

# 44

Fecha de presentación: octubre, 2021

Fecha de aceptación: diciembre, 2021

Fecha de publicación: febrero, 2022

## EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN

DE MATERIA ORGÁNICA POR MEDIO DE MICROORGANISMOS EFICIENTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

### EVALUATION OF THE REMOVAL OF ORGANIC MATTER THROUGH EFFICIENT MICROORGANISMS IN WASTEWATER TREATMENT

Noemi Acuña Montañez<sup>1</sup>

E-mail: [2014161001@unh.edu.pe](mailto:2014161001@unh.edu.pe)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7378-7989>

Nathaly Milagros Huamaní Quispe<sup>1</sup>

E-mail: [2014161036@unh.edu.pe](mailto:2014161036@unh.edu.pe)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3943-540X>

Fernando Martín Toribio Román<sup>1</sup>

E-mail: [fernando.toribio@unh.edu.pe](mailto:fernando.toribio@unh.edu.pe)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1139-9232>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Huancavelica. Perú.

#### Cita sugerida (APA, séptima edición)

Acuña Montañez, N., Huamaní Quispe, N. M., & Toribio Román, F. M. (2022). Evaluación de la remoción de materia orgánica por medio de microorganismos eficientes en el tratamiento de aguas residuales. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(S1), 417-427.

#### RESUMEN

La presente investigación aborda la tecnología de microorganismos eficientes EM para remover materia orgánica del agua residual municipal a nivel de prueba piloto. El objetivo fue determinar la dosis óptima de microorganismos eficientes, además del tiempo de retención hidráulica TRH que maximiza la remoción de materia orgánica, en la planta de tratamiento de aguas residuales de Yauli, Huancavelica. La metodología de investigación aplicada fue de nivel explicativo, con un diseño experimental y factorial que integró 4 tratamientos 0, 10, 20, y 30 ml/ de EM; con 3 repeticiones en tiempos de retención hidráulica 11, 22 y 33 días. La población estuvo constituida por el volumen de agua residual municipal, la muestra fue 20 L por unidad experimental. Se recolectaron los datos en dos etapas: en la primera se analizó la muestra patrón, posteriormente en la segunda los parámetros por unidad experimental. Los principales resultados muestran una dosis óptima de 20 ml y TRH de 33 días que maximiza la remoción de materia orgánica; la remoción de demanda bioquímica de oxígeno fue 65.52% y en demanda química de oxígeno 66.88%. Estos resultados garantizan el cumplimiento de la norma ambiental peruana.

**Palabras clave:** Microorganismos eficientes, materia orgánica, agua residual municipal, dosis óptima, tiempo de retención hidráulica

#### ABSTRACT

This research addresses the technology of efficient EM microorganisms to remove organic matter from municipal wastewater at the pilot test level. The objective was to determine the optimal dose of efficient microorganisms, in addition to the TRH hydraulic retention time that maximizes the removal of organic matter, in the Yauli wastewater treatment plant, Huancavelica. The applied research methodology was explanatory level, with an experimental and factorial design that integrated 4 treatments 0, 10, 20, and 30 ml / of ME; with 3 repetitions in hydraulic retention times 11, 22, and 33 days. The population consisted of the volume of municipal wastewater, the sample was 20 L per experimental unit. The data were collected in two stages: in the first, the standard sample was analyzed, later in the second, the parameters per experimental unit. The main results show an optimal dose of 20 ml and TRH of 33 days that maximizes the removal of organic matter; the removal of biochemical oxygen demand was 65.52% and in chemical oxygen demand 66.88%. These results guarantee compliance with the Peruvian environmental standard.

**Keywords:** Efficient microorganisms, organic matter, municipal wastewater, optimal dose, hydraulic retention time.

## INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales que forma parte del desarrollo de cualquier país; por ello es el compuesto químico más indispensable para el desarrollo de la vida (Romero, et al., 2015).

Durante las últimas décadas, el mundo ha venido observando con inquietud la contaminación de las aguas a gran escala, generando preocupación en sus habitantes, es por ello que se ha tratado de mitigar una serie de problemas relacionados con la disposición de los residuos líquidos procedentes del uso doméstico e industrial (Centeno, et al., 2019).

En la actualidad en todos los países a excepción de los países desarrollados, las ciudades vierten directamente sus aguas residuales parcialmente tratadas y sin un tratamiento previo en las aguas superficiales y subterráneas de las inmediaciones, ocasionando impactos negativos en la salud de las personas y en el medio ambiente (Organización de las Naciones Unidas, 2017; Romero & Vargas, 2017) químicos y microbiológicos que se producen en las aguas tras la aplicación del producto Versaklin (constituido por estos microorganismos).

Los cuerpos receptores, como ríos, lagos y el mar, ubicadas en zonas más densamente pobladas y desarrolladas, han sido incapaces, por sí mismas, de neutralizar la carga polucional que tales residuos generan, ocasionando la pérdida de sus condiciones naturales de apariencia física y su capacidad para sustentar una vida acuática adecuada. Como consecuencia de esto, en varias situaciones se han perdido las condiciones mínimas que les son exigidas para su adecuado aprovechamiento como fuente de abastecimiento de agua o energía (Centeno, et al., 2019).

En América Latina, el 70% de las aguas residuales no tienen tratamiento lo cual dificulta el reusó del agua debido a su contaminación (Larios, et al., 2017). Estas aguas contienen materia viviente especialmente Bacterias, virus, protozoarios; la mayoría inofensivos pero capaces de generar enfermedades al ser humano.

Los problemas originados además de ser de índole física o estética, han trascendido al campo de la sanidad, ya que los habitantes necesitan recurrir a diversos recursos de agua superficiales para su abastecimiento de agua de bebida, y si éstos están contaminados con los productos de desecho humanos, dando lugar a problemas epidemiológicos graves (Centeno, et al., 2019). Originando que sólo alrededor de un tercio del recurso potencial, equivalente a unos 12 500 km<sup>3</sup> por año, se puede emplear para satisfacer las necesidades de las personas, proporción que va disminuyendo a medida que aumenta

la contaminación (Romero & Vargas, 2017) químicos y microbiológicos que se producen en las aguas tras la aplicación del producto Versaklin (constituido por estos microorganismos). Además, se estima que más de cinco millones de personas mueren anualmente de enfermedades gastrointestinales vinculadas con el suministro de agua contaminada, servicios sanitarios deficientes y una higiene atrasada.

Durante los consiguientes 50 años, los problemas relacionados con la contaminación del agua afectarán a todos los habitantes del planeta, por lo que el mundo se verá enfocado a la búsqueda de soluciones prácticas (Romero & Vargas, 2017) químicos y microbiológicos que se producen en las aguas tras la aplicación del producto Versaklin (constituido por estos microorganismos). Es por ello que el tratamiento de las aguas residuales es una cuestión prioritaria a nivel mundial, debido al riesgo que estas representan para la salud y el ambiente (Romero, et al., 2015); este tratamiento debe consistir en la expulsión de microorganismos patógenos y materia orgánica, impidiendo que lleguen a las corrientes naturales de agua que puedan servir de fuente de abastecimiento a otros ecosistemas, mitigando con ello el efecto de tal polución para restablecimiento del ecosistema (Centeno, et al., 2019), debido a ello, se debe establecer alternativas eficientes y viables al proceso de las aguas residuales por medio de tratamientos biológicos que reducen los microorganismos perjudiciales (Hanna Instruments, 2019), ya que permite depurar los residuos domésticos, minimizando el impacto de los contaminantes sobre el ambiente. El proceso de tratamiento biológico consiste en el control de medio ambiente de los microorganismos de modo que se consigan condiciones de crecimiento óptimas.

En la actualidad La tecnología del producto EM (del inglés efficient microorganisms) ha sido reportado como una alternativa biotecnológica para solucionar los problemas de contaminación hídrica y para garantizar el tratamiento eficiente de las aguas residuales (Romero & Vargas, 2017) químicos y microbiológicos que se producen en las aguas tras la aplicación del producto Versaklin (constituido por estos microorganismos, ya que incrementa las densidades de microorganismos que pueden emplear los compuestos contaminantes presentes en el agua residual como fuente de carbono y energía para su metabolismo, reproducción y crecimiento (Centeno, et al., 2019), logrando mediante un proceso de fermentación favorable, la descomposición natural de los compuestos orgánicos de manera rápida y sencilla, esto debido al poder sinérgico de las bacterias ácido lácticos, fototróficas y levaduras, generando con ello sustancias bioactivas y a su vez eliminando los microorganismos dañinos

que promueven la putrefacción y la aparición de gases nocivos que contaminan el agua lo cual generan malos olores, todo lo cual ayuda a mantener un equilibrio natural entre los microorganismos que conviven en el entorno, trayendo efectos positivos sobre la salud y bienestar del ecosistema.

Este trabajo de investigación se realizó porque contribuirá a mejorar la eficiencia del sistema de las plantas de tratamiento de agua residual, ya que la utilización de esta tecnología generará bajos costos de tratamiento y mantenimiento en menor tiempo, mantiene la calidad del agua tratada a un alto nivel y se garantiza la sostenibilidad del ambiente permitiendo un trabajo continuo, medible, evaluable, auto sostenible y optimizado.

La aplicación de microorganismos eficientes en las plantas de tratamiento en Huancavelica es de suma importancia, porque con ellas se podrá evaluar la remoción de la materia orgánica después de su tratamiento. Además, esta tecnología EM reducirá el mal olor del sistema, la concentración de DBO5 y DQO, las concentraciones de coliformes, los gases nocivos, el lodo sedimentado y el uso de productos químicos. Por último, el trabajo de investigación se realizó debido a que se evitará la construcción de sistemas caros y de alto mantenimiento para el tratamiento de efluentes y con ello el costo operacional del sistema será económica, fácil de usar, segura y ofrecerá resultados sostenibles en el tratamiento de efluentes.

Los EM están constituidos por un cultivo mixto producto de la combinación de tres grupos de microorganismos benéficos de origen natural, destacando principalmente los *Lactobacillus* (bacterias ácido lácticas), *Saccharomices* (levaduras) y *Rhodopseudomonas* (bacterias fotosintéticas o fototróficas), estos se encuentran en los suelos, alimentos y se desarrollan en medios líquidos con pH de 3.5 para evitar la propagación de patógenos.

Asimismo, estos microorganismos se encuentran libres en toda la naturaleza, puesto que el desarrollo de los microorganismos eficientes está en la coexistencia de los mismos en un medio de cultivo apropiado; la coexistencia consiste en que las sustancias que se generan sirven de alimentos para otros, puesto que las levaduras y bacterias ácido lácticas generan primordialmente ácidos orgánicos que alimentan a las bacterias fototróficas y estas generan azúcares que alimentan a las primeras beneficiando su supervivencia y reproducción grupal (Quille, 2019).

Es decir las bacterias autótrofas (*Rhodopseudomonas* spp) sintetizan sustancias útiles a partir de secreciones de materia orgánica y gases dañinos, usando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía. Las sustancias sintetizadas comprenden aminoácidos, ácidos

nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares (Herrera and Corpas, 2013); por su parte las bacterias *Lactobacillus* spp., producen ácido láctico, que es un fuerte esterilizador, ya que suprime microorganismos patógenos e incrementa la rápida descomposición de materia orgánica como la lignina y la celulosa; y finalmente las levaduras *Saccharomycetes* spp, generan secreciones que son sustratos útiles para bacterias ácido lácticas y sintetizan sustancias antimicrobiales a partir de aminoácidos y azúcares secretados por bacterias fototrófica, también generan sustancias bioactivas, como hormonas y enzimas, que promueven la división celular activa.

La coexistencia trae como consecuencia un efecto sinérgico entre ellos encontrando efectos positivos, que explica su fuerte potente capacidad antioxidante que previene y revierte procesos degenerativos y de enfermedad (oxidativos), estimulando procesos de regeneración en los organismos vivos, es por ello que el EM tiene un amplio campo de aplicaciones en diversas áreas de la salud vegetal y animal, el medio ambiente, la producción y vida humana, por ser antioxidante.

El esquema esencial del proyecto comprende la aplicación de microorganismos eficientes a las aguas residuales a escala piloto, las cuales son empleadas con diferentes dosificaciones y tiempos de retención hidráulica. Los microorganismos eficientes se alimentan de la carga orgánica que presenta el agua residual, demostrando un poder regenerativo sobre la materia orgánica, puesto que logra reciclar la fracción orgánica y convertirla en fuente de recursos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología de investigación tuvo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, nivel explicativo y un diseño experimental factorial. En la investigación la población fue el volumen de agua residual que ingresa a la PTAR Yauli y una muestra de 20 L por unidad experimental, en referencia el trabajo de investigación realizado por Valdez (2016). Se efectuó la muestra no probabilística y las técnicas de análisis documental, la observación, medición y fichaje y como instrumento se empleó la cadena de custodia, ficha de campo y multiparámetro con los cuales se registraron los datos experimentales. Por tratarse de una investigación con diseño factorial, se analizaron las siguientes variables: microorganismos eficientes EM (**Indicadores:** tiempo de retención hidráulico (días) y concentración de microorganismos eficaces ml) y remoción de la materia orgánica (**Indicadores:** porcentaje de remoción de DBO5 % y porcentaje de remoción de DQO %).

### Procedimiento de la investigación

**Eta** **1: Gabinete:** Recopilación de información de fuente secundaria (libros, revistas, artículos, etc.). preparación de los EPPs, formatos, equipos, insumos, materiales de laboratorio y materiales del muestreo. Identificación y localización de la planta de tratamiento de la zona experimental y de muestreo mediante las herramientas informáticas (Google Earth V 7.3.2.5491).

**Eta** **2: Laboratorio (Activación de los microorganismos eficientes):** Se calentó 900 ml de agua destilada fría hasta obtener 35 °C. Se colocó 50 ml de melaza en otra olla para luego mezclar 50 ml del agua ya calentada anteriormente, después se sometió a fuego lento hasta llegar a 60 °C durante 20 min. Después se mezcló el agua caliente (90%), la mezcla (5%) y al final el EM-agua (5%) en un envase. Posteriormente se cerró el bidón herméticamente para una reproducción anaerobia y se colocó en la incubadora a una temperatura de 30 °C para lograr la fermentación por 7 días hasta que la mezcla tuvo un color café claro con un pH menor a 3.4.

**Eta** **3: Campo:** Inspección de la PTAR Yauli, identificación de los componentes.

**Recolección de la muestra patrón:** identificación del lugar de muestreo, obteniendo la ubicación exacta y el registro de las coordenadas UTM. El 18/07/2021 se recolectó manualmente 1 muestra representativa de los parámetros de DBO<sub>5</sub> y DQO del Efluente del desarenador de la PTAR (E-1 PTAR-01) en envases de 500ml, para luego ser enviadas al laboratorio para el respectivo análisis.

**Tratamiento experimental con EM en la PTAR.** Se desarrolló en las inmediaciones de la PTAR-Yauli (al costado del efluente del sedimentador). Primero, se acondicionó 12 baldes de capacidad de 20 L por 1, donde se vertió las aguas residuales procedentes del efluente del sedimentador, con la ayuda de una soga. Por último, se etiquetó los baldes (Figura 1).



Figura 1. Tratamiento experimental.

Se implementó 3 tratamientos con 3 repeticiones (9 unidades experimentales) y 3 muestras testigos, con dosificaciones de 10, 20, y 30 ml/ EM<sub>a</sub> y tiempos de retención hidráulica de 11, 22 y 33 días; la inoculación se realizó el día 0, colocando a los baldes experimentales con agua residual de la manera siguiente: Primer tratamiento (10ml de EM<sub>a</sub> en 20L de agua residual), segundo tratamiento (20ml de EM<sub>a</sub>), tercero (30ml de EM<sub>a</sub>) y en los 3 testigos no se inoculó el EM<sub>a</sub>. Al terminar la inoculación en los tratamientos se dejó y se controló los parámetros a los 11, 22 y 33 días tal como lo mencionan Bazán & Nureña (2019) (Figura 2).



Figura 2. Inoculación de 10, 20 y 30 ml de Microorganismos eficientes activado.

Se utilizaron frascos de polietileno esterilizados de boca ancha limpio de capacidad de 500ml para el parámetro de DBO<sub>5</sub> y frascos de vidrio de color ámbar de 500ml para el parámetro de DQO (Ministerio de Vivienda, 2013).

Se recolectó muestras simples de agua residual de cada unidad experimental de tratamiento de 0ml (muestra testigo); los tratamientos empleados con 10, 20 y 30 ml EM<sub>a</sub>, se recolectó al cabo de 11 días para la primera repetición (29/07/2021), a los 22 días para la segunda repetición (09/08/2021) y a los 33 días para la tercera repetición (20/08/2021) (Figura 3).



Figura 3. Recolección de muestras de los parámetros de  $\text{DBO}_5$  y DQO.

**Preservación de las muestras:** Se preservó con ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) hasta obtener un  $\text{pH} < 2$  en los envases del parámetro de DQO.

**Etiquetado y cadena de custodia:** Se etiquetó y rotuló con letra clara y legible los envases recolectados. Se relleno la cadena de custodia mencionando los parámetros evaluados, tipo de frasco, tipo de muestra de agua, N° de muestras, reactivos de preservación, condiciones de conservación, operador del muestreo.

**Conservación y transporte de las muestras:** Las muestras se colocaron en una caja de almacenamiento térmica (coolers) con refrigerante (ice pack).

**Envío de muestras:** Se envió las muestras  $\text{DBO}_5$  y DQO al laboratorio de análisis “SGS del Perú SAC-Laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-002”. Asimismo, los frascos fueron acompañados con su respectiva cadena de custodia enmascarada.

**Medición de parámetros de campo.** Se realizó la calibración del multiparámetro y se midió directamente en el

agua residual de cada experimento mediciones de pH y temperatura.

**Etapa 4: Determinación de los parámetros:** El laboratorio “SGS del Perú SAC-acreditado por INACAL-DA con registro N°LE-002” realizó la determinación de los parámetros de  $\text{DBO}_5$  y DQO.

**Etapa 5: Procesamiento de datos:** Se analizó los informes de ensayo entregados por el “SGS del Perú SAC”, se ordenó y consolidó los resultados en un Excel, para después realizar la comparación con los LMP para los efluentes de PTAR<sub>s</sub> domésticas D.S N° 003 – 2010 – MINAM. Asimismo, se determinó la eficiencia del tratamiento (% de remoción) comparando la concentración de la calidad del agua residual cruda (patrón) y la tratada.

Las técnicas de procesamiento y análisis de datos fueron el análisis de varianza ANOVA de dos factores, empleado para estimar el efecto individual y conjunto de dos o más factores (variables independientes) sobre una variable dependiente cuantitativa, donde se determinó la diferencia significativa de los tratamientos y se identificó el mejor tratamiento mediante la prueba de Tukey a una significancia de 0,05 y con un nivel de confianza del 95%, las cuales fueron procesadas en los softwares estadísticos de Excel 2016 y SPSS versión 23.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 4 y 5, se muestran que el mejor tratamiento fue el T6 33 días–20ml, con un porcentaje de remoción promedio de 65.52%; se concluyó que existe una dosis óptima de 20ml y un tiempo de retención de 33 días que maximiza la remoción de materia orgánica de  $\text{DBO}_5$  con una eficiencia mayor al 50%; seguido del T3 33 días–10ml con 63.20% y siendo el menos eficiente el T1 11 días–10ml con 46.52%. Los tratamientos T2, T3, T5, T6, T8 y T9 tuvieron porcentajes de remoción mayores al 50%, pero el T1, T4 y T7 fueron inferiores al 50%. La interacción entre dosis óptima y tiempo de retención hidráulica tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de remoción de la materia orgánica.

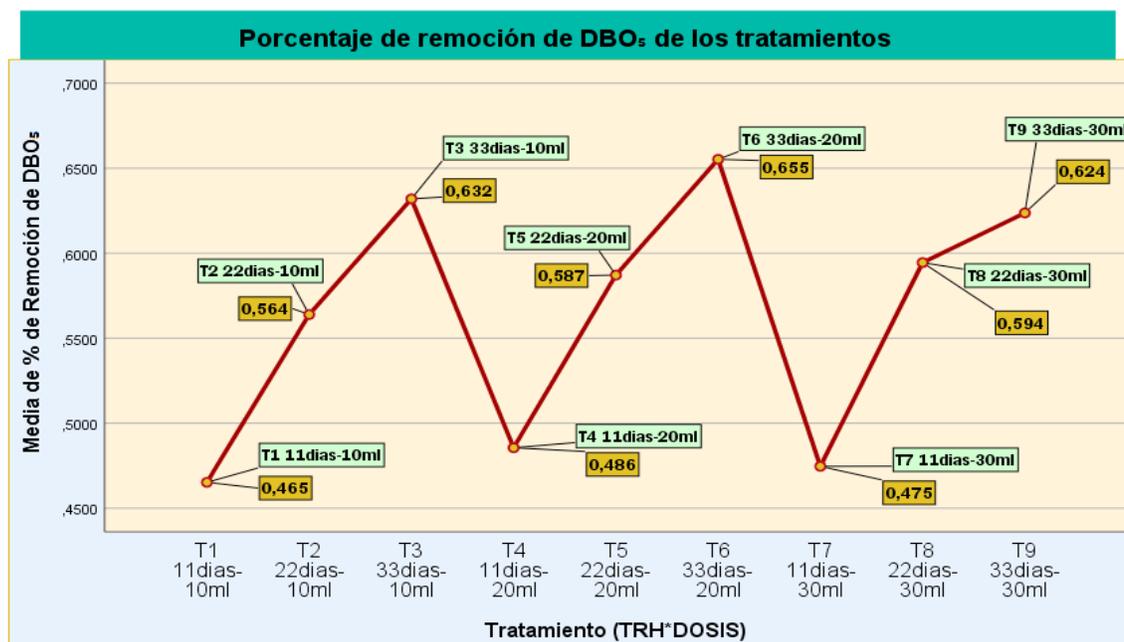


Figura 4. Gráfico de medias del mejor tratamiento en función de la dosis óptima de EM y tiempo de retención hidráulica (DBO<sub>5</sub>).

En la figura 5 se muestran las medias marginales estimadas del porcentaje de remoción de la DBO<sub>5</sub> en las que se aprecia que a mayor tiempo de retención hidráulica TRH aumenta la remoción siendo la dosis de 20 ml la que obtiene mejores resultados.

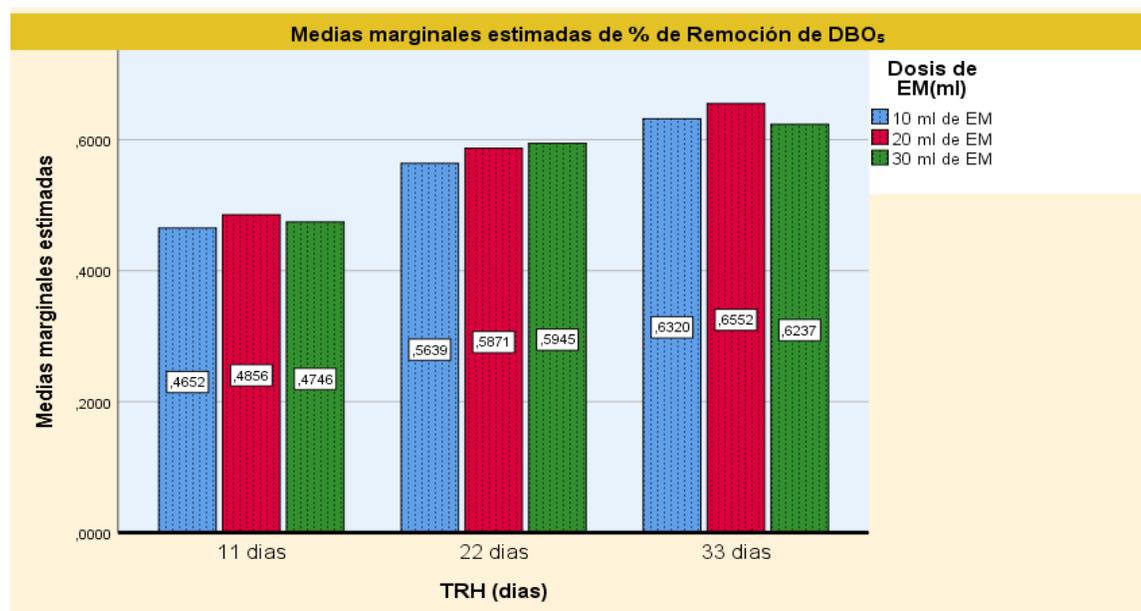


Figura 5. Gráfico de frecuencias de las medias marginales estimadas del porcentaje de remoción de la materia orgánica (DBO<sub>5</sub>) en la interacción TRH por dosis de EM.

En la figura 6 y 7, se muestran que el mejor tratamiento fue el T6 33 días–20 días, con un porcentaje de remoción promedio de 66.88% se concluyó que existe una dosis óptima de 20ml y un tiempo de retención de 33 días que maximiza la remoción de materia orgánica de DQO con una eficiencia mayor al 50%; seguido del T3 33 días–10ml con 63.20% y

siendo el menos eficiente el T1 11 días-10ml con 44.41%. Los tratamientos T3, T2, T5, T6, T8 y T9 tuvieron porcentajes mayores al 50%, pero el T1, T4 y T7 fueron inferiores al 50%.

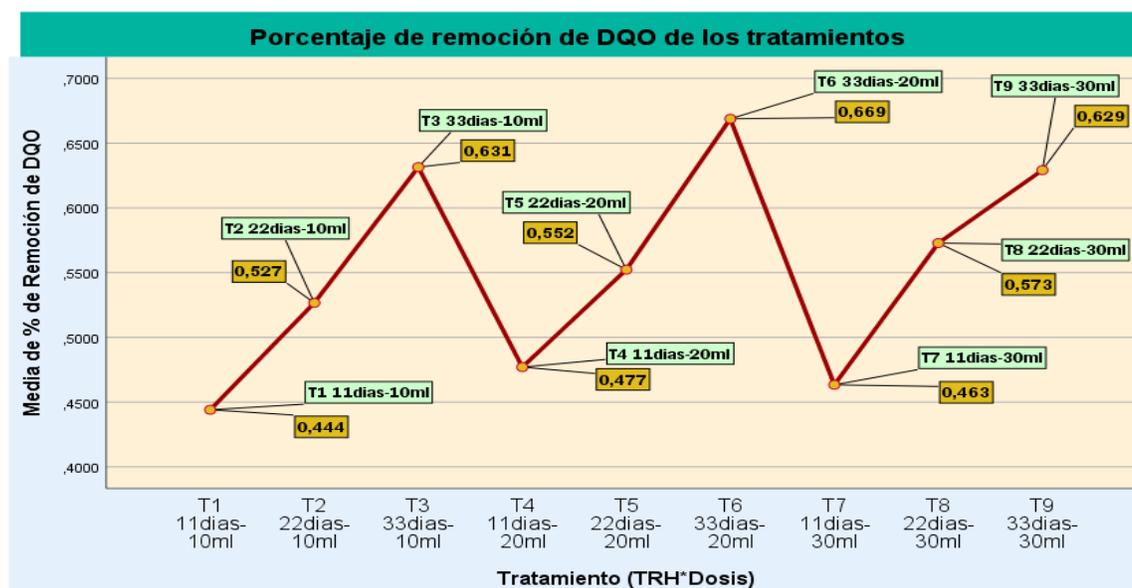


Figura 6. Gráfico de medias del mejor tratamiento en función de la dosis óptima de EM y tiempo de retención hidráulica (DQO).

En la figura 7 se muestran las medias marginales estimadas del porcentaje de remoción de DQO en las que a mayor tiempo de retención hidráulica se tiene mayor % de remoción, sobresale el tiempo de retención hidráulico a los 33 días con una dosis de 20 ml.

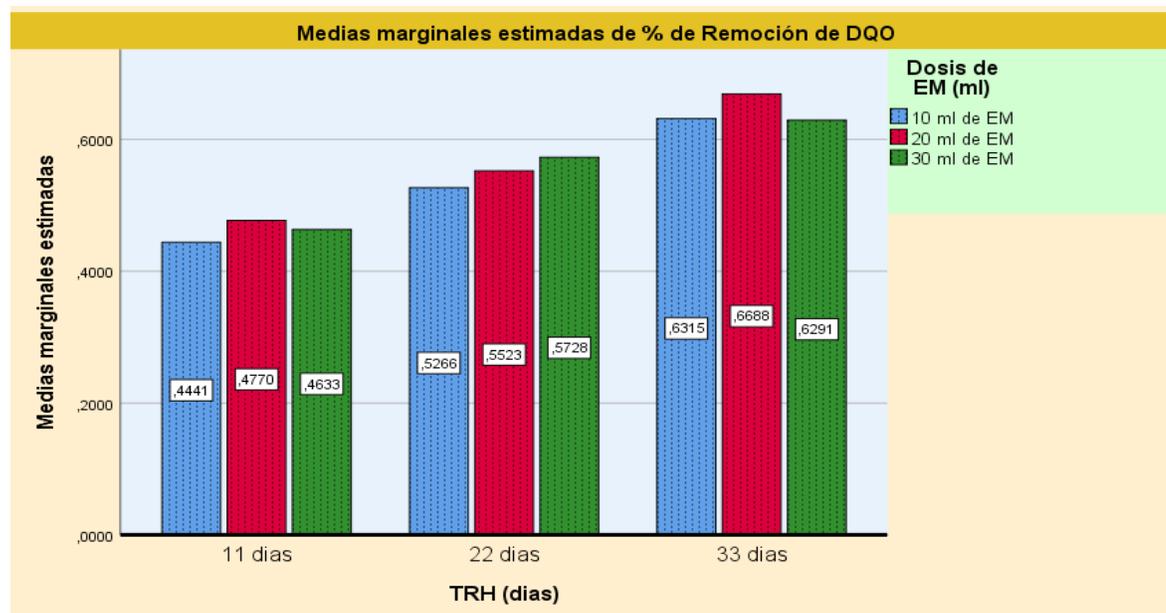


Figura 7. Gráfico de frecuencias de las medias marginales estimadas del porcentaje de remoción de la materia orgánica (DQO) en la interacción TRH por dosis de EM.

En la figura 8 y 9, se muestran la concentración de remoción de DBO<sub>5</sub> más eficiente fue en el T6 33 días-20 ml con valor de 83.22 mg/L, se concluyó que existe una dosis óptima de 20 ml y tiempo de retención hidráulica de 33 días que maximiza la remoción de DBO<sub>5</sub>, siendo el tratamiento menos eficiente en el T1 11 días-10 ml con valor de 129.1 mg/L. De los

9 tratamientos solo el T1, T2, T4, T7 no cumplieron la normativa, pero el T3, T5, T6, T8 y T9 tuvieron valores por debajo de 100 mg/L cumpliendo la normativa peruana. La interacción entre dosis optima y tiempo de retención hidráulica tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre las remociones de DBO<sub>5</sub>.

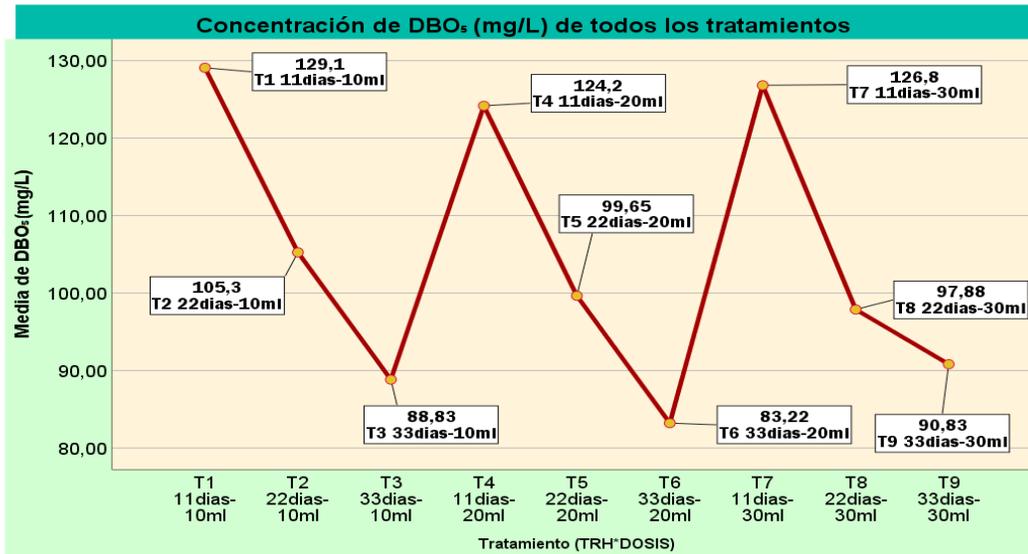


Figura 8. Gráfico de medias del mejor tratamiento en función de la dosis optima de EM y tiempo de retención hidráulica (DBO<sub>5</sub>).

En la figura 9 se muestran las medias marginales estimadas de remoción de DBO<sub>5</sub> en las que a menor tiempo de retención hidráulica hubo mayor remoción de DBO<sub>5</sub>.

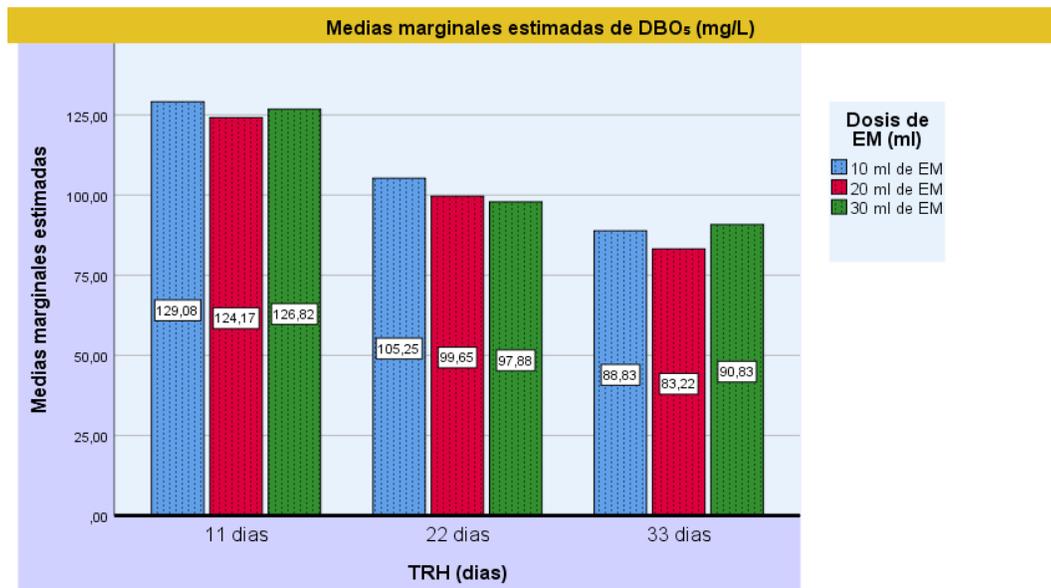


Figura 9. Gráfico de frecuencias de las medias marginales estimadas del parámetro de DBO<sub>5</sub> en la interacción TRH por dosis de EM.

En la figura 10 y 11, muestra la concentración de remoción de DQO más eficiente fue en el T6 33días-20 ml con valor de 108.193 mg/L, se concluyó que existe una dosis optima de 20 ml y tiempo de retención hidráulica de 33 días que maximiza la remoción de DQO, siendo el tratamiento menos eficiente en el T1 11días-10ml con valor de 181.607 mg/L. Se señala que los 9 tratamientos tuvieron valores por debajo de 200 mg/L, cumpliendo la normativa peruana. La

interacción entre dosis óptima y tiempo de retención hidráulica tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre las remociones de DQO.

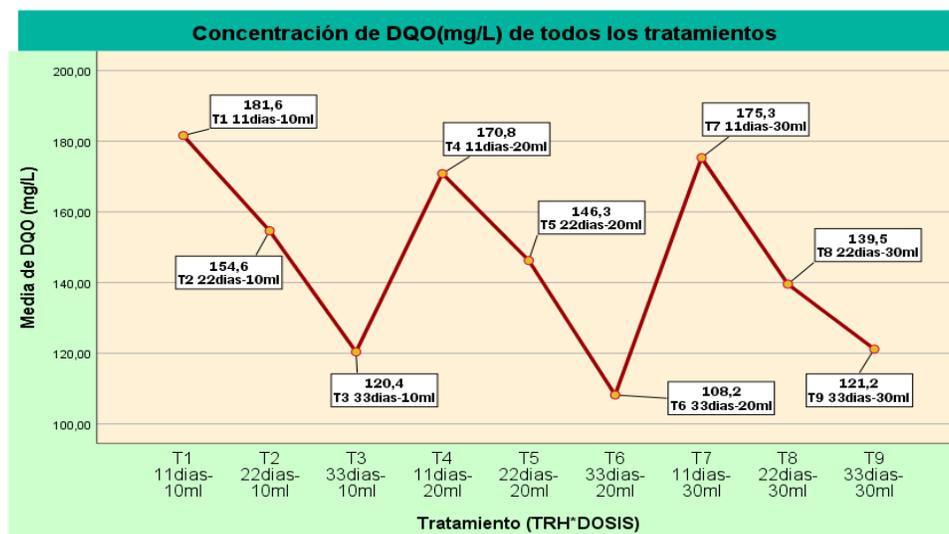


Figura 10. Gráfico de medias del mejor tratamiento en función de la dosis óptima de EM y tiempo de retención hidráulica (DQO).

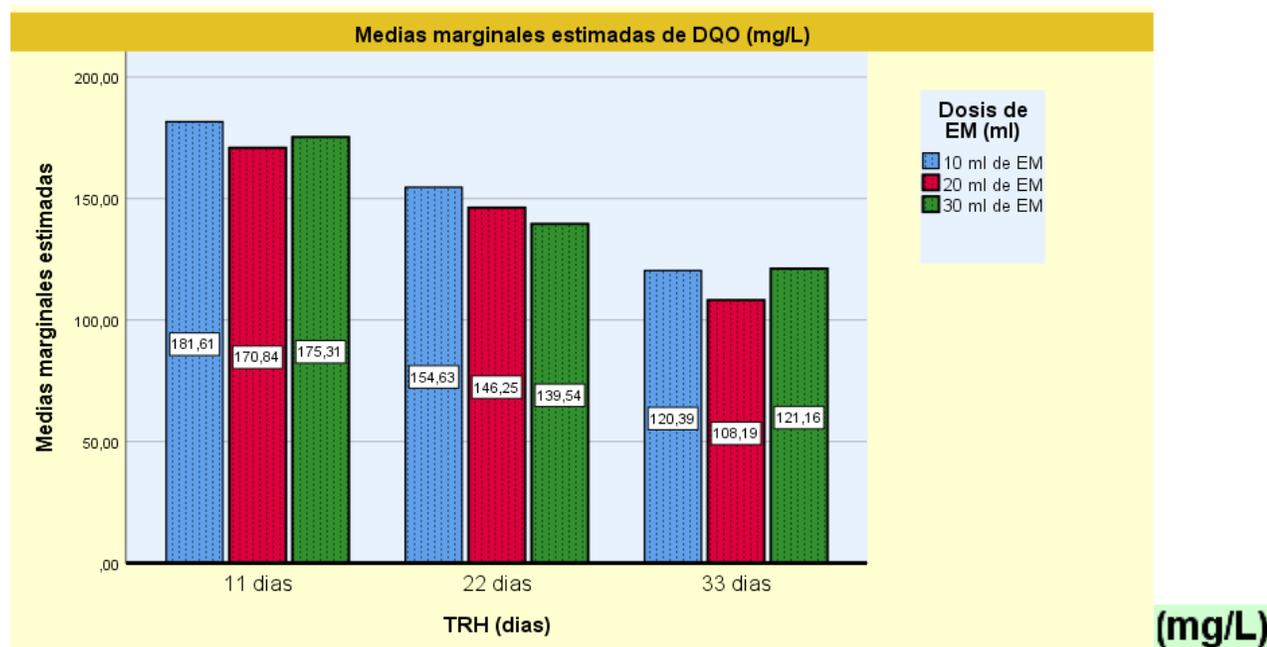


Figura 11. Gráfico de frecuencias de las medias marginales estimadas del parámetro de DQO en la interacción TRH por dosis de EM.

Con respecto a la remoción mayor al 50% de materia orgánica para  $DBO_5$ , en la investigación se obtuvo una dosis de 20ml EM y un TRH de 33 días que maximizó la materia orgánica con valor de 83.217 mg/L lo cual es equivalente al 65.52%, mientras que la dosis T1 10ml-11 días no maximizó la remoción de  $DBO_5$  con valor de 129.083 mg/L lo cual equivale al 47,47%; asimismo Bazán & Nureña (2019), obtuvieron diferencias significativas al evaluar el efecto del tiempo y dosis de EM, obteniendo un valor de 44.43 mg/ equivalente al 86.12% de reducción de  $DBO_5$  con una dosis de 10ml a los 33 días logrando cumplir la normativa.

También Espinoza Loor & Zambrano Andrade (2019), tuvo una mayor remoción de  $DBO_5$  con valor de 304 mg/L equivalente al 58.70 % las cuales presentaron valores significativos aceptando su hipótesis establecida; pero al contrario Nowell Fernández (2018), obtuvo porcentajes bajos de remoción de 21.42% para  $DBO_5$  con una dosis de 127 cm<sup>3</sup> en los primeros días, la cual indicó que fue menor al 50% de remoción de materia orgánica y al igual que Fernando Herrera y Javid Corpas (2013) tuvieron reducciones de  $DBO_5$  con mayor porcentaje de remoción de 68,58% para una concentración de microorganismos benéficos de 2% en el momento de operación de la planta, sin embargo, estos valores no cumplieron con la normativa colombiana teniendo remociones por debajo del 80% que indica calidad y uso del recurso; pero Centeno, et al. (2019), observaron que la mayor disminución del  $DBO_5$  en aguas residuales presentó el tratamiento N°3 con una concentración de  $1,8 \times 10^9$  UFC/ml de consorcio microbiano a los 10 días de tratamiento, presentando diferencia significativa entre sí con un valor  $p < 0.05$ .

Murillo Bermeo (2018), señala un nivel de significancia menor a  $P \leq 0,05$  y una reducción de carga orgánica de  $DBO_5$  al 61% con dosis EM de 20 ml a los 45 días, las cuales tuvieron valores mayores a los LMP; también Mamani & Molina (2018), señalan que hubo una efectiva remoción de materia orgánica siendo la mayor reducción de  $DBO_5$  con un valor de 39 mg/L equivalente al 78% de eficiencia cumpliendo la normativa y Robles Mejía (2019), señala que hubo remociones de  $DBO_5$  de 70% durante 7 días con dosis de 50 ppm, la cual indicó que la dosis y el tiempo influye en la disminución de carga orgánica; asimismo Gavilánez Luna (2015), obtuvo niveles de remoción de  $DBO_5$  con el tratamiento (T1) *E. crassipes*, a los 14 días de tiempo de retención hidráulica, presentando en la mayoría de sus parámetros promedios de remoción más bajos que los otros tratamientos, con valor de 58,0 mg/L equivalente a 94.8% de remoción de  $DBO_5$ ; y por último Romero & Vargas (2017) químicos y microbiológicos que se producen en las aguas tras la aplicación del producto Versaklin (constituido por estos microorganismos, observaron que al aplicar el producto versaklin para la remoción de  $DBO_5$ , adquirieron la mayor eficiencia de remoción a las 24 horas logrando la disminución de microorganismos patógenos.

Con respecto a la remoción mayor al 50% de materia orgánica para DQO, en la investigación se obtuvo una dosis de 20ml EM y un TRH de 33 días que maximizó la materia orgánica con valor de 108.193 mg/L lo cual equivale al 66.88%, mientras que la dosis T1 10ml-11 días no

maximizó la remoción de DQO con valor de 181.6 mg/L (44.41%); coincidiendo con Espinoza Loor & Zambrano Andrade (2019), señalan que presentó una mayor remoción de DQO con valor de 56,97% las cuales presentaron valores significativos aceptando su hipótesis propuesta; pero al contrario Nowell Fernández (2018), obtuvo porcentajes bajos de remoción de 14.70% para DQO con una dosis de 212.5 cm<sup>3</sup> en los primeros días, la cual indicó que fue menor al 50% de remoción de materia orgánica; de igual manera Murillo Bermeo (2018), señala un nivel de significancia  $P \leq 0,05$  y una reducción de carga orgánica de DQO al 78% con dosis EM de 20 ml a los 45 días, las cuales tuvieron valores mayores a los LMP.

Asimismo, Noles Aguilar (2016) indicó que obtuvo una máxima remoción de DQO con valor de 290 mg/L equivalente al 98% de remoción para una dosis de 5ml/L durante 15 días cumpliendo los LMP y una mínima remoción de DQO con porcentaje de 27% para una dosis de 1ml durante 5 días; pero al contrario Fernando Herrera y Javid Corpas (2013) tuvieron como resultado reducciones de DQO con mayor porcentaje de remoción de 71,75% para una concentración de microorganismos benéficos de 2% en el momento de operación de la planta, sin embargo, estos valores no fueron suficientes para el cumplimiento de la normativa colombiana teniendo remociones por debajo del 80% que indica calidad y uso del recurso; y finalmente Romero & Vargas (2017) químicos y microbiológicos que se producen en las aguas tras la aplicación del producto Versaklin (constituido por estos microorganismos, al aplicar el producto versaklin obtuvieron de manera inmediata la remoción de materia orgánica, logrando la reducción del parámetro de DQO en el transcurso de 24 horas, donde asumieron que el uso de microorganismos es beneficioso para el tratamiento.

## CONCLUSIONES

Los mejores resultados en cuanto a la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales municipales de la PTAR Yauli se logró en el tratamiento 6 para una dosis optima de 20 ml de EM y un tiempo de retención hidráulica de 33 días. Para  $DBO_5$  la remoción fue 65.52% y para DQO la remoción fue superior al 50%.

El empleo de la tecnología de los microorganismos eficientes garantiza el cumplimiento de los LMP del Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM, con respecto al DQO en todos los tratamientos experimentales a escala piloto. Se demostró que la metodología empleada es favorable para investigar nuevas biotecnologías de manera natural y a la vez aplicando principios de la ciencia e ingeniería.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bazán, M. F., & Nureña, J. P. (2019). Efecto del tiempo y dosis de microorganismos eficaces en el tratamiento de aguas residuales de las pozas de oxidación de Covicorti - Trujillo, 2019. (tesis de Licenciatura). Universidad César Vallejo.
- Centeno, L. G., Quinatana, A., & López, F. (2019). Efecto de un consorcio microbiano en la eficacia del tratamiento de aguas residuales, Trujillo, Perú. *Revista Arnaldoa*, 26(1), 433–446.
- Espinoza Loor, M. L., & Zambrano Andrade, S. M. (2019). Eficiencia de microorganismos (*Saccharomyces* sp, *Lactobacillus* spp, *Rhodospseudomona* spp) en el tratamiento de aguas residuales de la ESPAM MFL. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Felix López.
- Gavilánez Luna, F. (2015). Influencia de *Eichhornia crassipes* y microorganismos eficientes sobre contaminantes químicos y orgánicos de las aguas residuales de Naranjito, Ecuador. *Manglar. Revista de Investigación Científica*, 12(2), 1–10.
- Hanna Instruments. (2019). Demanda química de oxígeno y materia orgánica. *Revista de investigadores de la Escuela de Posgrado*, 8(3), 1151–1163.
- Herrera, O. and Corpas, E. (2013) 'Reducción de la contaminación en agua residual industrial láctea utilizando microorganismos benéficos', *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), pp. 57–67.
- Larios, F., González, C., & Morales, Y. (2017). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL*, 2(2), 9–25.
- Mamani Ccama, N. T., & Molina Chávez, R. D. (2018). Evaluación de la remoción de materia orgánica a través de un sistema aerobio con microorganismos eficientes (EM) en aguas residuales domésticas - Puno, 2018. (Tesis de licenciatura). Universidad Peruana Unión.
- Murillo Bermeo, D. C. (2018) Eficiencia del uso de microorganismos eficientes en el tratamiento de aguas residuales de las Queserías Artesanales de Quimiag. (Tesis de licenciatura). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Noles Aguilar, P. (2016) *Eficiencia in vitro de microorganismos (EM) en aguas residuales de lagunas de oxidación de la ciudad de Calceta-Bolívar-Manabí*. (Tesis de maestría). Universidad de Guayaquil.
- Nowell Fernández, G. (2018) *Evaluación de microorganismos efectivos (ME), para la aplicación en aguas residuales de la planta de tratamiento 'Chichorin', diagnóstico y servicios en el municipio de San Lucas Sacatepéquez, Sacatepéquez, Guatemala, C.A.* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Organización de las Naciones Unidas. (2017). Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>
- Perú. Ministerio de Vivienda. (2013). Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales Domésticas o Municipales. <http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/1057.pdf>
- Quille, L (2019). Microorganismos eficaces y lombrifiltro para la remoción de residuos lácteos de La Plata Quesera La Bodeguilla-. *Revista de Investigaciones de la Escuela de Posgrado de la UNA PUNO*, 8(3), 1151 - 1163.
- Robles Mejía, F. (2019). *Influencia de la concentración de microorganismos eficaces y el tiempo de retención hidráulico en la remoción de materia orgánica del agua residual del Distrito de Sapallanga*. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Romero, T., & Vargas, D. (2017). Uso de microorganismos eficientes para tratar aguas contaminadas. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 28(3), 88–100.
- Romero-Aguilar, M., Colín-Cruz, A., Sánchez-Salinas, A., & Ortiz-Hernández, M. L. (2015). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(3), 157–167.
- Valdez, A. (2016). *Aplicación de microorganismos eficaces (EM) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en la localidad de Chucuito*. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional del Altiplano.