

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Remoción de carga orgánica en aguas residuales con microorganismos de montaña y comercial

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Por:

Elma Celay Lopez Cruz

Dina Yovana Nina Ancalla

Asesor:

Mag. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, julio de 2022

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

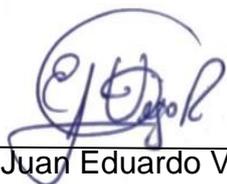
Mag. Juan Eduardo Vigo Rivera, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: **“REMOCIÓN DE CARGA ORGANICA EN AGUAS RESIDUALES CON MICROORGANISMOS DE MONTAÑA Y COMERCIAL”** constituye la memoria que presenta las Bachilleres **Elma Celay Lopez Cruz** y **Dina Yovana Nina Ancalla** para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 8 días del mes de julio del año 2022



Mag. Juan Eduardo Vigo Rivera
Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



167

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 08 día(s) del mes de Julio del año 2024, siendo las 11:00 horas, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: Ing. Enrique Mamani Lueta, el secretario: Mtro. Rose Adeline Gallata Ghura y los demás miembros: Ing. Renny Daniel Diog Aguiar y el asesor Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: Remoción de carga orgánica en aguas residuales con microorganismos de montaña y comercial

de el/los/la(las) bachiller/es: a) Lopez Cruz Elma Lelay
 b) Mina Ancalla Dina Yovana
 conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental
(Nombre del Título Profesional)

con mención en:

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)/las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el/los/la(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): Lopez Cruz Elma Lelay

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Buena</u>	<u>Muy Buena</u>

Candidato (b): Mina Ancalla Dina Yovana

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Buena</u>	<u>Muy Buena</u>

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al/los/la(la)/las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidencia

 Asesor

Secretario

Miembro

Miembro

Candidato/a (a)

Candidato/a (b)

ÍNDICE

Resumen	7
1. Introducción	9
2. Materiales y métodos	11
2.1 Lugar de estudio.....	11
2.2 Obtención de microorganismos comerciales y de montaña.....	12
2.3 Activación de microorganismos “comerciales” y de “montaña”	12
2.4 Diseño e instalación de los reactores	12
2.5 Evaluación de la remoción.....	14
3. Resultados	14
3.1 Caracterización del agua residual doméstica	14
3.2Comparación del Cumplimiento del marco normativo de los parámetros Temperatura, pH, DBO ₅ , DQO y SST.	16
3.3 Análisis estadístico	22
4. Discusión.....	23
4.2 Temperatura	23
4.3 pH.....	23
4.4 Remoción de carga orgánica como DBO ₅ , DQO y SST, según diferentes autores al aplicar microorganismos comerciales en aguas residuales.	23
4.5 Remoción de la DBO ₅ , DQO y SST, según diferentes autores al aplicar microorganismos montaña en aguas residuales.	24
5. Conclusiones	25
6. Referencias.....	26
7. Anexos.....	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	15
Resultados de los parámetros monitoreados de los tratamientos.....	15
Tabla 2.	22
Resultados de las pruebas de efectos inter-sujetos.	22
Tabla 3.	22
Resultados de DHS, Tukey y Duncan para la remoción de DBO5, DQO y SST.....	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Muestra de la instalación de los reactores de ME, MM y el blanco o control.....	13
Figura 2. Muestra la temperatura (°C), presentó un comportamiento creciente y decreciente con el paso de las semanas.....	16
Figura 3. Muestra los valores del (pH), en la experimentación se mantuvieron homogéneos, mostrando un agua de un pH neutro y alcalino que varía entre 6.40 hasta 7.9....	17
Figura 4. Se muestran los resultados obtenidos, de los tratamientos aplicados con microorganismos comerciales y de montaña tienen diferencias significativas....	18
Figura 5. Se muestran los resultados de la DQO indicando que los tratamientos aplicados con microorganismos comerciales y montañas son efectivos.....	19
Figura 6. Se muestran las diferencias encontradas entre los tratamientos fueron significativas a comparación con el control.	20
Figura 7. Se aprecia, que a los 30 días; la eficiencia de remoción de materia orgánica DBO ₅ , DQO y SST, para el tratamiento 1 y 2 fueron similares.	21

Remoción de carga orgánica en aguas residuales con microorganismos de montaña y comercial

Removal of organic load in wastewater with mountain and commercial microorganisms

Elma Celay Lopez Cruz^{a1}, Dina Yovana Nina Ancalla^{a2}, Juan Eduardo Vigo Rivera^{a3}

^aFacultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Ambienta, Universidad Peruana Unión

^bFacultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Ambienta, Universidad Peruana Unión

^cFacultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Ambienta, Universidad Peruana Unión

Resumen

La contaminación de aguas residuales pone en peligro la salud pública y del ecosistema, por ello el objetivo de la investigación fue evaluar la eficacia de remoción de la carga orgánica en aguas residuales domésticas, utilizando microorganismos eficientes de montaña y microorganismos comerciales. Los parámetros monitoreados fueron la DBO₅, DQO y SST durante un mes y cada 10 días a condiciones ambientales no controladas. La investigación se realizó en la ciudad de Sandia (Perú) la misma que tiene una temperatura promedio de 18 a 23 °C. Para el desarrollo del proceso se instalaron 3 tratamientos con 3 repeticiones, obteniendo 9 unidades experimentales cada una de 100 L, en sistema aerobio, tipo Batch. Al primer tratamiento se aplicó Microorganismo comerciales (200 mL), al segundo tratamiento se aplicó microorganismos de montaña (200 mL) y el tercero fue un control no tratado. El tratamiento 1 presentó el mayor porcentaje de remoción de 93.9, 75.9 y 87.1 % de DBO₅, DQO y SST, respectivamente; seguido del tratamiento 2 que presentó resultados de remoción de 92.7, 75.7 y 87.7 % de DBO₅, DQO y SST, respectivamente. Para las pruebas de Tukey y Duncan los tratamientos 1 y 2 obtuvieron remociones significativas superiores al tratamiento 3; pero entre el tratamiento 1 y 2 no hay diferencias significativas. Así mismo, el tratamiento 1 y 2 cumplen con los límites máximos permisibles de la normatividad peruana, española y colombiana.

Palabras clave: Agua residual doméstica, carga orgánica, microorganismos eficientes, microorganismos de montaña, depuración de aguas.

¹ Autor de correspondencia: Elma Celay Lopez Cruz
Tel.: 921-009461
E-mail: elma.lc@upeu.edu.pe

Abstract

Wastewater contamination endangers public and ecosystem health, therefore the objective of the research was to evaluate the efficiency of removal of organic load in domestic wastewater, using efficient mountain microorganisms and commercial microorganisms. The parameters monitored were BOD₅, COD and TSS for one month and every 10 days under uncontrolled environmental conditions. The investigation was carried out in the city of Sandia (Peru), which has an average temperature of 18 to 23 °C. For the development of the process, 3 treatments with 3 repetitions were installed, obtaining 9 experimental units each of 100 L, in an aerobic system, Batch type. Commercial microorganisms (200 mL) were applied to the first treatment, mountain microorganisms (200 mL) were applied to the second treatment, and the third was an untreated control. Treatment 1 presented the highest removal percentage of 93.9, 75.9 and 87.1% of BOD₅, COD and TSS, respectively; followed by treatment 2, which presented removal results of 92.7, 75.7 and 87.7% of BOD₅, COD and TSS, respectively. For the Tukey and Duncan tests, treatments 1 and 2 obtained significant removals higher than treatment 3; but between treatment 1 and 2 there are no significant differences. Likewise, treatment 1 and 2 comply with the maximum permissible limits of Peruvian, Spanish and Colombian regulations.

Keywords: Domestic wastewater, organic load, efficient microorganisms, mountain microorganisms, water purification.

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, más del 80% de las aguas residuales resultantes de actividades humanas se vierten en mares y ríos sin ningún tratamiento provocando en ella su contaminación, afectando a las comunidades y al medio ambiente (WWAP, 2017). A este ritmo, los próximos diez años la mitad de la población mundial vivirá en zonas con escasez de calidad de agua (Larios, et al., 2015). Asimismo, la contaminación y la falta de este elemento vital será un problema a nivel mundial, lo que impactará a todos los seres vivos de la tierra. La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO 2017) afirmó que el incremento de vertidos de aguas residuales afecta al ecosistema como a los ríos, mares y océanos, generando impactos negativos a la cadena trófica.

En el Perú existen muchos problemas que están relacionados con la contaminación de ríos y lagos por efluentes de origen doméstico siendo más que necesario buscar soluciones para esta problemática (Delgado, 2019). Según, la Organización Mundial de las Naciones Unidas (OMS 2020) se estima que 159 millones de personas recogen agua superficial no tratada ya sea de ríos o lagunas, así mismo, señala que se vienen perdiendo las condiciones naturales de las aguas en apariencia física sí como en su capacidad para sustentar vida acuática (Centeno et al., 2019; Quille, 2019).

Es por ello que se viene buscando alternativas de solución mediante la biotecnología, esto con la finalidad de generar y mejorar los procesos que sean de interés para el ser humano (Bisang, Campi, and Cesa 2009). Según, Thieman y Palladino (2010) la biotecnología se define como el empleo de microorganismos para la obtención de un producto útil. Por ello el término “microorganismos” incluye a un grupo variado de organismos vivos, que están relacionados entre sí por su tamaño diminuto.

El Banco Interamericano de Desarrollo (2009) menciona que los microorganismos comerciales están compuestos por bacterias fototróficas (*Rhodospseudomonas* spp.), bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus* spp.) y levaduras (*Saccharomycetes* spp.), estas bacterias fototróficas refuerzan las actividades de otros microorganismos, a este fenómeno se lo

denomina “coexistencia y coprosperidad”. Además, se considera que los microorganismos comerciales están compuestos en un promedio de 80 especies, de 10 géneros y que pertenecen a 4 grupos: bacterias fotosintéticas, actinomicetos, bacterias productoras de ácido láctico y levaduras (Rica, et al., 2017).

Ortiz et al. (2021) realizaron una investigación sobre el tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando microorganismo de la diversidad biológica o los denominados “microorganismos de montaña”, en la ciudad Palmira- Quito (Ecuador) donde la temperatura media es de 15 a 18 °C; se caracterizaron dos cepas de microorganismos Gram positivos. Las que se utilizaron para la depuración de las aguas residuales con porcentajes de remoción de 67.96 y 54.62 % para DQO y DBO con la cepa 1; y 69.15 y 62.52% para DQO y DBO con la cepa 2.

Valdez (2016) realizó un estudio con microorganismos comerciales para el tratamiento de aguas residuales domésticas de la planta de tratamiento de Chucuito (Puno – Perú) a 3830 msnm, en los meses de marzo a junio. Las unidades experimentales fueron de 20 L, y monitoreo pH, DBO, DQO y SST. Aplicando 4 tratamientos con dosificaciones de microorganismos comerciales de 0, 1, 1.5 y 2%, aplicadas cada 15 días en un periodo de 3 meses. El agua residual a tratar tenía valores iniciales de 7.71 de pH, 96 mg/L de DBO5, 240 mg/L de DQO y 106 mg/L de SST. El comportamiento de pH final fue de 5.64, 4.49, 4.28 para el tratamiento 1,2 y 3 en comparación del testigo que fue 6.3. Los valores finales de la DBO fueron de 147.07, 131,07 y 117.33 mg/L para el tratamiento 1, 2 y 3 en comparación del testigo que fue de 162.93. Los valores finales de la DQO fueron de 367.67, 327,67 y 293.33 mg/L para el tratamiento 1, 2 y 3 en comparación del testigo de 407.33 mg/L. Y los valores finales de SST fueron de 357.48, 535.55 y 727.00 mg/L para el tratamiento 1, 2 y 3 en comparación del testigo de 103.94.

La investigación de Toc (2012) ejecutada en la finca porcina de la Escuela Agrícola Panamericana, en un periodo de 70 días, se aplicaron 3 tratamientos: Microorganismos comerciales eficientes, Microorganismos eficaces originados en Zamorano y un control no tratado, con cuatro muestras experimentales en cada corrida, las unidades experimentales fueron de 113 L de agua negras, donde analizaron los parámetros DBO5, DQO y SST. El agua residual tuvo valores iniciales de 21.573 mg/L DBO para el control, para ME Zamorano y ME comercial, 53.530 mg/L de DQO para el control (1), para ME Zamorano (2) y ME comercial (2), los valores finales de la DBO fueron de 4.915, 816 y 484 mg/L para el tratamiento 1, 2 y 3. Los valores finales de la DQO fueron 7.468, 2.068 y 1.762 mg/L para el tratamiento 1,2 y 3.

Por lo citado la importancia de esta investigación está en utilizar los microorganismos eficientes y de montaña como una alternativa de remediación al problema de las aguas residuales, porque tiene la capacidad de reducir la carga orgánica, disminuye los malos olores, es económica y accesible en países en vías de desarrollo, por ello se planteó como objetivo, evaluar la eficiencia de remoción de la carga orgánica en aguas residuales domésticas con microorganismos eficientes de montaña y comercial, con esta investigación se quiere dejar como una posible solución a este problema mediante el uso de la biotecnología en el tratamiento de aguas residuales, y así optimizar los procesos de tratamiento, mejorando la calidad del agua y del medio ambiente.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Lugar de estudio

El estudio se realizó en la Provincia de Sandía en la de Región Puno (Perú) a 2178 m.s.n.m. con coordenadas UTM 8415544 N, 449665 E, WGS84 - ZONA 19 SUR, con una temperatura media de 22 °C en un periodo de 30 días. Se monitoreó los parámetros de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST) cada 10 días, los parámetros de campo in situ como la temperatura (°C) y el potencial de hidrogeno (pH) 3 veces al día, la descarga de las aguas residuales a tratar fue de origen urbano provenientes de viviendas de la zona en estudio.

2.2 Obtención de microorganismos comerciales y de montaña.

Los microorganismos eficaces fueron adquiridos comercialmente de la empresa BIOEM S.A.C. peruana que produce, desarrolla y transfiere la Tecnología EM® (biotecnología) desarrollado por el Dr. Teruo (1994). Y los microorganismos de montaña se obtuvieron recolectando en las hojarasca que se encuentran en el mantillo del bosque de Sandía, siguiendo los procedimientos de la guía de captura según la técnica elaborado por Molina, et al. (2017). Existen diversas maneras de poder obtener los microorganismos de montaña, así mismo, se les conoce con diversas denominaciones tales como; microorganismos autóctonos, nominación atribuida por productores agrícolas a la combinación de microorganismos capturados de una determinada zona de manera artesanal (Guzman y Grandes,2018). Escudero De Fonseca y Arias (2012), en su investigación los denomina microorganismos autóctonos y Pinedo (2018), los denomina microorganismos nativos.

2.3 Activación de microorganismos “comerciales” y de “montaña”

Para la activación de los Microorganismos Comerciales empleados de la Tecnología EM de EMRO, desarrollado por el Dr. Teruo. (1994), se procedió de acuerdo al manual del fabricante, donde menciona que para 20 L de EM activado se requiere 1L de melaza + 1L de EM + 18 L de agua, este se dejó en un recipiente herméticamente cerrado para que pueda fermentar por un periodo de 14 días a temperatura ambiente. Para la activación de los MM; Se procedió a la recolección de los MM en el bosque de Sandía, se activó tomando en cuenta la guía técnica de los microorganismos MM, se emplearon en un depósito de 20 L, donde, se colocó 1L de melaza +1Kg de hojarasca de montaña + 18L de agua, se dejó fermentar adecuadamente a los MM por un periodo de 14 días para la activación del microorganismo a temperatura ambiente (Molina, et al., 2017).

2.4 Diseño e instalación de los reactores

El diseño experimental es Completamente al Azar (DCA) con 3 tratamientos y 3 repeticiones, se instalaron 9 unidades experimentales con una capacidad de 100 L, en reactores de tipo Batch, con un sistema de aireación las 24 horas.

Tratamientos experimentales:

Tratamiento 1: 200 mL de Microorganismo Eficaces (ME) + sistema aerobio + 100 L de agua residual.

Tratamiento 2: 200 mL de Microorganismos de Montaña (MM) + sistema aerobio + 100 L de agua residual.

Tratamiento 3: Blanco (sistema aerobio + 100 L de agua residual).



Figura 1. Muestra de la instalación de los reactores de ME, MM y el blanco o control.

Fuente. Elaboración propia.

Para la aireación de las unidades experimentales se empleó un agitador de aireación modelo RS – 628 de 5 Watt de potencia para cada reactor. Santander (2021), menciona que el propósito de la aireación es que las bacterias aeróbicas al obtener el oxígeno mediante la agitación y la aireación, puedan activar su funcionamiento de la actividad microbiana.

Se determinaron los parámetros de la DBO₅, DQO y SST, tomándose como referencia para análisis de parámetros en el laboratorio el DS. N° 003 – 2010 – MINAM el cual especifica los LMP para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales según el Consejo de Ministros. (2010); las muestras fueron analizadas en el laboratorio y se evaluaron con 3 marcos normativos; la Norma Nacional Peruana D.S. N° 003-2010-MINAM de LMP para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales, la Norma Internacional de España Real Decreto

509/2016 aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas, la Norma Internacional de Colombiana Resolución 631 – 2015 LMP de vertimientos a cuerpos de agua superficiales de los prestadores del servicio Público.

2.5 Evaluación de la remoción

El porcentaje de remoción de los parámetros; DBO5, DQO y SST se determinó con la siguiente fórmula:

$$R(\%) = \frac{(C_o - C_f)}{C_o} * 100 \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde R, es el porcentaje de remoción (%), C_o es la concentración inicial de cada parámetro (mg/L) y C_f es la concentración final de cada parámetro (mg/L). (Palta y Morales , 2014)

El análisis estadístico se realizó en el programa estadístico SPSS versión 25, mediante el Diseño Completamente al azar (DCA) y el análisis de varianza, así mismo se realizó el análisis de Dunckan y Tukey los cuales permiten comparar, si hay diferencias entre los resultados obtenidos de los tratamientos y el control.

3. RESULTADOS

3.1 Caracterización del agua residual doméstica

Las aguas residuales urbanas se caracterizan por su composición física, química y biológica, apareciendo una interrelación entre muchos de los parámetros que integran dicha composición, la tabla 1 muestra los resultados de los parámetros determinados en laboratorio como la DBO5, DQO y SST y los parámetros in situ como es el pH y la temperatura.

Tabla 1.

Resultados de los parámetros monitoreados de los tratamientos.

Tratamientos	Tiempo	DBO ₅			DQO			SST			pH	T
	Días	mg/L			mg/L			mg/L				°C
		R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	Pm	Pm
1 = ME	0	168.3	167.5	168.2	307.05	307.3	307.4	256	258	266	6.44	18.5
	10	76.5	60	57	139.75	114.75	122.25	63	66	227	6.7	23.1
	20	30.5	24	18.7	77.25	87.25	72.25	62	56	69	7.6	19
	30	7.7	9.2	13.7	67.25	84.75	69.75	33	21	47	7.9	19.7
2 = MM	0	168.4	168.1	167.5	307.3	307.05	307.4	258	259	263	6.42	18.6
	10	55.5	67	78	114.75	104.75	119.75	68	21	238	6.8	23.2
	20	20.5	22.8	21.7	59.75	97.25	82.25	47	28	59	7.6	20.5
	30	11.8	13.2	11.6	67.25	79.75	77.25	22	19	55	7.8	19.7
3 = B	0	167.7	168.2	168.1	307.06	307.08	307.6	259	260	261	6.4	18.8
	10	119.8	122.25	124.7	162.95	159.74	156.55	195.84	192	188.2	6.5	22.7
	20	29.6	30.2	30.8	124.7	122.23	119.81	79.56	78	76.4	7.4	22.3
	30	26.27	26.8	27.33	106.34	104.26	102.16	73.44	72	70.6	7.9	20.3

Nota: ME= Microorganismos Eficientes, MM = Microorganismos de montaña, B = Blanco, T= temperatura, pH = Potencial de Hidrogeno, R= Repetición, Pm= Promedio.

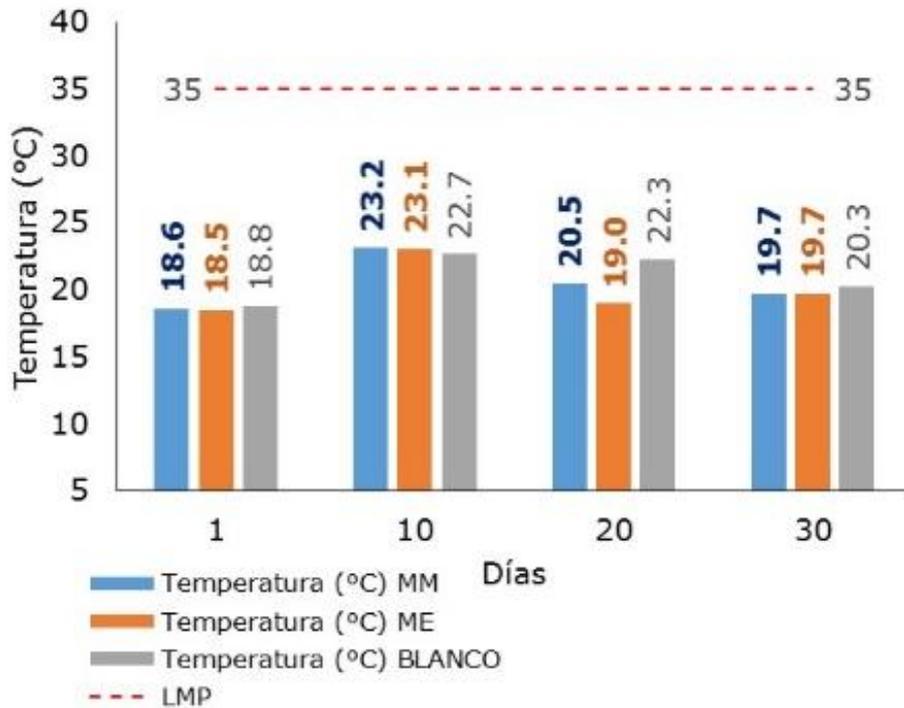
La tabla 1, muestra que el valor inicial de pH es de 6.44 (nivel medio) que son valores típicos de aguas residuales urbanas. La DBO₅ (168 mg/L) corresponde a una concentración media, DQO (307 mg/L) corresponde a una concentración baja y los SST (260 mg/L) a una concentración media de acuerdo a Beltrán y Campos (2016).

Según Pire et al.(2011), las concentraciones obtenidas indican que los tratamientos biológicos serían los más efectivos para tratar este tipo de aguas residuales domésticas o municipales.

3.2 Comparación del Cumplimiento del marco normativo de los parámetros Temperatura, pH, DBO5, DQO y SST.

Temperatura.

Los valores de temperatura en el agua residual dependerán de la zona y época del año en la que se realice la medición; la figura 2, muestra la temperatura promedio de los



tratamientos.

Figura 2. Muestra la temperatura (°C), presentó un comportamiento creciente y decreciente con el paso de las semanas.

Fuente. Elaboración propia.

Uno de los factores que influyen a la temperatura son los cambios de las estaciones de invierno a primavera, en el transcurso del mes de marzo; las temperaturas obtenidas fueron de 18.5 C° hasta 23.2 C° los cuales se encuentran en el rango óptimo para el desarrollo de los microorganismos eficientes, tanto de MM y ME; sin embargo, las temperaturas menores a 25 °C pueden hacer que se retarda la actividad microbiana en el agua.

pH.

El pH afecta al tratamiento de las aguas residuales, ya que gran parte de la actividad microbiana es sensible al pH, que suele transcurrir entre 4 y 9.5; además, modifica el equilibrio ácido-base. La figura 3, muestra el valor del pH en un periodo de 30 días un intervalo de 10 días, valores de los análisis de los tratamientos de la DBO₅, DQO y SST.

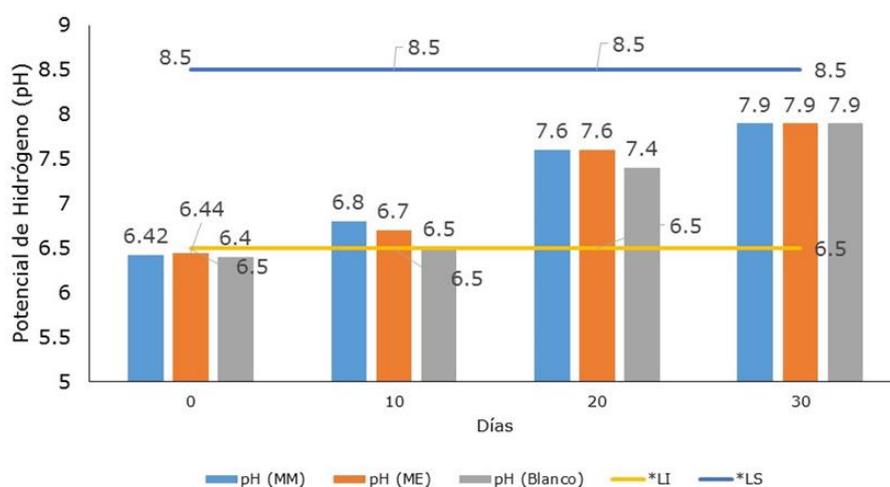


Figura 3. Muestra los valores del (pH), en la experimentación se mantuvieron homogéneos, mostrando un agua de un pH neutro y alcalino que varía entre 6.40 hasta 7.9 pH.

Fuente: Elaboración propia. Nota: LI= Límite Inferior, LS= Límite superior

Mostrando una alta actividad degradadora, según el LMP DS. N°003-2010 MINAM para verter un efluente a un cuerpo de agua; el pH de 6.5 a 8.5, por lo tanto, está dentro de los parámetros aceptables.

Valores de análisis en los tratamientos de (DBO₅).

Demanda biológica de oxígeno (DBO₅), expresa la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica biodegradable presente en la muestra por acción aerobia de bacterias. La figura 4, muestra los valores del DBO₅ de los tratamientos.

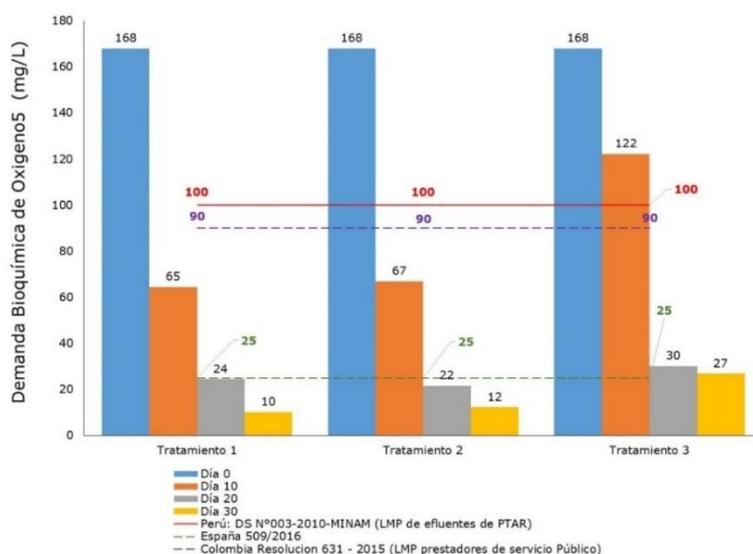


Figura 4. Se muestran los resultados obtenidos, de los tratamientos aplicados con microorganismos comerciales y de montaña tienen diferencias significativas.
Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la evaluación del DBO5 se encontró una mayor reducción en el tratamiento 1 y 2 comparados con el control, así mismo se muestra que los valores están debajo de los LMP, incluso de la más exigida, como la norma española, la norma Colombiana y la norma peruana D.S. 003-2010-MINAM - LMP para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Valores de análisis en los tratamientos de la (DQO).

La DQO se define como la cantidad de oxígeno disuelto que consume en la oxidación química de toda la materia oxidable de una muestra. La figura 5, muestra los valores de la DQO de los tratamientos más exigida, como la norma española, la norma Colombiana y la norma peruana D.S. 003-2010-MINAM - LMP para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

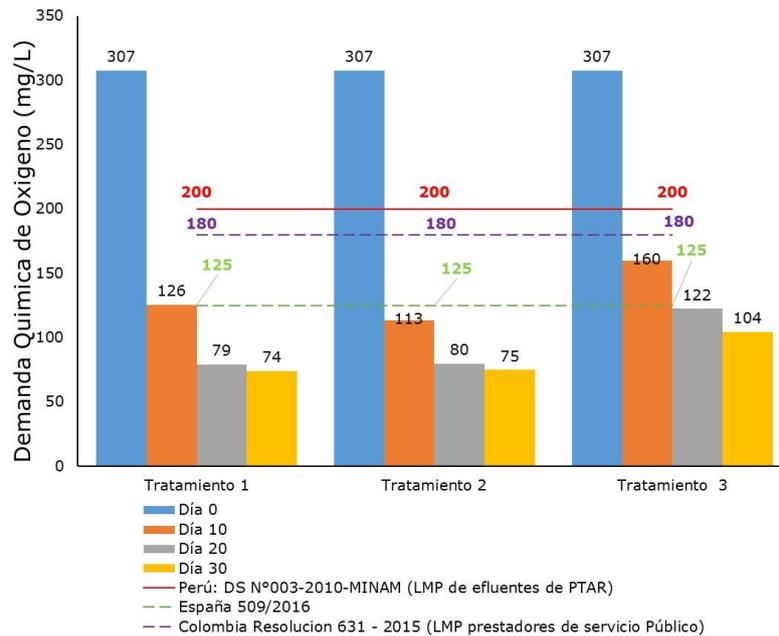


Figura 5. Se muestran los resultados de la DQO indicando que los tratamientos aplicados con microorganismos comerciales y montañas son efectivos.

Fuente: Elaboración propia.

Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, determinando la mayor reducción en el tratamiento 1 y 2, también tuvo una reducción significativa comparando con el control, además todos los valores obtenidos muestran debajo de las normas exigidas, inclusive de la más exigida, como la norma española RD 509/2016 (Real Decreto 509 / 1996 , de 15 de Marzo , de Desarrollo Del Real Decreto - Ley 11/1995 , de 28 de Diciembre , por el que se establecen las Normas Aplicables al Tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas ., 2015), así mismo cumplen con la norma Colombiana Resolución 631 – 2015 (LMP prestadores de servicio público); y finalmente, cumple con la norma peruana que es el D.S. 003-2010-MINAM. – LMP Ambiente et al. (2015) para los efluentes domésticos.

Valores de análisis en los tratamientos de (SST).

Los sólidos en suspensión son unos de los principales contaminantes que podemos encontrar en las aguas residuales. La figura 6, se muestra valores de la SST de los tratamientos.

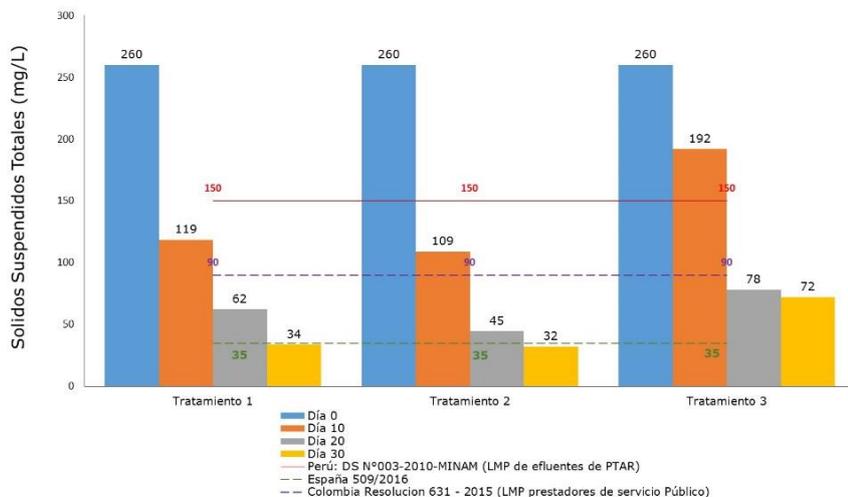


Figura 6. Se muestran las diferencias encontradas entre los tratamientos fueron significativas a comparación con el control.
Fuente: Elaboración propia.

También, se obtuvo una mayor reducción de SST en el tratamiento 2 y 1 que pertenecen a la aplicación de microorganismos comerciales y de montaña, así mismo, se aprecia que los valores de los tratamientos están debajo de la normativa peruana, la norma española y de la norma colombiana para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Remoción de la DBO, DQO y SST de los tratamientos.

La remoción de los microorganismos en las aguas residuales, comprende una serie de procesos que aprovechan la capacidad de los microorganismos de asimilar la materia orgánica y los nutrientes los valores mostrados en la figura 7, representan el porcentaje de remoción obtenidos en los tratamientos al transcurrir los 30 días.

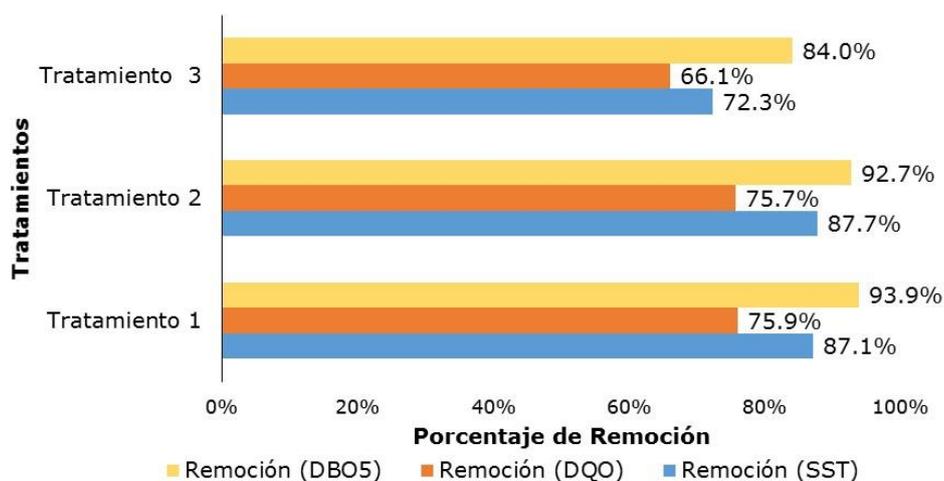


Figura 7. Se aprecia, que a los 30 días; la eficiencia de remoción de materia orgánica DBO₅, DQO y SST, para el tratamiento 1 y 2 fueron similares.

Fuente: Elaboración propia

La diferencia entre los tratamientos 1 y 2 fueron mínimas; sin embargo, el tratamiento (3) tres o blanco considerado como el control, donde no se aplicó ningún tipo de microorganismos, también removi6 un porcentaje, esto debido a que en las aguas residuales contienen sus propios microorganismos, que se encargan de consumir el material orgánico biodegradable y la otra parte es emitido a la atm6sfera en forma de gases no contaminantes, para este proceso el factor m6s importante es el ox6geno, ya que las bacterias aer6bicas son las que degradan el material biol6gico, por lo que se debe suministrar el ox6geno al reactor (Molero, et al., 2001).

3.3 Análisis estadístico

Tabla 2.

Resultados de las pruebas de efectos inter-sujetos.

Tratamientos	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	Razón-F	Valor-p
DBO ₅	174,670	2	87,335	68,585	0.000
DQO	189,717	2	94,859	19,531	0.002
SST	454,328	2	227,164	8,110	0.020

Nota: Esta tabla muestra el medio cuadrante y el valor- p. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 2, muestra el análisis estadístico de las pruebas de efecto intersujetos, al cabo de 30 días ($P < 0,05$) indica que existe diferencia significativa entre los 3 tratamientos o al menos 1 es diferente que los de más en los parámetros evaluados al emplear microorganismos comerciales y de montaña.

Tabla 3.

Resultados de DHS, Tukey y Duncan para la remoción de DBO₅, DQO y SST.

Prueba Estadística	TRATAMIENTOS	Subconjunto		Subconjunto		Subconjunto	
		DBO ₅ (%)		DQO (%)		SST (%)	
Tukey(a,b)	Tratamiento 3 ^(b)	84,04		66,07		72,31	
	Tratamiento 2 ^(a)		92,74		75,67		87,05
	Tratamiento 1 ^(a)		93,93		75,94		87,69
	Significación	1,00	,449	1,00	,987	1,000	,988
Duncan(a,b)	Tratamiento 3 ^(b)	84,0		66,07		72,31	
	Tratamiento 2 ^(a)		92,74		75,67		87,05
	Tratamiento 1 ^(a)		93,93		75,94		87,69
	Significación	1,00	,244	1,00	,884	1,00	,887

La tabla 3, muestra que para las pruebas estadísticas de Tukey y Duncan los tratamientos 2 y 3 son significativamente iguales a un 95% de significancia en el porcentaje de remoción de la DBO₅, DQO y SST.

4. DISCUSIÓN

4.2 Temperatura

En nuestra investigación la temperatura tuvo un comportamiento creciente y decreciente con el paso de las semanas teniendo un promedio de 20°C., encontrándose en temperatura ambiente sin tener cambios bruscos lo cual ayudó al desarrollo de los microorganismos y a realizar su acción de manera normal sin retrasar la velocidad de degradación puesto que, cuando suceden cambios repentinos es cuando los microorganismos retrasan sus actividades o la función degradadora de la carga orgánica; la temperatura es un factor que influye directamente en el rendimiento de los microorganismos ya que, al haber temperaturas altas, estimula el aumento de energía que causa la disminución en de ciertas actividades principales, la temperatura óptima de desarrollo es de 25 °C. Además, las bacterias se multiplican rápidamente a temperaturas comprendidas entre los 25 °C y los 35 °C. Estos fenómenos son retrasados por las bajas temperaturas. Una caída de 10°C en la temperatura demorara la actividad microbiológica aproximadamente 50% (Delgado, 2019).

4.3 pH

En cuanto a los resultados del pH, se observa que poseemos el agua de un pH neutro y alcalino de 6.40 - 7.9 para las unidades experimentales donde se aplicó el ME, MM y control esto significa que conforme pasaron los días hubo un ligero incremento de Ph. según, Pérez Rancaño and Garido Josefa (2004) los microorganismos pueden sobrevivir en un amplio rango de valores de pH, entre 5.0 a 10.0 pero solamente crecen en valores entre 6.5 y 8.5, a valores más bajos (pH <6,5), por otro lado, los valores altos de pH, por ello es necesario mantener un rango de pH en el interior del reactor para alcanzar una buena calidad del efluente. En esta investigación se halla el pH en el rango óptimo para un adecuado crecimiento y desarrollo de las actividades de los microorganismos eficientes.

4.4 Remoción de carga orgánica como DBO₅, DQO y SST, según diferentes autores al aplicar microorganismos comerciales en aguas residuales.

Los resultados de diversos autores que utilizaron tecnología de Microorganismos Comerciales para depurar las aguas residuales de origen doméstico, según Toc (2012), tuvieron una remoción de 98% de DBO₅, 97 % de DQO y 91 % de SST a 800 msnm., a una

temperatura ambiental media de 23 °C en 60 días; 98, 97 y 91% de remoción de la DBO₅, DQO y SST, respectivamente.

Canales y Sevilla (2016), precisaron, una remoción de 65 % de DBO₅, 68% de DQO a 78 msnm., a una temperatura ambiental media de 24.2 °C en 45 días; Beltrán y Campos (2016), evaluaron, una remoción de 67% de DBO₅, 66% de DQO y 61% SST, a 3360 msnm., a una temperatura ambiental media de 22 °C en 30 días; Burgos y Chules (2019), obtuvieron una remoción de 86 % de DBO₅, 87% de DQO y 39 % SST a 278 msnm., a una temperatura ambiental media de 26.2 °C en 20 días, dando un resultado de 93.9 % DBO₅, 75.9% DQO y 87.1% SST, para la DBO₅, hubo un mejor resultado a comparación de las otras investigaciones, excepto con 1, para la remoción de la DQO y para los SST a comparación con otras investigaciones se tuvo un buen resultado. Por otro lado Vigo y Matos (2020), indican que los microorganismos eficaces tienen un efecto positivo en el proceso de depuración de las aguas residuales en condiciones altoandinas.

4.5 Remoción de la DBO₅, DQO y SST, según diferentes autores al aplicar microorganismos montaña en aguas residuales.

Los resultados de varios autores que utilizaron tecnología de Microorganismos de montaña para depurar aguas residuales de origen doméstico, según Burgos y Chules (2019), tuvieron, una remoción de 92% de DQO, 92 % de DBO₅ y 33 % SST a 278 msnm., a una temperatura ambiente media de 26.2 °C en 20 días; Meza, et al. (2018) obtuvo, una remoción de 92 % de DBO₅ a 22 msnm., a una temperatura ambiental media de 26.2 °C en 20 días, donde los resultados del tratamiento 2 fueron 92.7% DBO₅, 75.7 % DQO y 87.7 % SST, en la DQO precisó un buen resultado, para la DBO₅ a comparación con otras investigaciones concluyó un buen resultado y finalmente en la remoción de los SST se presentó un buen resultado a comparación de otras investigaciones.

5. CONCLUSIONES

Los microorganismos comerciales, así como de los microorganismos de montaña, obtuvieron un resultado positivo en el proceso de purificación de las aguas residuales en condiciones de ceja de selva; donde el tratamiento 1 (Aeróbico + 200 mL ME en 100 L de ARD) actuó de manera eficiente, removiendo la DBO₅, DQO y los SST; al igual que el tratamiento 2 (Aeróbico +200 ml MM en 100 L de ARD), en cuanto a los tratamientos aplicados cumplen con los requerimientos de las normas mencionadas; nacionales como internacionales para la DBO₅, DQO y SST; para la DBO₅ el tratamiento 1 y 2 cumplen con las 3 normativas, para la DQO los 3 tratamientos cumplen con las 3 normativas, pero el tratamiento 3 no cumple con una normativa que es la norma española RD 509/2016 y la que viene a ser la más exigente; en conclusión los SST el tratamiento 1 y 2 cumplen con las 3 normativas; sin embargo, el tratamiento 3 no cumple con la normativa española RD 509/2016 sobrepasando el doble de su valor límite permitido, según el análisis de clasificación de Duncan y Tukey, indican que, los tratamientos aplicados con microorganismos comerciales y de montaña actuaron parejos, presentando una remoción significativa en el tratamiento 1 y 2.

6. REFERENCIAS

- Banco Interamericano de Desarrollo. 2009. "Manual Práctico de Uso de EM." *IISCA Uruguay* 35.
- Beltrán Beltrán, Tony Reilly, and Cynthia Melissa Campos Riveros. 2016. "Influencia de Microorganismos Eficaces Sobre La Calidad de Agua y Lodo Residual, Planta de Tratamiento de Jauja."
- Bisang, Roberto, Mercedes Campi, and Verónica Cesa. 2009. "Documento de Proyecto Biotecnología y Desarrollo." *Naciones Unidas* 107.
- Burgos Díaz, Tito, and Lenin Chules Collantes. 2019. "Determinación de La Efectividad Del Uso de Microorganismos de Montaña Para El Tratamiento de Las Aguas Residuales in Vitro En El Caserío de Chontamuyo - San Martín 2018."
- Canales Lopez, Hubert Omar, and Amiro Antonio Sevilla Carpio. 2016. "Evaluación Del Uso de Microorganismos Eficaces En El Tratamiento de Efluentes Domésticos Residuales Del Distrito de Pátapo."
- Centeno Calderon, Luis, Anibal Quintana Diaz, and Lisset López Fuentes. 2019. "Efecto de Un Consorcio Microbiano En La Eficacia Del Tratamiento de Aguas Residuales , Trujillo , Perú Effect of a Microbial Consortium on the Effectiveness of Wastewater Treatment , Trujillo , Peru." *Arnaldoa* 26(1):433–46.
- Consejo de ministros. 2010. "Límites Máximos Permisibles Para Los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales." *El Peruano*, 2.
- Delgado Rojas, Juan Eduardo. 2019. "Influencia de Los Microorganismos Eficaces (EM Agua) En Los Parámetros Físicoquímicos y Microbiológicos Del Afluente Del Bioreactor En La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Concepción - 2018."
- Escudero De Fonseca, Amelia, and Carmen Alicia Arias Villamizar. 2012. "Los Microorganismos En Los Abonos Orgánicos a Partir de Podas En La Universidad Del Norte, Colombia." *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental* 28(SUPPL 1):67–75.
- Guzman, Juan, and Neisser Grandes. 2018. "Universidad Técnica de Cotopaxi." *Universidad Técnica De Cotopaxi Facultad* 1:101.
- Larios Meoño, Fernando, Carlos González Tarango, and Yennyfer Morales Olivares. 2015. "Aguas Residuales y Sus Consecuencias En El Perú." *Revista de La Facultad de Ingeniería de La USIL* 2:9–25.
- Luvi Checani, Uriel. 2014. "Evaluación de Los Indices

Microbiológicos y Físicoquímicos En Aguas Residuales de La Ciudad de Puno -
Tratadas Con Microorganismos Nativos.”

Meza Leones, María, Katerine Riaños Donado, Iván Mercado Martínez, and Rafael Olivero Verbel. 2018. “Evaluación Del Poder Coagulante Del Sulfato de Aluminio y Las Semillas de Moringa

Oleífera En El Proceso de Clarificación Del Agua de La Ciénaga de Malambo-Atlántico
Evaluation of the Coagulant Power of Aluminum Sulfate and Moringa Oleífera Seeds
in the C.” 17(2):9.

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. 2015. *Resolución 631 de 2015*.

Ministerio De Obras Públicas Transporte y Medio Ambiente. 2015. Real Decreto 509 / 1996
, de 15 de Marzo , de Desarrollo Del Real Decreto - Ley 11/1995 , de 28 de Diciembre
, Por el que se establece las Normas Aplicables al Tratamiento de las Aguas Residual

Molero, Jorge, Jose Saez, and Antonio Soler. 2001. “La Autodepuración En Las Corrientes
de Agua.” *Quimica Del Agua* 2:43–50.

Molina Cuellar, Elizabeth del Carmen, Shinichi Kondo, Experto de JICA, José Alcantar,
Hugo Ramos, Manuel Nuñez, and Angel Ortiz. 2017. “Proyecto Para El Apoyo a
Pequeños Agricultores En La Zona Oriental (PROPA-Oriente).” 4.

OMS. 2020. “Mundo No Tiene Acceso Al Agua Potable , Según UNICEF y La OMS Un
Nuevo Informe Sobre Las Desigualdades.” 2017:2017–20.

Ortiz, Daniel, María José Anrango, Héctor Pérez, Lizeth Chela, Gabriela Villagrán, and
Leonardo Fernandez. 2021. “Uso de Microorganismos Eficientes Para La
Depuración de Contaminantes

Orgánicos En Aguas Residuales Urbanas.” *Ecuadorian Science Journal* 5(3):355–62. doi:
10.46480/esj.5.3.165.

Palta Prado, Giovani Hernán, and Sandra Morales Velasco. 2014. “Fitodepuración de Aguas
Residuales Domesticas Con Poaceas : Brachiaria Mutica , Pennisetum Purpureum y
Panicum

Maximun En El Municipio de Popayán, Cauca.” *Biotechnologia En El Sector Agropecuario
y Agroindustriail* 11(2):57–65.

Pérez Rancaño, Amador, and María Garido Josefa. 2004. “Efecto Del PH Sobre La
Depuración Biológica de Aguas Residuales de La Industria Conservera.”” *Aguas
Residuales* 2–7.

Pire, María, Karen Rodríguez, Mary Fuenmayor, Yubislays Fuenmayor, Hervis Acevedo,
Sedolfo Carrasquero, and Altamira Díaz. 2011. “Biodegradabilidad de Las
Diferentes Fracciones de Agua

Residual Producidas En Una Tenería Biodegradability of Different Fractions of Wastewater
Produced in a Tannery.” *Ciencia E Ingeniería Neogranadina* 21(2):5–19.

- Quille, Lenin Quille. 2019. "Microorganismos Eficaces y Lombrifiltros Para La Remoción de Residuos Lácteos de La Planta Quesera - Moquegua." (051):1151–63. doi: <https://dx.doi.org/10.26788/riepg.2019.3.1342>.
- Santander Arandia, Javier Mauricio. 2021. "Diseño y Construcción de Una Planta Modelo de Tratamiento de Agua Residual Para El Laboratorio de Hidráulica."
- Santillán Quiroga, Luis Miguel, and Lorena Paola Pacheco Paredes. 2018. "Remoción de Ácido Sulfhídrico Por Microorganismos Removal of Hydrogen Sulfide by Microorganisms on Activated." *La Granja* 27(1):112–23.
- Steven, Umana Carmona. 2017. "Ingeniería Ecológica : Efecto Del Uso de Microorganismos de Montaña Sobre El Suelo Con Base En Dos Cultivos Agrícolas."
- Teruo, Higa. 1994. "EMRO - TECNOLOGÍA EM." Retrieved (<https://www.em-la.com/quem-somos/emro/>).
- Thieman, W y Palladino, M. 2010. *Introducción a La Biotecnología*.
- Toc Aguilar, René Manuel. 2012. "Efecto de Los Microorganismos Eficientes (ME) En Las Aguas Residuales de La Granja Porcina de Zamorano, Honduras." 1–22.
- UNESCO. 2017. Informe Mundial de Las Naciones Unidas Sobre El Desarrollo de Los Recursos Hídricos 2017: Aguas Residuales, El Recurso Desaprovechado. París.
- Valdez, Atilio. 2016. "Aplicación de Microorganismos Eficaces (EM) Para El Tratamiento de Las Aguas Residuales Domesticas En La Localidad de Chucuito." *Universidad Nacional Del Altiplano* 145.
- Vigo Rivera, Juan Eduardo, and Rodrigo Alfredo Matos Chamorro. 2020. "Evaluation of Effective Microorganisms (EM) in the Process of Treatment of Domestic Wastewater in High - Andean Conditions." Pp. 503–11 in *4th SmallWat21v*.
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). 2017. *Aguas Residuales, El Recurso Desaprovechado*. París.