresa Empacadora y Exportadora de Camarón en la ciudad de Guayaquil* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Politécnica Salesiana].  
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19149>

Sánchez Sánchez, J. N. y Villaverde Félix, J. M. (2020). *Sistema de lodos activados en la calidad de efluentes del camal municipal de El Porvenir* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/23958>

Solano Ramírez, V., Centeno Mora, E. y Vidal Rivera, P. (2022). Cierre de ciclos de nutrientes y generación de energía por medio del tratamiento anaerobio de las aguas residuales ordinarias: Estudio

de caso en Las Juntas de Abangares, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 57(1), 1-29.  
<https://doi.org/10.15359/rca.57-1.1>

Sullca Curipaco, G. (2020) *Reutilización de aguas residuales municipales para el riego agrícola* [Tesis para optar el Grado de Bachiller, Universidad Científica del Sur].  
<https://hdl.handle.net/20.500.12805/1554>

SUNASS (2022). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento. *Dirección de Fiscalización*, 1.  
<https://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>

Ticona Flores, J. C. (2021). *Tratamiento electroquímico de aguas residuales procedentes del camal municipal de Anta, Cusco* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Continental].  
<https://hdl.handle.net/20.500.12394/10791>

Torres de la Cruz, J. F. y Yauri Chuquimantari, D. K. (2019) *Evaluación de parámetros biocinéticas mediante lodos activados a nivel de laboratorio de los efluentes de la Piscigranja de Miraflores para remoción de la carga orgánica* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional del Centro del Perú].  
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/5187>

Trujillo Carchipulla, J. J. (2020). *Dimensionamiento hidráulico de un reactor biológico de lodos activados para el camal municipal de Lago Agrio* [Tesis para obtener título profesional, Universidad de Las Américas]. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/12057>

- Velasco Rueda, F. y Molano Guarín, A. F. (2019). Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas para la remoción de carga orgánica de una industria de bebidas no alcohólicas en Colombia. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 13(26), 17-26. <https://doi.org/10.31908/19098367.1150>
- Yaya Beas, R. E. (2022). *Control del bulking filamentoso debido a una baja relación F/M de un sistema de lodos activados de mezcla completa por medio de un selector aerobio* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/22569>

# ANEXOS

## Anexo 1 Matriz de consistencia

**Título:** Comparación del tratamiento aerobio de aguas residuales municipales con lodos activados y microorganismos eficientes

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variable	Dimensión	Indicadores
<b>Problema general</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>Hipótesis general</b>	Variables Independientes: X1 Lodos activados X2 Microorganismos eficientes	Biomasa en suspensión Población de microorganismos eficientes	Porcentaje de lodo Concentración
¿Cómo se realiza una comparación entre el tratamiento aerobio de aguas residuales municipales de la PTAR Magollo con lodos activados y microorganismos eficientes?	Comparar el tratamiento aerobio de aguas residuales municipales de la PTAR Magollo con lodos activados y microorganismos eficientes.	Si se compara el tratamiento aerobio de aguas residuales municipales de la PTAR Magollo con lodos activados y microorganismos eficientes entonces se determina cual es el mejor.			
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>			
¿Cuáles son las características fisicoquímicas y biológicas del agua residual municipal del afluente de la PTAR Magollo?	Analizar las características fisicoquímicas y biológicas del agua residual municipal del afluente de la PTAR Magollo.	El análisis del agua residual municipal del afluente de la PTAR Magollo permite determinar sus características fisicoquímicas y biológicas.	Variable dependiente: Tratamiento aerobio de aguas residuales municipales	Cantidad de oxígeno	Demanda Bioquímica de Oxígeno
					Demanda Química de Oxígeno
¿Cuál es el efecto del uso de lodos activados y microorganismos eficientes en aguas residuales municipales en función a su calidad fisicoquímica y biológica?	Evaluar el efecto del uso de lodos activados y microorganismos eficientes en aguas residuales municipales en función a su calidad fisicoquímica y biológica.	El efecto del uso de lodos activados y microorganismos eficientes en el tratamiento de aguas residuales municipales influye en su calidad fisicoquímica y biológica.		Materia orgánica	Coliformes Termotolerantes
<b>Método y diseño</b>		<b>Población y muestra</b>		<b>Técnicas e instrumentos</b>	
Tipo de investigación:	Aplicada	Población:	Aguas residuales municipales del afluente de la PTAR Magollo.	Técnica:	Observación Experimental
Diseño de investigación:	DCA de 3 tratamientos	Muestra:	360 L	Instrumentos:	Cadena de custodia y cronómetro
Nivel de investigación	Explicativo	Método:	Protocolo de monitoreo de calidad de agua	Tratamiento estadístico:	Statgraphics Centurion XVI

## Anexo 2

### Acta de compromiso para acceso al área para ejecución de tesis



ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMIA  
Centros Experimentales Agrícolas

"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"



#### ACTA DE COMPROMISO

Yo, JHULYUS ANTHONY JOSSEPE TICONA CALCINA ; identificado con DNI 76244150; con código de estudiante 2018-178049; Egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental; con domicilio en ASOCIACION LOS FLORALES MZ 125 LOTE 30; distrito GREGORIO ALBARRACIN; provincia TACNA; región TACNA que habiendo sido aprobado mi solicitud de disponibilidad de un espacio agrícola desde 20 DE NOVIEMBRE hasta 31 DE DICIEMBRE en el CEA III LOS PICHONES para poder desarrollar mi TESIS DE GRADO, ME COMPROMETO A LO SIGUIENTE:



1. Cumplir con el buen trato y normas de convivencia con la comunidad universitaria que labora en el CEA III LOS PICHONES
2. No hacer uso distinto al cual se me cede el antes referido espacio, caso contrario, me obligó a suspender de manera inmediata el uso de las instalaciones.
3. Cumplir con la normatividad vigente estipuladas en las normas internas de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela Profesional de Agronomía y/o CEA III LOS PICHONES.
4. Mantener el orden y la disciplina, así como respetar y acatar las restricciones y prohibiciones de las instalaciones.
5. Cuidar todo el mobiliario de las instalaciones, reparar el daño, así como resarcir el perjuicio, de daños materiales parciales o totales, por negligencia, descuido o intención imputable a mí persona o a los asistentes bajo mi supervisión, que se hubieren ocasionado en el inmueble o en el mobiliario del mismo.
6. No cometer ningún acto que por acción u omisión contravenga lo dispuesto en las leyes y reglamentos aplicables.



ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMIA  
Centros Experimentales Agrícolas

"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"



7. No transmitir a un tercero el uso del espacio asignado, ya que el permiso es intransferible.
8. No presentarme en estado de embriaguez, ni bajo los efectos de alguna droga, enervante o inhalante, en cuyo caso, el permiso será cancelado.
9. Atender las recomendaciones y obedecer las instrucciones de los supervisores o personal designados por el CEA III LOS PICHONES, ya que tienen la facultad para mantener el orden y observar el cumplimiento de este documento normativo.
10. Deslindo de toda responsabilidad penal, civil, moral, económica y de cualquier otra índole, al CEA III LOS PICHONES, de algún accidente o hecho que ocasione lesiones corporales, repercusiones médicas e incluso el fallecimiento del suscrito o de terceros, como consecuencia del ejercicio de las actividades durante el uso de las instalaciones antes mencionada en el horario que me ha sido autorizado. Además, en este acto manifiesto que me encuentro en buenas condiciones de salud para realizar cualquier actividad dentro de las instalaciones y será bajo mi costo el servicio médico y de ambulancia que en su caso pudiera necesitar.
11. Es de mi conocimiento que, aun contando con la autorización correspondiente, éste permiso no surtirá sus efectos si el CEA III LOS PICHONES, por causas de fuerza mayor requiriera el uso de las instalaciones autorizadas para realizar otra actividad de relevancia Institucional, en cuyo caso solicitaré la reprogramación del permiso correspondiente.
12. No vender ni distribuir lo cosechado y/o alimentos ni bebidas dentro de las instalaciones.
13. Recolectar la basura que genere.

Conozco, acepto y cumpliré los términos y condiciones establecidos en la presente Carta Compromiso, por lo que procedo a firmar la presente



*[Firma manuscrita]*  
28/11/18



ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMIA  
Centros Experimentales Agrícolas



"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"

*en forma voluntaria sin que medie ningún tipo de coacción y/o  
condicionamiento, todo ello, de conformidad a la Ley Nro. 27444 "Ley de  
Procedimiento Administrativo General"*

**TACNA, 20 DE NOVIEMBRE DE 2023**



**ENTREGA**

DATOS: ING. GLADYS M. HUALPA COPA  
ADMINISTRADORA DE LOS CEAS - ESAG  
DNI : 00793038



**RECIBE**

DATOS: JHULYUS ANTHONY JOSSEPE TICONA  
CALCINA - TESISISTA  
DNI : 76244150

**Anexo 3**  
**Evidencia fotográfica**

**Foto 1**

*Toma de muestra de agua residual municipal del afluyente de la PTAR Magollo*



**Foto 2**

*Construcción de la caseta para la ejecución de los tratamientos en el CEA III –  
Fundo Los Pichones*



**Foto 3**

*Disolución del lodo para su adecuada incorporación en los reactores*



**Foto 4**

*Visualización de las partes del reactor*



**Foto 5**

*Reactor para el tratamiento con lodos activados*



**Foto 6**

*Reactor para el tratamiento con lodos enriquecidos con microorganismos eficientes*

