

Evaluación comparativa del tratamiento aerobio de aguas residuales municipales mediante lodos activados y microorganismos eficientes

Comparative evaluation of municipal wastewater aerobic treatment using activated sludge and effective microorganisms

Jhulyus Anthony Jossepe Ticona Calcina ¹ • Williams Sergio Almanza Quispe ² ✉
Pablo Usedo Vargas ³ • Maritza Yola Ccaza Cari ⁴

Recibido: 24 de agosto 2025 / Revisado: 13 de octubre 2025 / Aceptado: 9 de febrero 2026 / Publicado: 8 de mayo 2026

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo comparar la eficiencia del tratamiento aerobio de aguas residuales municipales mediante tres variantes: lodos activados convencionales, lodos activados enriquecidos con microorganismos eficientes (EM), conformados principalmente por *Lactobacillus* spp., *Rhodopseudomonas* spp. y *Saccharomyces* spp.; además de un control sin tratamiento, en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Magollo, ubicada en Tacna, Perú. Se recolectaron 360 L de afluente municipal y se evaluaron los parámetros pH, CE, OD, DBO, DQO y coliformes termotolerantes. El diseño experimental fue completamente al azar, considerando tres tratamientos (T0, T1 y T2), tres tiempos de retención hidráulica (24, 48 y 72 h) y tres repeticiones por cada variable. El análisis estadístico mediante ANOVA y prueba de Tukey ($p < 0,05$) evidenció diferencias significativas entre tratamientos y tiempos de operación. El tratamiento T1 (lodos activados + EM) alcanzó a las 72 h las menores concentraciones de DBO (8 mg/L), DQO (27 mg/L) y coliformes termotolerantes ($3,17 \times 10^2$ NMP/100 mL), cumpliendo con los Estándares de Calidad Ambiental para agua de riego no restringido establecidos en el D.S. N° 004-2017-MINAM. Estos resultados demuestran que la incorporación de microorganismos eficientes

potencia los procesos de biodegradación y depuración microbiológica, optimizando la calidad del efluente para su uso agrícola.

Palabras claves: tratamiento de aguas residuales; lodos activados; microorganismos eficientes; biodegradabilidad; parámetros fisicoquímicos.

Jhulyus Anthony Jossepe Ticona Calcina / jajticonac@unjbg.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0001-9166-0239>

✉ Williams Sergio Almanza Quispe / walmanzaq@unjbg.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0003-0812-7834>

Pablo Usedo Vargas / pablousedovargas@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0004-1818-6648>

Maritza Yola Ccaza Cari / cmaritzacari@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0006-7302-9711>

1 Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann Tacna – Perú

2 Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann Tacna – Perú

3 Escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial Universidad Nacional del Altiplano Puno – Perú

4 Escuela profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias Universidad Peruana Unión, Juliaca, Perú

Abstract

The objective of this study was to compare the efficiency of the aerobic treatment of municipal waste water using three variants: conventional activated sludge, activated sludge enriched with efficient microorganisms (EM), composed mainly of *Lactobacillus* spp., *Rhodopseudomonas* spp., and *Saccharomyces* spp., as well as an untreated control, at the Magollo Wastewater Treatment Plant (WWTP) located in Tacna, Peru. A total

of 360 L of municipal influent was collected, and the following parameters were evaluated: pH, EC, DO, BOD, COD, and thermotolerant coliforms. The experimental design was completely randomized, considering three treatments (T0, T1, and T2), three hydraulic retention times (24, 48, and 72 h), and three replicates for each variable. Statistical analysis using ANOVA and Tukey's test ($p < 0.05$) revealed significant differences between treatments and operating times. Treatment T1 (activated sludge + EM) achieved the lowest concentrations of BOD (8 mg/L), COD (27 mg/L), and thermotolerant coliforms (3.17×10^2 MPN/100 mL) at 72 h, complying with the Environmental Quality Standards for unrestricted irrigation water established in D.S. No. 004-2017-MINAM. These results demonstrate that the incorporation of efficient microorganisms enhances biodegradation and microbiological purification processes, optimizing effluent quality for agricultural use.

Keywords: wastewater treatment; activated sludge; efficient microorganisms; biodegradability; physicochemical parameters.

Introducción

El acceso al agua potable y al saneamiento constituye un componente fundamental para la salud pública y el desarrollo sostenible de las comunidades. No obstante, el crecimiento poblacional y la expansión urbana han incrementado de manera significativa la generación de aguas residuales, las cuales, en numerosos casos son vertidas sin un tratamiento adecuado, provocando la contaminación de cuerpos hídricos y el deterioro de los ecosistemas acuáticos (Calderón et al., 2019).

En el Perú, la insuficiencia de los sistemas de alcantarillado sanitario afecta tanto a zonas urbanas como rurales. En estas últimas, la limitada cobertura de infraestructura sanitaria conlleva al uso prolongado de fosas sépticas sin mantenimiento, lo que incrementa el riesgo de

proliferación de patógenos y eleva la incidencia de enfermedades gastrointestinales en la población (Díaz & Collantes, 2019). Esta situación pone en evidencia la necesidad de fortalecer la gestión y eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales.

En este contexto, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) supervisa el cumplimiento de los límites máximos de vertimiento y los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, establecidos en el D.S. N.º 004-2017-MINAM, los cuales exigen eficiencias de remoción que oscilan entre 60 % y 100 %, especialmente para efluentes destinados al uso agrícola. Dentro de este marco, los sistemas de depuración biológica basados en biomasa activa, como los lodos activados con aireación extendida constituyen una tecnología probada y ampliamente empleada en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (Huamaní, 2020).

Bajo este enfoque, la presente investigación evalúa dos variantes tecnológicas del tratamiento aerobio aplicadas en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Magollo, ubicada en Tacna, Perú: (i) un sistema convencional de lodos activados y (ii) un sistema de lodos activados enriquecido con microorganismos eficientes (EM), conformados principalmente por *Lactobacillus* spp., *Rhodopseudomonas* spp. y *Saccharomyces* spp. Esta alternativa biotecnológica tiene como finalidad potenciar la actividad metabólica de la biomasa y optimizar la remoción microbiológica, contribuyendo a mejorar la calidad del efluente para su posible reutilización en riego agrícola.

En consecuencia, el objetivo de este estudio fue comparar la eficiencia del tratamiento aerobio de aguas residuales municipales mediante un sistema convencional de lodos activados y otro enriquecido con microorganismos eficientes (EM), evaluando su desempeño en la remoción de materia orgánica y coliformes termotolerantes bajo diferentes tiempos de retención hidráulica.

Materiales y métodos

Área de estudio y obtención del afluente

La población de estudio estuvo constituida por las aguas residuales municipales que ingresan al

sistema de tratamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Magollo, ubicada en la ciudad de Tacna (Perú). El afluente utilizado correspondió al canal de ingreso a la planta, desde donde se realizó la toma de muestras para la presente investigación.

Figura 1. Ubicación del punto de muestreo y proximidad a la PTAR Magollo



Se recolectaron 360 L de agua residual municipal del canal de ingreso, evitando los horarios de mayor carga hidráulica, con la finalidad de garantizar la representatividad del afluente. Inicialmente, se determinaron los parámetros pH, conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y coliformes termotolerantes, a fin de caracterizar el afluente de entrada.

Diseño experimental

Se empleó un diseño completamente al azar (DCA), considerando tres tratamientos y tres repeticiones por cada parámetro evaluado. Los tratamientos considerados fueron:

- T0: Agua residual sin tratamiento (control)

- T1: Reactor biológico con lodos activados enriquecidos con microorganismos eficientes (EM)

- T2: Reactor biológico con lodos activados convencionales

Los tratamientos fueron evaluados a tiempos de retención hidráulica (TRH) de 24, 48 y 72 h, lo que dio como resultado un total de 27 unidades experimentales.

Preparación y operación de los reactores

Se construyeron dos reactores biológicos tipo carrusel a escala piloto, cada uno con un volumen de 70 L, equipados con sistema de aireación extendida y recirculación interna de biomasa. Los lodos activados utilizados procedieron de un

sistema real en operación, procurando mantener condiciones homogéneas de concentración de biomasa en ambos reactores.

Los reactores fueron alimentados de forma

continua desde un tanque de homogenización, a una tasa de 0,08 L/min, manteniéndose bajo condiciones operativas controladas, las cuales se describen en la Tabla 1.

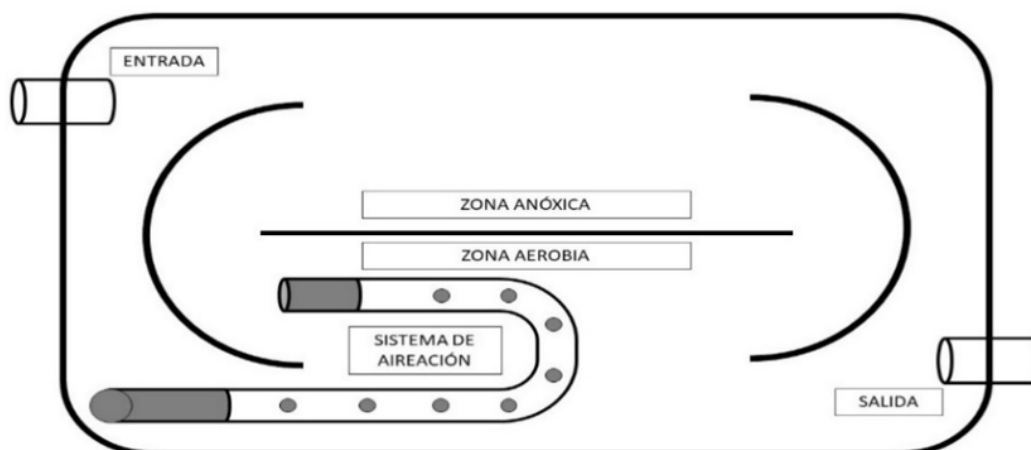
Tabla 1. Resultado distribución de población según género

Parámetro	Condición controlada
Oxígeno disuelto (OD)	≥ 4 mg/L
Rango de PH	6,5 - 8.0
Temperatura	20 - 26 °C
Aireación	Continua

El diseño interno y el flujo hidráulico de los reactores se muestran en la Figura 2, donde se evidencia la

interacción de zonas anóxicas y aerobias, así como el sistema de aireación y recirculación de biomasa.

Figura 2. Esquema de los reactores biológicos utilizados en el estudio.



Activación de microorganismos eficientes (EM).

El consorcio microbiano conformado por *Lactobacillus* spp., *Rhodopseudomonas* spp. y

Saccharomyces spp. fue activado mediante la mezcla de EM, melaza y agua en una proporción 2:2:36 L. Esta mezcla fue sometida a un proceso de fermentación anaerobia durante siete días. Posteriormente, se incorporaron 5 L de la solución

activada a 65 L de agua residual municipal, los cuales fueron utilizados en el tratamiento biotecnológico correspondiente.

Parámetros evaluados

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos fueron determinados mediante metodologías estandarizadas y reconocidas internacionalmente. Los análisis de DBO y DQO se realizaron en un laboratorio acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025. Las determinaciones de coliformes termotolerantes se efectuaron mediante el método del Número Más Probable (NMP). Las mediciones de pH, conductividad eléctrica (CE) y oxígeno disuelto (OD) se realizaron tanto in situ como en laboratorio académico, empleando equipos previamente calibrados.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA), seguido de la prueba de comparación múltiple de Tukey, considerando un nivel de significancia de $p < 0,05$, con el fin de identificar diferencias significativas entre tratamientos y tiempos de retención hidráulica. El procesamiento estadístico se realizó utilizando el software SPSS versión 27.

Resultados

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y de los efluentes tratados se presentan en la Tabla 2. Los valores iniciales del agua residual municipal superaron los Estándares de Calidad Ambiental establecidos para agua de riego no restringido según el D.S. N.º 004-2017-MINAM, lo que confirma la necesidad de aplicar un proceso de tratamiento previo a su disposición o reúso.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluentes tratados a 72 h

Parámetro	Unidad	Afluente	T1 (Lodos + EM)	T2 (Lodos activados)	ECA*
pH	-	6,8	7,39	7,65	6,5 - 8,5
CE	$\mu S/cm$	2061	3100	3310	≤ 2500
OD	mg/L	0,32	10,23	12,75	> 4
DBO	mg/L	1429	8	25	≤ 15
DQO	mg/L	3051	27	39	≤ 40
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	$1,08 \times 10^5$	$3,17 \times 10^2$	$1,27 \times 10^3$	$\leq 1,0 \times 10^3$

Nota. ECA corresponde a los Estándares de Calidad Ambiental para agua de riego no restringido según (D.S. N.º 004-2017-MINAM).

En general, los resultados evidencian una mejora significativa en la calidad del agua tratada respecto al afluente inicial. En ambos sistemas se observó un incremento del oxígeno disuelto y una disminución progresiva de los valores de DBO, DQO y coliformes termotolerantes al alcanzar las 72 h de operación. El tratamiento con lodos activados enriquecidos con microorganismos eficientes (T1) alcanzó las menores concentraciones finales de DBO y coliformes termotolerantes, lo que evidencia una

mayor eficiencia en la remoción de materia orgánica biodegradable y contaminación microbiológica. Si bien se registró un incremento moderado de la conductividad eléctrica, este se mantuvo dentro de los límites permitidos para riego no restringido, por lo que no representa un riesgo asociado a salinidad. En conjunto, los valores obtenidos con los tratamientos T1 y T2 cumplieron, en su mayoría, con los estándares establecidos para un uso agrícola seguro del efluente.

Tabla 3. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey ($p < 0,05$)

Parámetro	Tratamiento	24h	48h	72h	Tukey
DBO (mg/L)	T0	1356	892	745	D
	T1	1104	742	579,3	a
	T2	1208	861	680	b
DQO (mg/L)	T0	2885,3	2104,6	1789,2	F
	T1	2350,1	1825,8	1405,3	B
	T2	2650,8	1740,7	1251,9	A
Coliformes	T0	$5,4 \times 10^6$	$3,2 \times 10^5$	$2,0 \times 10^4$	E
Termotolerantes (NMP/100 mL)	T1	$1,8 \times 10^5$	$3,2 \times 10^4$	7×10^3	A
	T2	$2,5 \times 10^5$	$4,1 \times 10^4$	$1,2 \times 10^4$	Ab

Nota. * Medias seguidas por una misma letra no difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

El análisis de varianza (ANOVA) evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y los tiempos de retención hidráulica evaluados ($p < 0,05$). De acuerdo con la prueba de Tukey, el tratamiento T1 (lodos activados + EM) alcanzó a las 72 h las menores concentraciones de DBO, ubicándose en el grupo estadístico con mejor desempeño, mientras que el tratamiento control T0 presentó valores significativamente mayores en todos los tiempos evaluados.

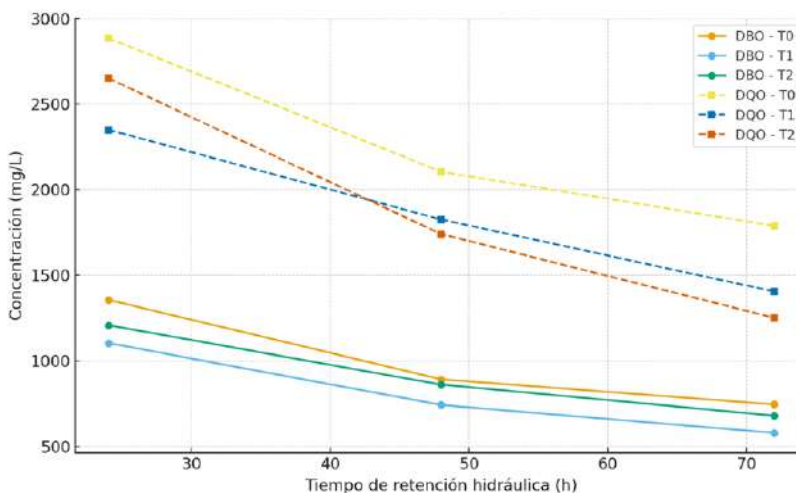
En cuanto a la DQO, el tratamiento T2 alcanzó

a las 72 h mayor reducción, con diferencias estadísticamente significativas respecto al control. Para coliformes termotolerantes, nuevamente el tratamiento T1 presentó la remoción más eficiente, posicionándose en el grupo estadístico de mayor desempeño al final del periodo de evaluación.

Estos resultados confirman que la incorporación del consorcio microorganismos eficientes en el tratamiento T1 potencia la actividad biológica del sistema, logrando eficiencias superiores de depuración, especialmente a un tiempo de

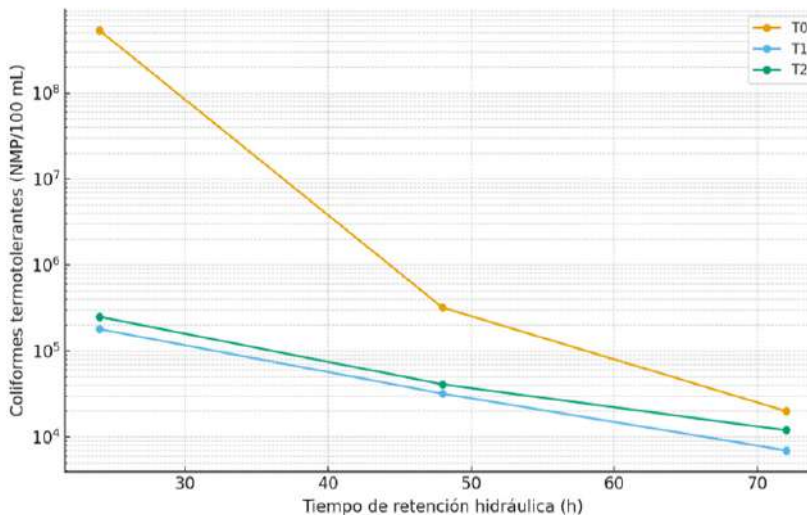
retención hidráulica de 72 h. En ese sentido, el tratamiento T1 se consolida como la alternativa más adecuada para la remoción de carga orgánica y microbiológica del afluente municipal evaluado.

Figura 3a. Variación de DBO y DQO en función del tiempo de retención hidráulica (24-72 h).



La figura 3a muestra la variación de la DBO y la DQO en función del tiempo de retención hidráulica (24-72 h). En ambos sistemas se observa una disminución progresiva de estos parámetros conforme aumenta el TRH, registrándose los menores valores con el tratamiento T1 a las 72 h.

Figura 3b. Variación de coliformes termotolerantes en función del tiempo de retención hidráulica (24-72 h)



La figura 3b presenta la variación de los coliformes termotolerantes en función del tiempo de retención hidráulica. El tratamiento T1 evidenció la mayor eficiencia en la remoción microbiológica, alcanzando concentraciones por debajo del límite normativo, a diferencia del tratamiento T2.

Tabla 4. Parámetros finales (72 h) del tratamiento convencional con lodos activados y del tratamiento biotecnológico con lodos activados enriquecidos con microorganismos eficientes (EM)

Parámetro	Unidad	Resultados		ECA
		T1	T2	
pH	Unidad	7,39	7,65	6,5 - 8,5
CE	$\mu\text{S/cm}$	3100	3310	2500
OD	mg/L	10,23	12,57	> 4
DBO	mg/L	8	25	15
DQO	mg/L	27	39	40
Coliformes Termotolerantes	NMP	$3,17 \times 10^2$	$1,27 \times 10^3$	1000

Nota. Los valores corresponden a las mediciones finales obtenidas a las 72 horas de retención hidráulica dentro del ensayo de 12 días de operación continua.

T1: Tratamiento biotecnológico con lodos activados enriquecidos con microorganismos eficientes (EM).

T2: Tratamiento convencional con lodos activados. Los resultados finales indican que ambos tratamientos mejoraron significativamente la calidad del afluente municipal respecto a su condición inicial. No obstante, el tratamiento T1 (lodos activados + EM) presentó el mejor desempeño global, alcanzando valores finales dentro del rango establecido por el ECA para agua de riego no restringido en la totalidad de los parámetros evaluados.

Por su parte, el tratamiento convencional T2 cumplió los límites normativos únicamente en pH, DBO y DQO; sin embargo, la concentración de coliformes termotolerantes se mantuvo por encima del valor permitido. Este resultado evidencia que la incorporación de microorganismos eficientes

potencia la remoción microbiológica y garantiza un efluente apto para su reúso agrícola.

Discusión

El afluente municipal tratado en la PTAR Magollo presentó un índice de biodegradabilidad de 0,47, lo que indica un elevado potencial para su tratamiento mediante procesos biológicos. Este comportamiento concuerda con reportes previos realizados en la misma instalación, donde se han registrado índices similares (0,42–0,49), lo que valida la consistencia de las características del afluente municipal evaluado (Limache & Tirado, 2022; EPS Tacna, 2022).

Los valores iniciales de DBO, DQO y coliformes termotolerantes superaron los Estándares de Calidad Ambiental para agua de riego no restringido (D.S. N° 004-2017-MINAM), lo que evidencia la

necesidad de fortalecer el desempeño de los sistemas de tratamiento existentes. La reducción progresiva de estos parámetros observada en ambos sistemas evaluados coincide con lo reportado en sistemas aerobios con aireación extendida (Arciniega & Salazar, 2021), confirmando el efecto favorable del proceso biológico sobre la remoción de materia orgánica y carga microbiológica.

El tratamiento con lodos activados enriquecidos con microorganismos eficientes (EM) mostró ventajas significativas al alcanzar las menores concentraciones finales a las 72 h, especialmente en términos de remoción microbiológica. Este comportamiento coincide con lo reportado por Calderón et al. (2019), quienes demostraron que el consorcio microbiano conformado por *Lactobacillus* spp., *Saccharomyces* spp. y *Rhodopseudomonas* spp. acelera los procesos de biodegradación y genera metabolitos con actividad antimicrobiana, contribuyendo a la reducción de coliformes termotolerantes. Asimismo, otros estudios (Guerra et al., 2021; Díaz et al., 2022) señalan que la incorporación de EM potencia la actividad metabólica del lodo activado y mejora la estabilidad operacional del reactor biológico.

El adecuado control de variables operativas como pH, oxígeno disuelto y temperatura resultó determinante para mantener la actividad microbiana durante el proceso de tratamiento, tal como señala Sánchez y Villaverde (2020). En este sentido, el incremento moderado de la conductividad eléctrica observado puede atribuirse a la liberación de iones producto de la biodegradación aerobia de la materia orgánica, sin que ello represente un impacto negativo en la calidad final del efluente destinado al reúso agrícola.

Si bien los resultados obtenidos fueron favorables, el presente estudio se desarrolló a escala piloto y bajo condiciones controladas, por lo que su aplicación a escala real requiere una validación adicional. No se evaluó la estabilidad del sistema a

largo plazo ni la dinámica poblacional microbiana, lo que limita una comprensión más integral de los mecanismos de depuración involucrados. En este contexto, futuras investigaciones deberían considerar evaluaciones de largo plazo, análisis moleculares de la comunidad microbiana y la respuesta del sistema frente a variaciones en la carga hidráulica y en la composición del afluente municipal.

Conclusiones

El tratamiento aerobio mediante lodos activados enriquecidos con microorganismos eficientes (EM) demostró una mayor eficacia en la remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y coliformes termotolerantes, en comparación con el sistema convencional de lodos activados. Este tratamiento alcanzó valores finales que cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental para agua de riego no restringido establecidos en el D.S. N.º 004-2017-MINAM, evidenciando su superior desempeño en la mejora de la calidad del efluente. La mejora observada se atribuye a la mayor actividad metabólica del consorcio microbiano conformado por microorganismos eficientes, los cuales optimizaron los procesos de degradación aerobia bajo condiciones de aireación extendida, favoreciendo tanto la remoción de materia orgánica como la reducción de la carga microbiológica.

Los resultados obtenidos confirman que la incorporación de microorganismos eficientes constituye una alternativa biotecnológica viable, sostenible y potencialmente aplicable en plantas de tratamiento municipales de pequeña y mediana escala, al incrementar la eficiencia de los sistemas existentes y favorecer el reúso seguro del efluente en actividades agrícolas.

No obstante, considerando que el estudio se desarrolló a escala piloto y bajo condiciones controladas, se recomienda validar el desempeño

del sistema a largo plazo y bajo condiciones operativas reales, incorporando evaluaciones de estabilidad del proceso y análisis de la dinámica microbiana, a fin de consolidar su implementación a nivel municipal.

Bibliografía

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/>

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>

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>

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>

Díaz Ruiz, A. N., Arenas Taboarda, 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>

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>

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. *Novasinería*, 1(2), 20-29. <https://doi.org/10.37135/unach.ns.001.02.02>

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 mejoradela plantadetratamientodeaguasresiduales 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 sosteniblesconcostosdeoperaciónymantenimiento 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>

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>

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>

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>

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>