



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

T E S I S

**EFECTO DE MICROORGANISMOS EFICACES EN
EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DEL DISTRITO DE
TORATA - MOQUEGUA, 2021**

PRESENTADA POR

BACHILLER MARQUINIO FLORES FLORES

ASESOR:

Dr. EDGAR VIRGILIO BEDOYA JUSTO

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AMBIENTAL

MOQUEGUA - PERÚ

2023

CONTENIDO

	Pág.
PÁGINA DE JURADO	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
CONTENIDO	iv
CONTENIDO DE TABLAS	viii
CONTENIDO DE FIGURAS	x
CONTENIDO DE APÉNDICES	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	xv

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema.....	1
1.2. Definición del problema.....	3
1.2.1. Problema general.....	3
1.2.2. Problemas específicos.	3
1.3. Objetivos de la investigación	3
1.3.1. Objetivo general.	3
1.3.2. Objetivos específicos.	3
1.4. Justificación.....	4
1.4.1. Justificación económica.	4
1.4.2. Justificación social.	4

1.4.3. Justificación ambiental.....	5
1.5. Alcances y limitaciones.....	5
1.5.1. Alcances.....	5
1.5.2. Limitaciones.....	5
1.6. Variables.....	5
1.6.1. Variable independiente.....	5
1.6.2. Variable dependiente.....	6
1.6.3. Operacionalización de variables.....	6
1.7. Hipótesis de la investigación.....	7
1.7.1. Hipótesis general.....	7
1.7.2. Hipótesis específicas.....	7

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la investigación.....	8
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	8
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	8
2.1.3. Antecedentes regionales.....	12
2.2. Marco teórico.....	12
2.2.1. Agua residual.....	12
2.1.2. Microorganismos eficaces.....	15
2.3. Definición de términos.....	18

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de la investigación.....	20
------------------------------------	----

3.2. Diseño de la investigación	20
3.3. Población y muestra	23
3.3.1. Población.....	23
3.3.2. Muestra.....	23
3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos	23
3.4.1. Observación directa.....	23
3.4.2. Observación indirecta.....	24
3.4.3. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.	24
3.5. Características del campo experimental.....	25
3.5.1. Lugar de ejecución.	25
3.6. Manejo de la investigación.....	26
3.6.1. Recolección de muestras	26

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados.....	29
4.2. Resultados del análisis estadístico.....	32
4.2.1. Temperatura.....	32
4.2.2. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).....	34
4.2.3. Demanda química de oxígeno (DQO).....	39
4.2.4. pH	44
4.2.5. Coliformes termotolerantes	48
4.3. Contrastación de hipótesis	51
4.4. Discusión de resultados	53

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	57
5.2. Recomendaciones.....	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
APÉNDICES.....	65
MATRIZ DE CONSISTENCIA	72
INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	73

CONTENIDO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de variables	6
Tabla 2. Combinación de factores.....	22
Tabla 3. Esquema del análisis de varianza (ANOVA) para el diseño de bloques completamente al azar (DBCA).....	24
Tabla 4. Medias de la variable demanda bioquímica de oxígeno	29
Tabla 5. Medias de la variable demanda bioquímica de oxígeno	30
Tabla 6. Medias de la variable demanda química de oxígeno	30
Tabla 7. Medias de la variable pH	31
Tabla 8. Medias de la variable coliformes termotolerantes	31
Tabla 9. Análisis de varianza para la variable temperatura	32
Tabla 10. Prueba de significación de Tukey para los efectos principales del factor dosis de EM en la variable pH.....	33
Tabla 11. Análisis de varianza para la variable demanda bioquímica de oxígeno..	34
Tabla 12. Análisis de efectos simples en la variable demanda bioquímica de oxígeno	35
Tabla 13. Prueba de significación de Tukey para los efectos simples del factor dosis de EM con respecto a cada nivel del factor tiempo de contacto en la variable demanda bioquímica de oxígeno	36

Tabla 14. Prueba de significación de Tukey para los efectos simples del factor tiempo de contacto con respecto a cada nivel del factor dosis de EM en la variable demanda bioquímica de oxígeno	38
Tabla 15. Análisis de varianza para la variable demanda química de oxígeno.....	39
Tabla 16. Análisis de efectos simples en la variable demanda química de oxígeno .	40
Tabla 17. Prueba de significación de Tukey para los efectos simples del factor dosis de EM con respecto a cada nivel del factor tiempo de contacto en la variable demanda química de oxígeno.....	41
Tabla 18. Prueba de significación de Tukey para los efectos simples del factor tiempo de contacto con respecto a cada nivel del factor dosis de EM en la variable demanda química de oxígeno.....	43
Tabla 19. Análisis de varianza para la variable pH.....	45
Tabla 20. Prueba de significación de Tukey para los efectos principales del factor dosis de EM en la variable pH.....	46
Tabla 21. Prueba de significación de Tukey para los efectos principales del factor tiempo de contacto en la variable pH	47
Tabla 22. Análisis de varianza para la variable coliformes termotolerantes.....	48
Tabla 23. Prueba de significación de Tukey para los efectos principales del factor dosis de EM-AGUA® Activado en la variable coliformes termotolerantes	49
Tabla 24. Prueba de significación de Tukey para los efectos principales del factor tiempo de contacto en la variable coliformes termotolerantes	50

CONTENIDO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diseño de la investigación	21
Figura 2. PTAR del municipio distrital de Torata, sector Pampas del Arrastrado - Mollesaja	26
Figura 3. Promedios de los factores vs el testigo en la variable temperatura	33
Figura 4. Promedios de los efectos principales del factor dosis de EM-AGUA® Activado en la variable temperatura.....	34
Figura 5. Promedios de los factores vs el testigo en la variable demanda bioquímica de oxígeno	36
Figura 6. Promedios de los efectos simples del factor dosis de EM con respecto a los niveles del factor tiempo de contacto en la variable demanda bioquímica de oxígeno.	37
Figura 7. Promedios de los efectos simples del factor tiempo de contacto con respecto a los niveles del factor dosis de EM en la variable demanda bioquímica de oxígeno	38
Figura 8. Promedios de los factores vs el testigo en la variable demanda química de oxígeno	40
Figura 9. Promedios de los efectos simples del factor dosis de EM con respecto a los niveles del factor promotor tiempo de contacto en la variable demanda química de oxígeno	42

Figura 10. Promedios de los efectos simples del factor tiempo de contacto con respecto a los niveles del factor dosis de EM en la variable demanda química de oxígeno	44
Figura 11. Promedios de los factores vs el testigo en la variable pH.....	45
Figura 12. Promedios de los efectos principales del factor dosis de EM-AGUA® Activado en la variable pH.....	46
Figura 13. Promedios de los efectos principales del factor tiempo de contacto en la variable pH	47
Figura 14. Promedios de los factores vs el testigo en la variable coliformes termotolerantes.....	49
Figura 15. Medias de los efectos principales del factor dosis de EM-AGUA® Activado en la variable coliformes termotolerantes.....	50
Figura 16. Medias de los efectos principales del factor tiempo de contacto en la variable coliformes termotolerantes.....	51

CONTENIDO DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice A. Figuras	
Figura A1. Ficha de registro de datos.	65
Figura A2. Ficha de registro de resultados de monitoreo.	66
Apéndice B. Fotografías	
Fotografía B1. Planta de tratamiento de aguas residuales Pampas del Arrastrado - Mollesaja.	67
Fotografía B2. Activación del EM-1 concentrado de microorganismos.	67
Fotografía B3. Envasado de testigo de agua residual para ser enviada al laboratorio.	68
Fotografía B4. Presentación de los tratamientos del trabajo de investigación.	68
Fotografía B5. Primera evaluación a los 10 días del trabajo de investigación.	69
Fotografía B6. Segunda evaluación a los 20 días del trabajo de investigación. ...	69
Fotografía B7. Tercera evaluación a los 30 días del trabajo de investigación.	70
Fotografía B8. Preparación de muestras para ser enviada a laboratorio.	70
Fotografía B9. Envío de muestras a laboratorio.	71
Fotografía B10. Culminación del Trabajo de Investigación.	71

RESUMEN

El presente trabajo de investigación fue desarrollado con el objetivo de determinar el efecto de microorganismos eficaces en el tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito de Torata, asimismo determinar el tiempo necesario para el tratamiento y el porcentaje de dosis de EM-AGUA® Activado. Se realizaron evaluaciones en 10, 20 y 30 días, se utilizó el diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con arreglo factorial de 3 x 3, más un testigo y dos repeticiones para cada tratamiento. Se recolectaron 180 litros de aguas residuales, distribuidos en envases de 20 litros, la muestra se obtuvo de cada unidad experimental. El análisis estadístico empleado fue el Análisis de Varianza (ANVA) y la prueba de Tukey. Los resultados mostraron que la menor DBO₅ ocurre con la dosis de 2 %, 10 días de contacto con 54,30 mg l⁻¹; respecto a 260,45 y 825,95 mg l⁻¹, en las dosis 4 y 6 %; obteniendo resultados similares cuando se utiliza 20 y 30 días de contacto. Similares resultados se obtuvieron para DQO ocurriendo una menor demanda, cuando se utilizan las dosis más bajas 2 % y 4 %, y menor contacto 10 días. Para el caso de pH apreciamos que, con las dosis de 2 % y 4 % se bordeó la neutralidad, pH de 7,61 y 7,28, de 20 y 30 días de contacto. Respecto a la concentración de coliformes termotolerantes, encontramos una menor concentración al utilizar 2 % con un tiempo de contacto de 30 días.

Palabras clave: Microorganismos eficaces, tiempo de exposición, dosis EM

ABSTRACT

The present research work was carried out with the objective of determining the effect of effective microorganisms in the treatment of domestic wastewater in the Torata district, also to determine the time necessary for the treatment and the percentage of doses of EM-AGUA® Activated. Evaluations were carried out in 10, 20 and 30 days, the completely randomized block design (DBCA) was used, with 3 x 3 factorial arrangement, plus a control and two repetitions for each treatment. 180 liters of wastewater were collected and distributed in 20-liter containers, the sample was obtained from each experimental unit. The statistical analysis used was the Analysis of Variance (ANVA) and the Tukey test. The results showed that the lowest BOD₅ occurs with the 2% dose, 10 days of contact with 54.30 mg l⁻¹; with respect to 260.45 and 825.95 mg l⁻¹, in the 4 and 6% doses; obtaining similar results when using 20 and 30 days of contact. Similar results were obtained for COD, with less demand occurring when the lowest doses 2.4% and less contact 10 days were used. In the case of pH, we appreciate that, with the doses of 2 and 4 %, neutrality was bordered, pH of 7.61 and 7.28, 20 and 30 contact days. Regarding the concentration of thermotolerant coliforms, we found a lower concentration when using 2 % with a contact time of 30 days.

Keywords: Effective microorganisms, exposure time, MS dose

INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento de vital importancia para el ser humano y todos los seres vivos en el planeta. El porcentaje 2,5 % de agua dulce que existe en nuestro planeta es escaso, el agua dulce en nuestro planeta está sujeta a cambios radicales día a día, por ejemplo, cambios bruscos por agentes altamente contaminantes como aguas residuales, metales pesados, hidrocarburos, entre otros. Por tal motivo el tratamiento de agua residual doméstica es muy importante para evitar su contaminación al ambiente.

En Latinoamérica y el Caribe solamente del 30 % al 40 % del agua residual recibe tratamiento, situación que afecta negativamente al ambiente y a la salud humana. Sin embargo, ya que en la actualidad más del 30 % de la población global habita en zonas donde el agua constituye un bien escaso, el tratamiento de agua residual para su reúso debería configurarse como una alternativa de solución a la problemática de contaminación y escasez de agua (Banco Mundial, 2020).

Así mismo, en los países en desarrollo son comunes los problemas de saneamiento, y se requieren plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas adecuadas y sostenibles. Estas aguas residuales se consideran como una fuente importante adicional para cubrir la demanda insatisfecha del recurso hídrico, los que pueden ser reutilizados en otras actividades y ayudar a disminuir el impacto sobre el ambiente.

Sin embargo, sucede lo contrario el destino de las aguas residuales, que son vertidas crudas o diluidas con aguas superficiales limpias generando riesgos

potenciales para la salud pública, principalmente cuando se emplean en el riego de cultivos de consumo directo. Por ello se debe difundir el uso eficiente de tratamientos preliminares, primarios y secundarios, con la utilización de microorganismos eficaces EM, evaluando diferentes dosis y tiempos de contacto.

No obstante, estos microorganismos están presentes en la naturaleza, juntos aceleran la desintegración natural de la materia orgánica y propician un proceso de fermentación antioxidante, favoreciendo el bienestar, el equilibrio y la regeneración del ecosistema, evitando olores desagradables. Esta biotecnología natural y probiótica fue creada para su aplicación en la producción agrícola y animal sustentable, el tratamiento de aguas, la restauración ambiental, y salud humana (BIOEM, s.f.b).

La presente investigación se constituye importante debido a que tuvo como propósito evaluar el efecto de microorganismos en el tratamiento de aguas residuales domésticas, para concretar ello se utilizaron microorganismos eficaces (EM) que permitieron reducir los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos y, por lo tanto, dar cumplimiento a los límites máximos permisibles.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema

En el distrito de Torata, uno de los principales problemas es la generación de aguas residuales domésticas que, sin ningún tratamiento son vertidos a cuerpos de agua y empleadas en la agricultura convencional del distrito de Torata, generando malestares a la población. También cuentan con una mala infraestructura en mal estado que está fuera del servicio para realizar el tratamiento de agua residual doméstica.

En América Latina y el Caribe solamente del 30 % al 40 % del agua residual recibe tratamiento, situación que afecta negativamente a la salud humana, así como al ambiente. Sin embargo, debido a que en la actualidad más del 30 % de la población global habita en zonas donde el agua constituye un bien escaso, el tratamiento de agua residual para su reúso debería configurarse como una alternativa de solución a la contaminación y escasez de agua (Banco Mundial, 2020).

En nuestro país, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014) calcula que menos del 70 % de la población urbana del país se encuentra

cubierta por una empresa prestadora de servicios de saneamiento (EPS), por lo que la cobertura del servicio de alcantarillado no es suficiente y representa una de los principales problemas en el manejo de aguas residuales. Asimismo, existe un déficit en su tratamiento, ya que, de los 2,2 MMC de aguas residuales que circulan diariamente a través de las redes de alcantarillado en la actualidad, únicamente se trata el 32 %, previo a su vertimiento a cuerpos de agua natural tales como mares, lagos, ríos o quebradas.

El Gobierno Regional Moquegua (2017), en el Plan de Saneamiento Regional menciona que, en el año 2008, se trató el 60,63 % del volumen total de aguas residuales generadas y un 74,36 % en 2010, ubicando a la región de Moquegua muy por encima del promedio del país. Sin embargo, entre los años 2011 al 2013 este porcentaje disminuyó en un 15,35 %, por lo que el tratamiento de aguas residuales fue de apenas 59,01 % en 2013.

Por tal motivo, así como por la falta de conocimiento e interés en este recurso hídrico, no se efectúa un apropiado tratamiento de agua residual. Por lo cual, las aguas residuales no tratadas son arrojadas directamente a un cuerpo receptor (río) o al ambiente, perjudicando los ecosistemas y la biodiversidad de los lugares afectados, amenazando la salud de las personas y la economía de los agricultores.

Ante esta coyuntura, sabiendo que existen tratamientos de agua residual doméstica con microorganismos eficaces que pueden mejorar la calidad de agua residual, es que se ejecuta la presente investigación, como una alternativa para el tratamiento de aguas residuales en el distrito de Torata.

1.2. Definición del problema

1.2.1. Problema general.

¿Qué efecto tendrá la aplicación de microorganismos eficaces en el tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito de Torata - Moquegua?

1.2.2. Problemas específicos.

¿Cuál será la dosis óptima de microorganismos eficaces para el tratamiento de aguas residuales domésticas?

¿Cuál será el tiempo de contacto óptimo de la aplicación de microorganismos eficaces para el tratamiento de aguas residuales domésticas?

¿Qué efecto tendrá interacción entre la dosis y el tiempo de contacto de microorganismos eficaces en el tratamiento de aguas residuales domésticas?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general.

Determinar el efecto de microorganismos eficaces en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

1.3.2. Objetivos específicos.

Identificar la dosis óptima de microorganismos eficaces en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Establecer el tiempo de contacto óptimo de microorganismos eficaces en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Determinar el efecto de la interacción entre la dosis óptima y el tiempo de contacto de microorganismos eficaces en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación económica.

De ser factible la aplicación de la tecnología propuesta, ayudaría a los agricultores y a la población de Torata en el riego de su agricultura, por tener una fuente alternativa del recurso hídrico, que actualmente el agua con la que cuentan los agricultores para el riego de su agricultura es escasa y, sin embargo, pagan una tarifa elevada por esta. De ser factible, como otra opción se podría reutilizar las aguas residuales ya tratadas con los microorganismos a un costo más económico.

1.4.2. Justificación social.

Este trabajo de investigación contribuiría a reducir los malos olores generados, evitando la preocupación y malestar de los pobladores, debido a que la población de Torata posee una planta de tratamiento de las aguas residuales provenientes de Torata y Yacango, conformada por pozos sépticos percoladores ubicados en la parte baja de Yacango; sin embargo, la infraestructura cumplió su vida útil y se colmató, generando en la actualidad preocupación y malestar a los pobladores por la generación de olores desagradables.

1.4.3. Justificación ambiental.

El presente estudio contribuye a mejorar la calidad ambiental, al tener un agua residual doméstica adecuadamente tratada para un vertimiento más seguro, ya que actualmente el agua residual no es tratada y es vertida a un cuerpo receptor (el río Torata), perjudicando a la flora y fauna que se encuentra en el lugar.

1.5. Alcances y limitaciones

1.5.1. Alcances.

La presente investigación se realizó en el distrito de Torata, región Moquegua, en el año 2021 a 2022. Se desarrolló el tratamiento de agua residual doméstica con la aplicación de microorganismos eficaces EM-AGUA en un sistema de biorreactor. Esto permitió conocer los parámetros más importantes que se deben conocer, como son: parámetros fisicoquímicos (DBO₅, DQO y pH), parámetros microbiológicos (coliformes termotolerantes) y parámetros físicos (temperatura).

1.5.2. Limitaciones.

En el trabajo de investigación no se contemplará la evaluación de otros parámetros como aceites y grasas, por falta de referencia bibliográfica y acceso a datos que dificultan la interpretación de los resultados finales del estudio.

1.6. Variables

1.6.1. Variable independiente.

La variable independiente es la suficiencia de microorganismos eficaces EM-AGUA® Activado en el tratamiento de aguas residual con el tiempo de contacto en el tratamiento de agua residual.

1.6.2. Variable dependiente.

La variable dependiente es la calidad de aguas residual tratadas y la eficiencia del tratamiento, expresados en:

a. *Parámetros físicos.*

Temperatura (°C)

b. *Parámetros bioquímicos.*

Densidad bioquímica de oxígeno - DBO₅ (mg/l)

Demanda química de oxígeno - DQO (mg/l)

pH

c. *Parámetros microbiológicos.*

Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)

1.6.3. Operacionalización de variables.

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Unidad de medida	Instrumentos
Independiente:				
Dosis de EM-Agua	Biológico	Dosis	%	Dosificación
Tiempo de contacto	Físico	Tiempo	Día	Tratamiento
Dependientes:				
Parámetros físicos	Físico	Temperatura	°C	Medición
Parámetros bioquímicos	Bioquímico	DBO ₅	mg/L	Determinación
	Químico	DQO	mg/L	Determinación
	Químico	pH	Unidades	Medición
Parámetros biológicos	Biológico	Coliformes termotolerantes	NMP 100 ml ⁻¹	Determinación

Nota: EM = microorganismos eficaces.

1.7. Hipótesis de la investigación

1.7.1. Hipótesis general.

Los microorganismos eficaces tienen efecto en el tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito de Torata - Moquegua.

1.7.2. Hipótesis específicas.

Por lo menos una dosis de microorganismos eficaces es óptima en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Por lo menos uno de los tiempos de contacto con microorganismos eficaces es óptimo en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

La interacción entre la dosis óptima y el tiempo de contacto de microorganismos eficaces, tienen efecto positivo en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales.

Cardona y García (2008) realizaron el estudio “*Evaluación del efecto de los microorganismos eficaces (EM®) sobre la calidad de un agua residual doméstica*”, en la Pontificia Universidad Javeriana de Colombia, cuya finalidad fue evaluar los cambios fisicoquímicos y microbiológicos en el agua residual doméstica después de aplicar EM®. Se utilizaron tres dosis de EM® (1/10000, 1/5000 y 1/3000 v/v), usando tanques (1,10 x 0,56 m) con 110 L de agua residual doméstica. Se muestreó el agua residual a dos profundidades (20 y 40 cm) a los 0, 10, 30 y 45 días, evaluando parámetros microbiológicos (coliformes totales y termotolerantes, bacterias fototróficas, lactobacilos, levaduras y heterótrofos totales) y físicoquímicos (T, pH, OD, DBO₅, DQO, ST, NO²⁻, NO³⁻, NH⁴⁺, S²⁻, SO₄⁻² y PO₄⁻³). Estos parámetros no mostraron diferencias entre las profundidades evaluadas, excepto por una reducción significativa de S²⁻ (30 y 45 días) y coliformes termotolerantes (10 días), así como un incremento significativo de levaduras y un aumento de DBO₅ (30 y 45 días).

En la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López de Ecuador, Espinoza y Zambrano (2019) realizaron la investigación “*Eficiencia de microorganismos (Saccharomyces sp, Lactobacillus spp, Rhodospseudomona spp), en el tratamiento de aguas residuales de la ESPAM MFL*”, la finalidad fue evaluar la eficiencia de tres microorganismos (*Lactobacillus spp.*, *Rhodospseudomonas spp.* y *Saccharomyces sp.*) para tratar aguas residuales de la ESPAM. Se evaluaron tratamientos de (0,75, 1,25 y 2,00 % de EM), se analizó parámetros de DQO y DBO₅. Se concluyó que los tratamientos presentaron valores significativos de $p < 0,05$ para ambos parámetros, donde la dosis de 2 % EM mostró una mayor reducción de DQO (56,97 %) y DBO₅ (58,70 %).

2.1.2. Antecedentes nacionales.

Sánchez (2014) desarrolló la investigación “*Evaluación de la capacidad de depuración de microorganismos eficaces en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Moyobamba – 2014*” en la Universidad Nacional de San Martín. El objetivo fue conocer la eficiencia de los microorganismos eficaces en el tratamiento de aguas residuales domésticas para su reutilización en agricultura. Las muestras de agua residual se tomaron a 0, 15, 30 y 45 días, se evaluó parámetros fisicoquímicos (T, pH, OD, DBO, DQO, SST, PO₄, NO₂ y NTU) y microbiológicos (coliformes totales y termotolerantes). De los resultados se menciona: disminución de temperatura de 23,5 °C a 22,8 °C, el pH se mantuvo entre (6,3 - 6,7), los valores de oxígeno disuelto (3 - 2,5 mg/L), del inicio al fin del experimento. Se logró también remoción de 69,4 % de DBO (de 320 mg/L a 98 mg/L), 40,68 % de DQO (de 354 mg/L a 210 mg/L), 48,72 %; de SST, 25 % de fosfatos (de 0,6 mg/L a 0,45 mg/L), 50 % de nitratos (de 8 mg/L a 4 mg/L) y

64,29 % de turbiedad (de 98 a 35,0 UNT). Se removió un 56,25 % de coliformes totales (de 2120 NMP/100 ml a 1000 NMP/100 ml) y un 52,83 %, de coliformes termotolerantes (de 1200 NMP/100 ml a 525 NMP/100 ml).

En la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Valdez (2016) desarrolló la investigación “*Aplicación de microorganismos eficaces (EM) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en la localidad de Chucuito, en la planta de tratamiento de aguas residuales zona sur en la región Puno - 2016*”. El objetivo fue caracterizar física, química y microbiológicamente las aguas residuales, evaluar diferentes dosis de EM para su tratamiento en condiciones de laboratorio, y comparar el resultado de las aguas residuales de la planta de tratamiento con EM. Se evaluó parámetros físicos, químicos y microbiológicos, las muestras tomadas con baldes de 20 L, con dosis de 0 % (testigo), 1 %, 1,5 % y 2 % de EMa activado. Se concluyó disminución de pH (6,3 a 4,28) con 2 % de EMa; un incremento de SST de 357,48 mg/L (1 %), 535,35 mg/L (1,5 %) y 727 mg/L (2 %); incremento de oxígeno disuelto de 3,81 mg/L (1 %), 3,96 mg/L (1,5 %) y 4,12 mg/L (2 %); disminución de DBO de 147,07 mg/L (1 %), 131,07 mg/L (1,5 %) y 117,33 mg/L (2 %), disminución de DQO de 367,67 mg/L (1 %), 327,27 mg/L (1,5 %) y 293,33 mg/L (2 %); remoción de coliformes termotolerantes en todos los tratamientos, hasta en un 80,75 % (2 % de EMa).

Canales y Sevilla (2017) ejecutaron la investigación titulada “*Evaluación del uso de microorganismos eficaces en el tratamiento de efluentes domésticos residuales del distrito de Patapo, 2017*”, en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. La finalidad fue evaluar el efecto de los microorganismos eficaces (EM®)

sobre la calidad de las aguas residuales domésticas de Patapo y realizar un seguimiento periódico de las aguas residuales tratadas con microorganismos eficaces. Las muestras se obtuvieron de la laguna de oxidación de Patapo. En el experimento se aplicó EM® (1 ml por cada litro de agua residual doméstica), en 10 L de agua, evaluándose a tres tiempos (15, 30 y 45 días). Los parámetros evaluados fueron pH, dureza total, DBO, DQO, cloruros, nitratos, olor, color, coliformes totales y coliformes termotolerantes. Los resultados mostraron que se redujo olores desagradables, partículas de materia orgánica suspendidas; se logró reducir del 15,30 % de dureza total, 65,83 % de DBO, 68,11 % de DQO, 28,53 % de cloruros, 81,87 % de nitratos, y 99,96 % de coliformes totales.

En la Universidad José Carlos Mariátegui, Huarhua (2019) realizó la investigación “*Efecto de microorganismos en el tratamiento de aguas residuales domésticas en Urubamba, Cusco 2018,*” en invernaderos del Centro de Producción del ISEP La Salle, Urubamba (2018 - 2019). El propósito del estudio fue evaluar el efecto de los microorganismos en el tratamiento de aguas residuales domésticas, y determinar las características físicas, químicas y microbiológicas y tiempo necesario para el tratamiento. El microorganismo inoculado fue EM-AGUA® activado, evaluando el agua residual doméstica a los 0, 15, 30 y 45 días. Se recolectaron 240 L de aguas residuales, en envases de 20 L. Se concluyó que a los 45 días se logró los mejores resultados, en los parámetros de pH (7,13), aceites y grasas (8,37 mg/L), DBO₅ (71,26 mg/L), DQO (146,28 mg/L), sólidos totales suspendidos (18,44 mg/L) y coliformes termotolerantes (172,33 NMP/100 ml).

2.1.3. Antecedentes regionales.

Agreda (2015), en la Universidad Nacional de Moquegua, ejecutó el estudio *“Evaluación de la efectividad de microorganismos eficaces en las propiedades físico químicas del agua residual de la planta de tratamiento, a nivel laboratorio, Ilo 2014”*, entre los años (2014 - 2015). El objetivo fue evaluar la eficiencia de microorganismos en el tratamiento de agua residual. Se trabajó con agua residual extraído de la planta de tratamiento de Ilo, se utilizaron 20 envases de 8 L (unidades experimentales); a 18 de las unidades experimentales se le aplicó dosis de 8, 16 y 32 de EM, y las dos unidades experimentales restantes no tuvieron tratamiento (testigos). Se evaluó (SST), DBO₅, DQO y coliformes termotolerantes, se analizó a (45 y 90 días). Se concluyó que a los 45 días fueron 191,0 mg/L de SST, 115,2 mg/L de DBO₅, 238,4 mg/L de DQO y 11,3 NMP/100 ml para coliformes termotolerantes. A los 90 días los resultados fueron 78,3 mg/L de SST, 46,3 mg/L de DBO₅ 98,0 mg/L de DQO y 6,0 NMP/100 ml para coliformes termotolerantes.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Agua residual.

El Ministerio de Agricultura (MINAGRI, 2010) señala que las aguas residuales son “aquellas cuyas características originales han sido modificadas por actividades antropogénicas, tengan que ser vertidas a un cuerpo natural de agua o reusadas y que por sus características de calidad requieren de un tratamiento previo”.

Las aguas residuales domésticas, por su parte, son “aquellas de origen residencial, comercial e institucional que contienen desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana” (MINAGRI, 2010).

2.2.1.1. Caracterización de aguas residuales.

a. Temperatura.

Es esencial para la existencia de la actividad bacteriana y muchos procesos biológicos dependen de este parámetro, por lo que su medición en el tratamiento de aguas residuales resulta importante. Su rango óptimo va desde 25 hasta los 35 °C (Delgadillo et al., 2010).

b. pH.

Es la concentración de iones hidrógeno en una solución, responsable de muchas propiedades de las sustancias químicas (Delgadillo et al., 2010). Valores entre 5 y 9 unidades favorecen la vida de especies acuáticas, mientras que un pH superior a 9,2 inhibe el crecimiento de *E. coli*. El pH de las aguas residuales urbanas oscila entre las 6,5 y 8,5 unidades (Cartró, 2003, citado por Delgadillo et al., 2010).

c. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

Señala la cantidad de oxígeno disuelto consumido en un agua residual a 20 °C por 5 días, a consecuencia de la oxidación biológica de la materia orgánica biodegradable, efectuada por los mismos microorganismos del agua. Es decir, representa el consumo de oxígeno que se originaría si se vertiera esa agua en el medio natural. La DBO₅ de las aguas residuales domésticas oscila entre 100 y 300 mg/L (De Miguel, 2004).

d. Demanda química de oxígeno (DQO).

Indica el oxígeno que se necesita para oxidar químicamente toda la materia orgánica contenida en la muestra. La DQO suele ser superior a la DBO₅, ya que la oxidación por medios químicos es más completa que en el caso anterior. En aguas

residuales urbanas la DQO suele duplicar a la DBO₅, y se encuentra entre 150 y 800 mg/L (De Miguel, 2004).

e. Coliformes termotolerantes.

Grupo de bacterias encontradas de forma abundante en el intestino humano. Son usadas como indicador de contaminación microbiológica en las aguas (Delgadillo et al., 2010). La concentración de coliformes termotolerantes en el agua residual bruta oscila entre 10⁶ y 10⁸ NMP/100 ml (Metcalf & Eddy, 2003, citado por Déniz, 2010).

2.2.1.2. Tratamiento de aguas residuales domésticas.

a. Pretratamiento o tratamiento preliminar.

Tiene como propósito retener sólidos gruesos, sólidos finos con densidad mayor al agua y arenas presentes en el agua, facilitando los tratamientos siguientes y evitando potenciales problemas originados por la circulación de arena, plásticos y otros residuos hacia los procesos de tratamiento. Se suelen emplear para este fin canales con rejas, desarenadores e incluso tamices (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2009).

b. Tratamiento primario.

Permite retirar el material en suspensión existente en el agua residual (excepto sustancias disueltas o material coloidal), permitiendo eliminar alrededor del 60 - 70 % de sólidos en suspensión y un 30 % de la DBO orgánica sedimentable. Las unidades de tratamiento más empleadas en este caso son el tanque Imhoff (en localidades de mediano tamaño) y el tanque séptico con disposición final por infiltración (en zonas rurales) (MINAM, 2009).

c. Tratamiento secundario.

Incluye procesos biológicos, en especial las reacciones bioquímicas originadas por microorganismos, logrando resultados eficientes en la disminución de la DBO (entre 50 y 95 %). Es usual en este nivel de tratamiento el empleo de lagunas de estabilización (facultativas y aireadas), lodos activados (convencionales y de aireación extendida), biofiltros o filtradores biológicos, biodiscos o filtros rotatorios y filtros percoladores (MINAM, 2009).

d. Tratamiento terciario.

Tiene como fin esencial remover nutrientes tales como nitrógeno y fósforo, evitando que el vertimiento del agua residual preliminarmente tratada origine problemas de eutrofización en lagunas, lagos y otros cuerpos de agua lénticos; por ello, la necesidad de su implementación obedecerá a la disposición final que se proyecte darles a las aguas tratadas. Los efluentes de plantas de tratamiento de nivel terciario pueden ser empleados en la crianza de peces y riego de áreas agrícolas, entre otras actividades de producción. La ósmosis inversa, procesos de filtración, flotación, destilación, y precipitación química de nutrientes son las tecnologías más empleadas (MINAM, 2009).

2.1.2. Microorganismos eficaces.

Conocidos también como EM®, por sus siglas en inglés, son una combinación de tres grupos de microorganismos naturales, usualmente encontrados en los alimentos y en los suelos (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2009).

Estos microorganismos se encuentran en la naturaleza, aceleran la desintegración natural de la materia orgánica y propician un proceso de

fermentación antioxidante, favoreciendo el bienestar, el equilibrio y la regeneración del ecosistema, evitando olores desagradables. Esta biotecnología natural y probiótica fue creada para su aplicación en la producción agrícola y animal sustentable, el tratamiento de aguas, la restauración ambiental, y la salud humana (BIOEM, s.f.b).

2.1.2.1. Composición.

Los microorganismos eficaces constituyen una mezcla de tres tipos de microorganismos anaeróbicos y aeróbicos benéficos y sumamente eficaces (BIOEM, s.f.b).

- Bacterias fotosintéticas (*Rhodospseudomonas spp.*)
- Bacterias ácido-lácticas (*Lactobacillus spp.*)
- Levaduras (*Saccharomyces spp.*), entre otros.

2.1.2.2. Uso en aguas residuales.

Los microorganismos eficaces presentan los siguientes beneficios en el tratamiento de aguas (BIOEM, s. f.a):

- Sintetiza la materia orgánica de forma rápida, disminuyendo la concentración de sólidos suspendidos, turbidez, DBO y DQO.
- Equilibra el pH y el oxígeno disuelto.
- Reduce la población de microorganismos patógenos de forma eficaz.
- Acelera la descomposición de aceites y grasas.
- Reduce olores desagradables de manera significativa.

- Permite ahorrar los elevados costos de construcción y mantenimiento relacionados a los sistemas convencionales de tratamiento.
- Contribuye a disminuir el uso de productos químicos.
- Optimiza costos operacionales en los sistemas de tratamiento.

2.1.2.2. Activación de microorganismos eficaces.

El EM-1 es un “concentrado” de microorganismos eficaces en fase de latencia, que precisa activarse para su utilización. Un litro de EM 1 produce 20 L de EM activado. La activación se debe realizar en un recipiente plástico de cierre hermético, como un bidón o un tanque. Las proporciones a usar se señalan a continuación (BID, 2009):

- EM-1: 5 %.
- Melaza o azúcar: 5 %.
- Agua: 90 % (el agua no debe contener cloro; si es el caso, dejar que se volatilice dejando el agua en un recipiente sin tapa durante un día).

El agua se calienta entre 35 y 40 °C. Luego, en una olla, se coloca la melaza, mezclándola con una cantidad similar de agua caliente para facilitar su dilución. La mezcla se calienta por 20 minutos a 60 °C o hasta llegar a 80 °C, lo que ocurra primero. Seguidamente, se vierte el agua caliente en el recipiente plástico, la mezcla de melaza más agua y, al final, el EM-1. Se cierra de forma hermética y se conserva entre 25 y 40 °C de 7 a 10 días. A los 4 o 5 días se abre el recipiente para que los gases generados por la fermentación puedan escapar. La sustancia al final tendrá un olor agrisado y un pH inferior a 3,8 (BID, 2009).

2.1.2.3. Sistema Biorreactores.

Es un recipiente con agua residual doméstica en el cual los microorganismos interactúan con el medio de cultivo con el cual cumplen con las rutas metabólicas o reacciones químicas, por medio de oxigenación, agitación, presión y concentración de gases.

Por lo cual el sistema Biorreactor es de un recipiente de 20 L de capacidad en cual contiene agua residual domestica como orgánicos e inorgánicos para su tratamiento con ME agua (microorganismos eficaces) con los porcentajes de 2 %, 4 % y 6 % de los 20 L de EM-AGUA® Activado, que interactuaran a través de oxigenación o tratamiento aeróbico en el biorreactor.

2.3. Definición de términos

- **Afluente:** Aguas residuales brutas o crudas provenientes de la red de alcantarillado que ingresan a la planta de tratamiento (Delgadillo et al., 2010).
- **Aguas residuales:** Aquellas cuyas características originales han sido transformadas por actividades antrópicas, tengan que ser vertidas a un cuerpo natural de agua o reutilizadas, y las cuales requieren de un tratamiento previo (MINAGRI, 2010).
- **Aguas residuales domésticas:** Aquellas de origen residencial, comercial e institucional que contienen desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana (MINAGRI, 2010).
- **Aerobio o aeróbico:** Medio acuoso con presencia de oxígeno molecular disuelto (Noyola et al., 2013).

- **Anaerobio o anaeróbico:** Medio acuoso caracterizado por la ausencia de oxígeno molecular disuelto (Noyola et al., 2013).
- **Bacterias:** Microorganismos unicelulares que miden generalmente de 0,5 a 5 μm y con formas tales como: barras (bacilos), esferas (cocos) y hélices (espirilos). En los sistemas de tratamiento de agua residual tienen como función el consumo de la materia orgánica biodegradable (Noyola et al., 2013).
- **Biodegradable:** Sustancia que puede ser degradada o descompuesta por la acción de microorganismos o seres vivos (Noyola et al., 2013).
- **Degradación:** Transformación de sustancias complejas en otras más sencillas (Delgadillo et al., 2010).
- **Efluente:** Aguas residuales procedentes de la planta de tratamiento de aguas residuales (Delgadillo et al., 2010).
- **Microorganismos eficaces:** Combinación de tres grupos de microorganismos naturales, usualmente encontrados en los alimentos y en los suelos (BID, 2009).

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de la investigación

Es una investigación aplicada, debido a que se busca la generación de conocimiento para la resolución de un problema de la sociedad (Lozada, 2014; Hernández et al., 2014).

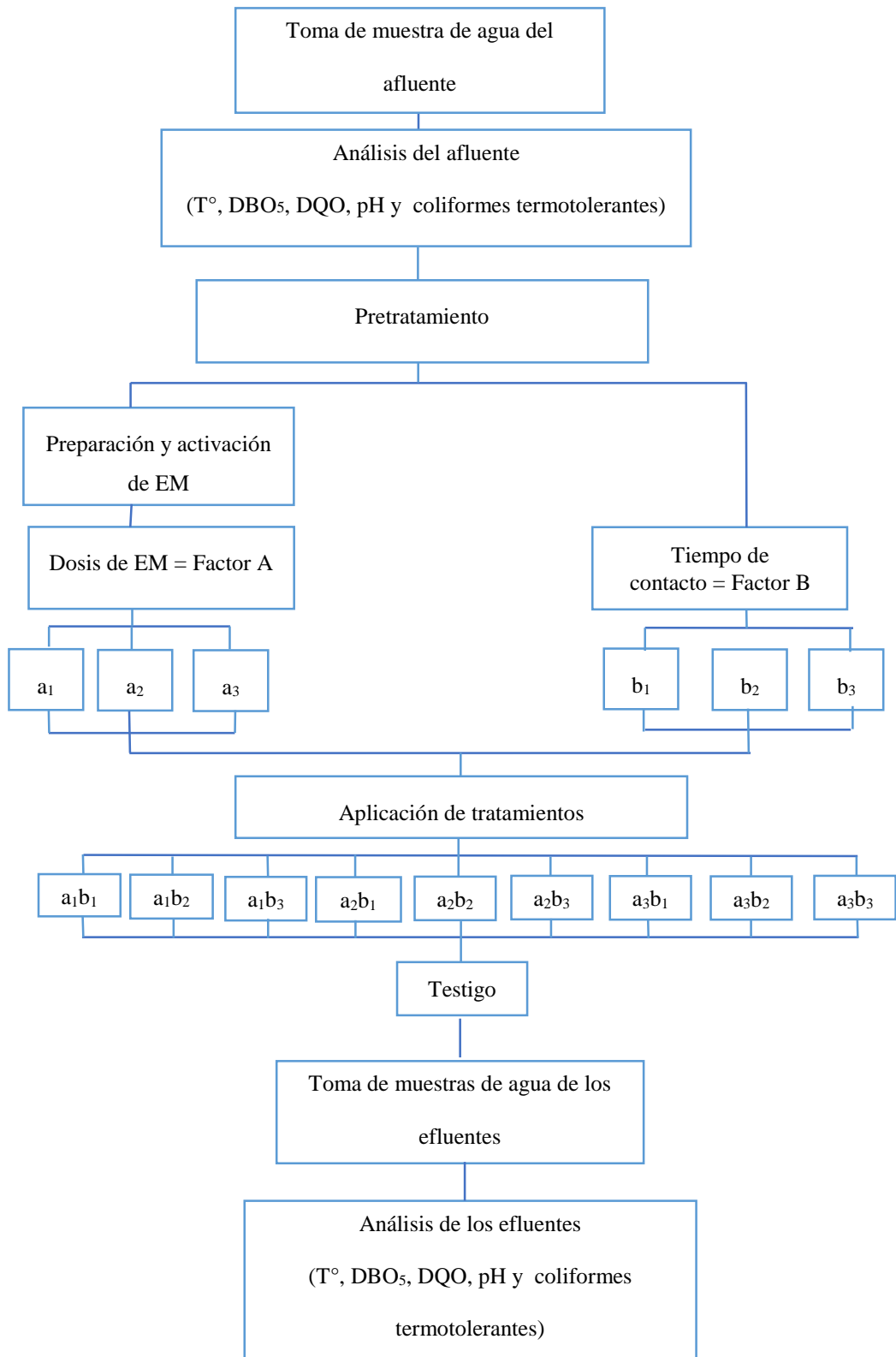
3.2. Diseño de la investigación

El diseño es experimental, ya que se manipula de forma intencional la variable independiente para analizar las consecuencias de esta acción sobre la variable dependiente, en una situación controlada (Hernández et al., 2014). Esta investigación corresponde a un experimento puro, se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con arreglo factorial de 3 x 3, más un testigo de referencia, con dos repeticiones para cada tratamiento.

El método estadístico aplicado fue el análisis de varianza (ANOVA), y su correspondiente prueba de comparaciones múltiples a través del estadístico de Tukey, con una significancia de 5 %. A continuación, en la figura 1 se especifica el diseño de la presente investigación.

Figura 1

Diseño de la investigación



Cuando el afluente del agua residual ingresa al sistema de biorreactores previo pretratamiento para la remoción de sólidos de gran tamaño, en depuración secundaria se dividió en tres grupos para su tratamiento biológico, el cual se realizó con tres dosis de EM: 2 %, 4 % y 6 % y tomando en cuenta tres tiempos de contacto: 10 días, 20 días y 30 días. Cada balde donde se realizó cada tratamiento tuvo un contenido de 20 L, en un total de 180 L de agua residual para su tratamiento.

En total, se realizó nueve tratamientos, más un testigo de referencia para este estudio, los mismos que se detallan en la tabla 2.

Tabla 2

Combinación de factores

Factor A:		Factor B:	
Dosis de EM	Tiempo de contacto	Tratamientos	
Niveles	Niveles		
a ₁ : 2 % EM	b ₁ : 10 días	a ₁ b ₁	
	b ₂ : 20 días	a ₁ b ₂	
	b ₃ : 30 días	a ₁ b ₃	
a ₂ : 4 % EM	b ₁ : 10 días	a ₂ b ₁	
	b ₂ : 20 días	a ₂ b ₂	
	b ₃ : 30 días	a ₂ b ₃	
a ₃ : 6 % EM	b ₁ : 10 días	a ₃ b ₁	
	b ₂ : 20 días	a ₃ b ₂	
	b ₃ : 30 días	a ₃ b ₃	
Testigo		t ₁	

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población.

Aguas residuales domésticas generadas en el distrito de Torata y en el centro poblado de Yacango de provincia Mariscal Nieto, región Moquegua.

Para el trabajo de investigación la población estuvo conformada por las aguas residuales de planta tratamiento (PTAR) Torata, con ingreso continuo de 1,8 L/s.

3.3.2. Muestra.

El estudio se realizó con una cantidad de 180 litros de agua residual doméstica, que luego fueron distribuidas a 09 unidades experimentales de 20 litros cada unidad.

Por lo cual, cada recipiente de 20 litros de agua residual doméstica obtuvo las muestras correspondientes que fueron enviados al laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C.

3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos

Se realizó la toma de muestras del afluente y fueron analizados en campo directamente, que corresponden a 02 indicadores y en el laboratorio se analizó 03 indicadores.

3.4.1. Observación directa.

Se empleó este tipo de observación para muestras que se evaluaron en campo, de los siguientes indicadores T° y pH (termómetro de laboratorio y pH metro).

3.4.2. Observación indirecta.

Se realizó esta observación indirecta para las muestras que se realizarán en laboratorio de los siguientes indicadores DBO₅ (Método SM Part 5210 B, 22nd Edition.), DQO (Método SM Part 5220 D, 22nd Edition) y coliformes termotolerantes (fermentación de tubos múltiples. SM Part 9221 E, 22nd Edition).

3.4.3. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Para el procesamiento de datos de las variables se utilizó el programa InfoStat y Microsoft Excel 2016.

3.4.3.1. Análisis de varianza y prueba de significación.

El método estadístico que fue aplicado es el análisis de varianza (ANOVA), con la correspondiente prueba de comparaciones múltiples a través del estadístico de Tukey, con un nivel de significancia de 5 %.

Tabla 3

Esquema del análisis de varianza (ANOVA) para el diseño de bloques completamente al azar (DBCA)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada
Factor A	(a-1)	SC A	SC A/GL A	CM A/CM error
Factor B	(b-1)	SC B	SC B/GL B	CM B/CM error
A x B	(a-1) (b-1)	SC A x B	SC AB/GL AB	CM AB/CM error
Factores vs testigo	1	SC Factores vs testigo	SC F. vs testigo/GL F. vs testigo	CM F. vs testigo/CM error
Bloque	(n-1)	SC Bloque	SC Bloque/GL Bloque	CM Bloque/CM error
Error	(a.b.n) - (a.b)	SC error	SC error	
Total	(a.b+1) (n) - 1	SC total		

Nota: Vásquez (2014)

3.4.3.2 Hipótesis estadística.

a. Para los factores.

H_0 : No existen diferencias significativas entre los promedios de los factores.

H_1 : Si existen diferencias significativas entre los promedios de los factores.

b. Para la interacción.

H_0 : No existe interacción entre factores.

H_1 : Si existe interacción entre factores.

- Nivel de significación: $\alpha = 0,05$ y $0,01$
- Regla de decisión:

$F_c \leq F_{0,05}$ se acepta la H_0

$F_{0,05} < F_c < F_{0,01}$ se rechaza la H_0 , representándola por: *

$F_c > F_{0,01}$ se rechaza la H_0 representándola por: **

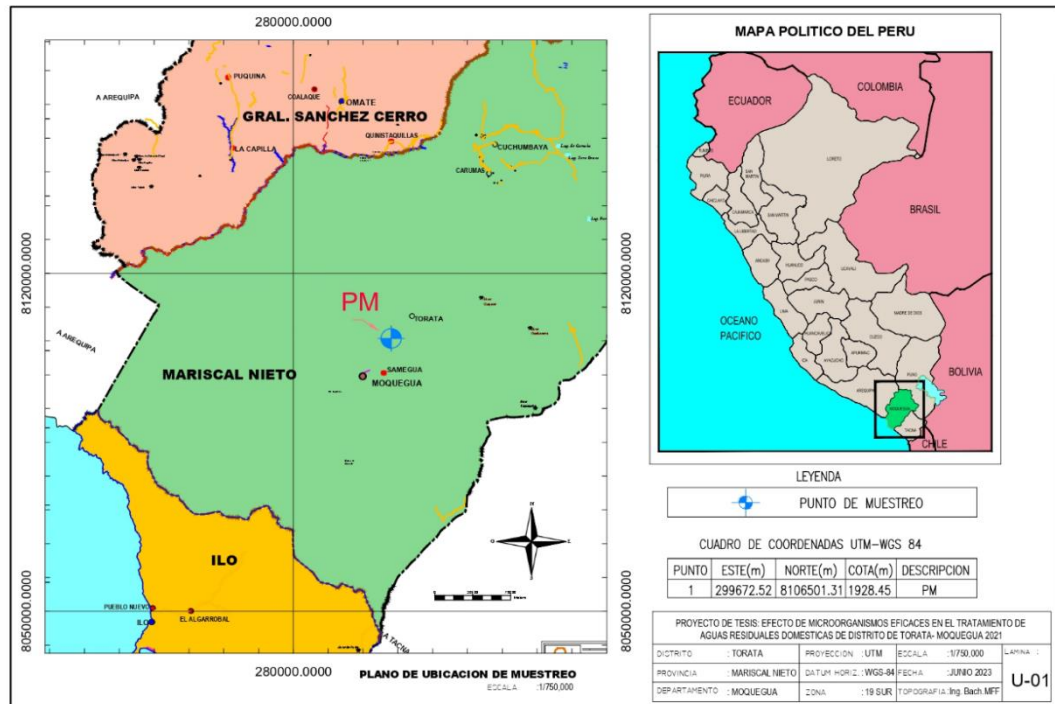
3.5. Características del campo experimental

3.5.1. Lugar de ejecución.

El trabajo de investigación se desarrolló en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del municipio distrital de Torata, ubicada en el sector Pampas del Arrastrado - Mollesaja, el cual pertenece al distrito de Torata, a 2038 msnm de altitud; correspondiendo a las siguientes coordenadas UTM.

Figura 2

PTAR del municipio distrital de Torata, sector Pampas del Arrastrado - Mollesaja



Nota: Google (2021)

3.6. Manejo de la investigación

3.6.1. Recolección de muestras.

3.6.1.1 Fase inicial.

Se tomaron las muestras del agua del afluente, para evaluar los siguientes indicadores T° , DBO_5 , DQO , pH y coliformes termotolerantes.

Temperatura: Se realizó el muestreo del agua residual y luego en el proceso de tratamiento biológico se medirá todos los días la temperatura.

DBO_5 : Se aplicó el muestreo en campo, para ser enviado a laboratorio y tener el parámetro inicial.

DQO: Se aplicó el muestreo en campo, para ser enviado a laboratorio y tener el parámetro inicial.

pH: Se midió el pH en el afluente para tener un dato inicial y luego en el proceso de tratamiento biológico se medirá el pH semanalmente para poder identificar las variaciones que puedan tener durante el desarrollo del trabajo de investigación.

Coliformes termotolerantes: Se aplicó el muestreo en campo, para ser enviado a laboratorio y tener el parámetro inicial.

3.6.1.2. Fase de desarrollo.

El afluente de agua residual ingreso al sistema de biorreactores, previo a un pretratamiento realizado para remoción de solidos de gran tamaño, luego paso a la depuración secundaria y se dividió en tres grupos para el tratamiento biológico, el cual se realizaron con tres dosis de EM: 2 %, 4 % y 6 % y tomando en cuenta tres tiempos de contacto: 10 días, 20 días y 30 días. Cada balde representa un tratamiento que un contenido de 20 L, de agua residual.

Se realizó la preparación y activación de EM según las dosis planteadas en el trabajo de investigación y tiempo de contacto con el agua residual.

Primera dosis: Se realizó el tratamiento en un contenido de 20 L, posteriormente se le adicionó la dosis de 2 % de EM (0,4 L) y esto fue controlado y medido en un tiempo de 10 días, 20 y 30 días.

Segunda dosis: Se realizó el tratamiento en un contenido de 20 L, posteriormente se agregará la dosis de 4 % de EM (0,8 L) y fue controlado y medido en un tiempo de 10 días, 20 y 30 días.

Tercera dosis: Se realizará el tratamiento en un contenido de 20 L, posteriormente se adicionará la dosis de 6 % de EM (1,2 L) y fue controlado y medido en un tiempo de 10 días, 20 y 30 días.

Testigo: Se implementó un testigo al cual no se le aplicó ningún tratamiento.

3.6.1.3 Fase final o de cierre.

Se realizó en campo el análisis de los efluentes para evaluar los siguientes indicadores T°, DBO₅, DQO, pH y coliformes termotolerantes, y comparar con los resultados de la dosis óptima y el tiempo óptimo que se logró durante el desarrollo del presente trabajo de investigación en el tratamiento del agua residual.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

En primer lugar, se muestran los datos encontrados en el presente estudio para las distintas variables consideradas.

De esta manera, en la tabla 4 podemos observar los resultados obtenidos para la variable temperatura, en cada tratamiento (dosis de microorganismos eficientes y tiempo de contacto) y bloque respectivo.

Tabla 4

Medias de la variable demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)

Tratamiento	Factor A	Factor B	Bloque	
	Dosis de EM	Tiempo de contacto	I	II
T ₁		B ₁ : 10 días	17,20	17,20
T ₂	A ₁ : 2 %	B ₂ : 20 días	17,10	17,40
T ₃		B ₃ : 30 días	17,20	17,30
T ₄		B ₁ : 10 días	17,00	16,70
T ₅	A ₂ : 4 %	B ₂ : 20 días	16,90	16,80
T ₆		B ₃ : 30 días	16,80	16,70
T ₇		B ₁ : 10 días	16,00	16,20
T ₈	A ₃ : 6 %	B ₂ : 20 días	16,10	15,90
T ₉		B ₃ : 30 días	15,90	16,20
T ₁₀		Testigo	17,50	17,60

La tabla 5 nos muestra los datos obtenidos en laboratorio para la variable demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), en cada unidad experimental.

Tabla 5

Medias de la variable demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)

Tratamiento	Factor A	Factor B	Bloque	
	Dosis de EM	Tiempo de contacto	I	II
T ₁		B ₁ : 10 días	52,20	56,40
T ₂	A ₁ : 2 %	B ₂ : 20 días	171,20	51,25
T ₃		B ₃ : 30 días	8,00	76,90
T ₄		B ₁ : 10 días	258,50	262,40
T ₅	A ₂ : 4 %	B ₂ : 20 días	314,80	60,88
T ₆		B ₃ : 30 días	21,48	95,73
T ₇		B ₁ : 10 días	859,40	792,50
T ₈	A ₃ : 6 %	B ₂ : 20 días	601,60	468,80
T ₉		B ₃ : 30 días	299,80	154,60
T ₁₀		Testigo	429,30	435,17

En la tabla 6 podemos ver los valores obtenidos en laboratorio para la variable demanda química de oxígeno (DQO), en cada tratamiento y bloque respectivo.

Tabla 6

Medias de la variable demanda química de oxígeno (O₂ mg/L)

Tratamiento	Factor A	Factor B	Bloque	
	Dosis de EM	Tiempo de contacto	I	II
T ₁		B ₁ : 10 días	408,00	386,00
T ₂	A ₁ : 2 %	B ₂ : 20 días	375,50	298,00
T ₃		B ₃ : 30 días	205,50	207,00
T ₄		B ₁ : 10 días	358,00	352,00
T ₅	A ₂ : 4 %	B ₂ : 20 días	845,00	668,00
T ₆		B ₃ : 30 días	355,00	357,00
T ₇		B ₁ : 10 días	1112,00	1140,00
T ₈	A ₃ : 6 %	B ₂ : 20 días	1957,00	1773,00
T ₉		B ₃ : 30 días	1145,00	1158,00
T ₁₀		Testigo	1749,00	1825,00

La tabla 7 nos muestra los datos obtenidos en laboratorio para la variable pH, en cada unidad experimental (tratamiento y bloque).

Tabla 7

Medias de la variable pH

Tratamiento	Factor A	Factor B	Bloque	
	Dosis de EM	Tiempo de contacto	I	II
T ₁		B ₁ : 10 días	7,28	7,12
T ₂	A ₁ : 2 %	B ₂ : 20 días	7,67	8,12
T ₃		B ₃ : 30 días	8,33	7,11
T ₄		B ₁ : 10 días	6,58	6,65
T ₅	A ₂ : 4 %	B ₂ : 20 días	7,34	7,86
T ₆		B ₃ : 30 días	8,24	6,98
T ₇		B ₁ : 10 días	4,56	5,62
T ₈	A ₃ : 6 %	B ₂ : 20 días	6,86	6,94
T ₉		B ₃ : 30 días	7,31	7,08
T ₁₀		Testigo	6,17	5,94

En la tabla 8 observamos los valores obtenidos en laboratorio para la variable coliformes termotolerantes, en cada tratamiento y bloque respetivo.

Tabla 8

Medias de la variable coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)

Tratamiento	Factor A	Factor B	Bloque	
	Dosis de EM	Tiempo de contacto	I	II
T ₁		B ₁ : 10 días	13000	10500
T ₂	A ₁ : 2 %	B ₂ : 20 días	490000	230000
T ₃		B ₃ : 30 días	4900	2
T ₄		B ₁ : 10 días	790000	720000
T ₅	A ₂ : 4 %	B ₂ : 20 días	330000	70000
T ₆		B ₃ : 30 días	110000	79
T ₇		B ₁ : 10 días	110000000	90000000
T ₈	A ₃ : 6 %	B ₂ : 20 días	790000	33000000
T ₉		B ₃ : 30 días	170000	13000
T ₁₀		Testigo	130000000	140000000

4.2. Resultados del análisis estadístico

4.2.1. Temperatura.

La tabla 9, para la variable temperatura, muestra que no hay interacción entre los factores A (dosis de EM-AGUA® Activado) y B (tiempo de contacto 10, 20 y 30 días). No obstante, para los efectos principales del factor A, se encontraron diferencias altamente significativas.

Tabla 9

Análisis de varianza para la variable temperatura

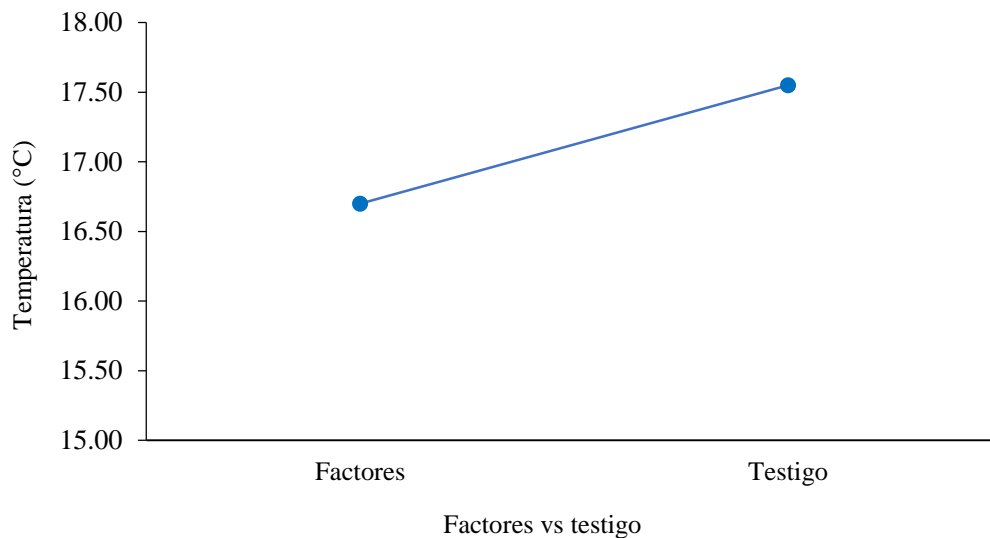
FV	GL	SC	CM	FC	F t		Sig.
					0,05	0,01	
A (Dosis de EM)	2	4,323	2,162	102,126	4,260	8,020	**
B (Tiempo de contacto)	2	0,003	0,002	0,079	4,260	8,020	ns
A x B	4	0,023	0,006	0,276	3,630	6,420	ns
Factores vs testigo	1	1,300	1,300	61,441	5,120	10,560	**
Bloque	1	0,004	0,004	0,213	5,120	10,560	ns
E. E.	9	0,191	0,021				
Total	19	5,845					

Nota: C.V. = 0,867 %; ns = No significativo; ** = Altamente significativo

Para los efectos principales del factor B, no existen diferencias significativas. No obstante, se encontraron diferencias altamente significativas en la comparación de los factores con el testigo. El coeficiente de variabilidad fue de 0,867 %, lo que nos muestra que los datos son homogéneos (Díaz y Rosado, 2019).

Figura 3

Promedios de los factores vs el testigo en la variable temperatura



La figura 3 nos muestra la comparación de los factores con el testigo, donde podemos observar que los factores en estudio (16,70 °C) presentan una menor demanda temperatura que el testigo (17,55 °C).

Tabla 10

Prueba de significación de Tukey para los efectos principales del factor dosis de EM en la variable temperatura

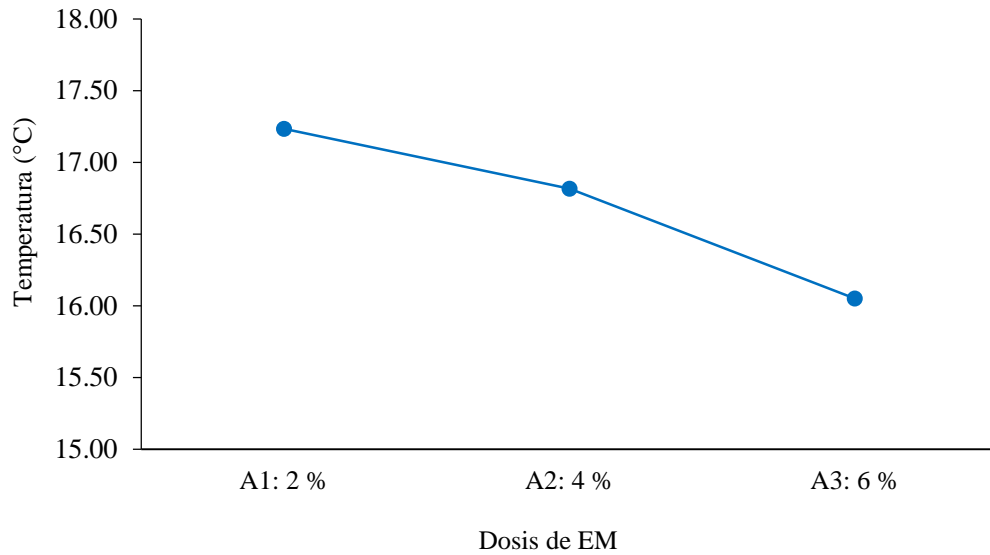
N°	Dosis de EM	Temperatura (°C)	Sig. $\alpha = 0,05$	Orden de mérito
1	A ₃ : 6 %	16,05	a	1°
2	A ₂ : 4 %	16,82	b	2°
3	A ₁ : 2 %	17,23	c	3°

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

En la tabla 10 se puede ver que el nivel A₃ (6 %), alcanzó el menor valor en la variable temperatura con 16,05 °C en promedio, diferenciándose estadísticamente de los niveles A₂ (4 %) y A₁ (2 %), que registraron promedios de 16,82 y 17,23 °C, respectivamente.

Figura 4

Promedios de los efectos principales del factor dosis de EM-AGUA® Activado en la variable temperatura



4.2.2. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

En la tabla 11, para la variable demanda bioquímica de oxígeno, podemos apreciar que existe interacción entre los factores A (dosis de EM-AGUA® Activado) y B (tiempo de contacto 10, 20 y 30 días).

Tabla 11

Análisis de varianza para la variable demanda bioquímica de oxígeno

FV	GL	SC	CM	FC	F t		Sig.
					0,05	0,01	
A (Dosis de EM)	2	703185,161	351592,580	62,759	4,260	8,020	**
B (Tiempo de contacto)	2	224447,868	112223,934	20,032	4,260	8,020	**
A x B	4	181370,335	45342,584	8,094	3,630	6,420	**
Factores vs testigo	1	55960,794	55960,794	9,989	5,120	10,560	*
Bloque	1	15772,536	15772,536	2,815	5,120	10,560	ns
E. E.	9	50420,183	5602,243				
Total	19	1231156,878					

Nota: C.V. = 27,362 %; ns = No significativo; ** = Altamente significativo

De igual manera, para los efectos principales del factor A y B, se hallaron diferencias altamente significativas. Por otro lado, se apreciaron diferencias significativas en la comparación de los factores con el testigo.

El coeficiente de variabilidad fue de 27,362 %, lo que nos señala que los datos son homogéneos con relación a la media (Díaz y Rosado, 2019).

Tabla 12

Análisis de efectos simples en la variable demanda bioquímica de oxígeno

FV	GL	SC	CM	FC	F t		Sig.
					0,05	0,01	
A en B ₁	2	638487,863	319243,932	56,985	4,260	8,020	**
A en B ₂	2	204189,086	102094,543	18,224	4,260	8,020	**
A en B ₃	2	41878,547	20939,274	3,738	4,260	8,020	ns
B en A ₁	2	5407,253	2703,626	0,483	4,260	8,020	ns
B en A ₂	2	41810,201	20905,100	3,732	4,260	8,020	ns
B en A ₃	2	358600,750	179300,375	32,005	4,260	8,020	**
E. E.	9	50420,183	5602,243				

Nota: ns = No significativo; ** = Altamente significativo

En la tabla 12, del análisis de efectos simples, para la variable demanda bioquímica de oxígeno, se muestra que hay diferencias altamente significativas para el factor A con respecto a los niveles B₁ y B₂ del factor B, lo que no sucede con el nivel B₃, donde no hubo diferencias significativas.

Por el contrario, para los efectos simples del factor B respecto a cada nivel del factor A, podemos apreciar que hay diferencias altamente significativas para el nivel A₃. Por el contrario, para los niveles A₁ y A₂, no se encontraron diferencias significativas.

En la figura 5, donde se compara los factores con el testigo, podemos ver que los factores en estudio lograron una menor demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) que el testigo, sin aplicación de ningún tratamiento.

Figura 5

Promedios de los factores vs el testigo en la variable demanda bioquímica de oxígeno

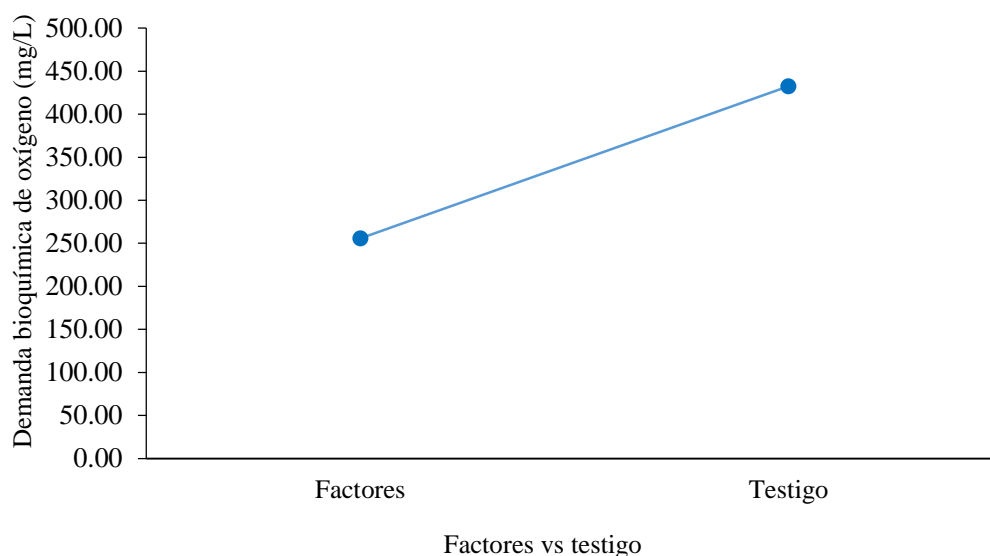


Tabla 13

Prueba de significación de Tukey para los efectos simples del factor dosis de EM con respecto a cada nivel del factor tiempo de contacto en la variable demanda bioquímica de oxígeno

N°	Dosis de EM	Tiempo de contacto	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	Sig. $\alpha = 0,05$	Orden de mérito
1	A ₁ : 2%	B ₁ : 10 días	54,30	a	1°
2	A ₂ : 4 %	B ₁ : 10 días	260,45	b	2°
3	A ₃ : 6 %	B ₁ : 10 días	825,95	c	3°
1	A ₁ : 2%	B ₂ : 20 días	111,23	a	1°
2	A ₂ : 4 %	B ₂ : 20 días	187,84	a	1°
3	A ₃ : 6 %	B ₂ : 20 días	535,20	b	2°
1	A ₁ : 2 %	B ₃ : 30 días	42,45	a	1°
2	A ₂ : 4 %	B ₃ : 30 días	58,61	a	1°
3	A ₃ : 6 %	B ₃ : 30 días	227,20	a	1°

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

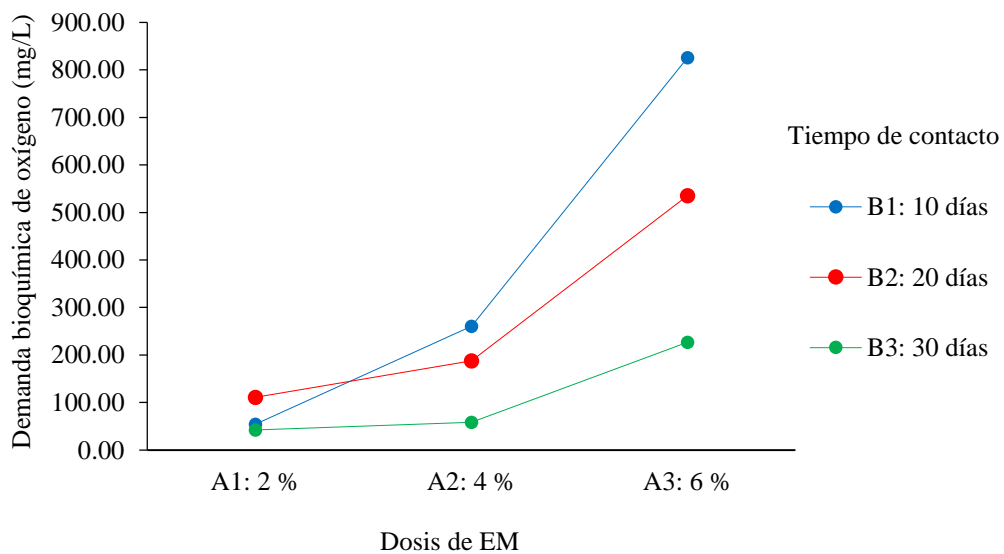
En la tabla 13 se puede observar que para el nivel B₁ (10 días) del factor tiempo de contacto, la menor demanda bioquímica de oxígeno se logró con el nivel A₁ (2 %), con 54,30 mg/L en promedio, diferenciándose estadísticamente de los niveles A₂ (4 %) y A₃ (6 %), que alcanzaron promedios de 260,45 y 825,95 mg/L, respectivamente.

Por otro lado, se puede ver que para el nivel B₂ (20 días) del factor tiempo de contacto, la menor demanda bioquímica de oxígeno se alcanzó con los niveles A₁ (2 %) y A₂ (4 %), con promedios de 111,23 y 187,84 mg/L, respectivamente. Ambos niveles lograron diferenciarse estadísticamente del nivel A₃ (6 %) que obtuvo un promedio de 535,20 mg/L.

En el caso del nivel B₃ (30 días) del factor tiempo de contacto podemos observar que los tres niveles del factor Dosis de EM (2, 4, 6 %), lograron promedios de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) estadísticamente similares.

Figura 6

Promedios de los efectos simples del factor dosis de EM con respecto a los niveles del factor tiempo de contacto en la variable demanda bioquímica de oxígeno



La figura 6 nos muestra que la menor demanda bioquímica de oxígeno (DBO), para las distintas dosis de EM, se obtiene con un mayor tiempo de contacto (30 días).

Tabla 14

Prueba de significación de Tukey para los efectos simples del factor tiempo de contacto con respecto a cada nivel del factor dosis de EM en la variable demanda bioquímica de oxígeno

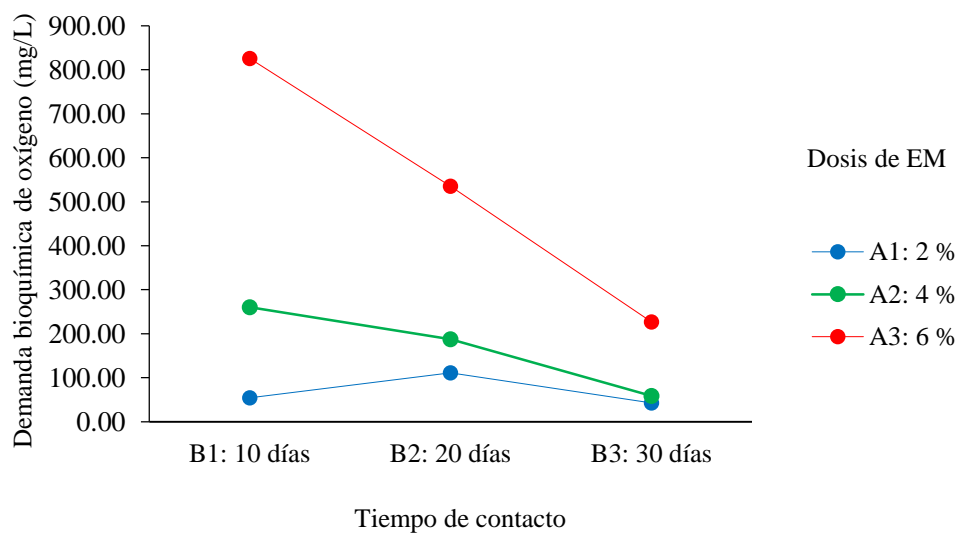
N°	Tiempo de contacto	Dosis de EM	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	Sig. $\alpha = 0,05$	Orden de mérito
1	B ₃ : 30 días	A ₃ : 6 %	227,20	a	1°
2	B ₁ : 20 días	A ₃ : 6 %	535,20	b	2°
3	B ₁ : 10 días	A ₃ : 6 %	825,95	c	3°

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

En la tabla 14 observamos que para el nivel A₃ (6 %) del factor dosis de EM, la menor demanda bioquímica de oxígeno se consiguió con el nivel B₃ (30 días), con 227,20 mg/L en promedio, diferenciándose estadísticamente de los niveles B₂ (20 días) y B₁ (10 días), con promedios de 535,20 y 825,95 mg/L, respectivamente.

Figura 7

Promedios de los efectos simples del factor tiempo de contacto con respecto a los niveles del factor dosis de EM en la variable demanda bioquímica de oxígeno



En la figura 7 podemos visualizar que la menor demanda bioquímica de oxígeno, para los distintos tiempos de contacto, se alcanzó con una menor dosis de EM, en el caso del presente estudio con una dosis de 2%.

4.2.3. Demanda química de oxígeno (DQO).

La tabla 15, del análisis de varianza para la variable demanda química de oxígeno, indica que se tienen diferencias altamente significativas para la interacción entre los factores A (dosis de EM-AGUA® Activado) y el factor B (tiempo de contacto). De igual forma, se hallaron diferencias altamente significativas para los efectos principales del factor A y del factor B, respectivamente. Por otro lado, se puede ver que existen diferencias altamente significativas para la comparación de los factores con el testigo.

El coeficiente de variabilidad hallado fue de 7,289 %, lo que nos muestra que los datos son homogéneos con relación a la media (Díaz y Rosado, 2019).

Tabla 15

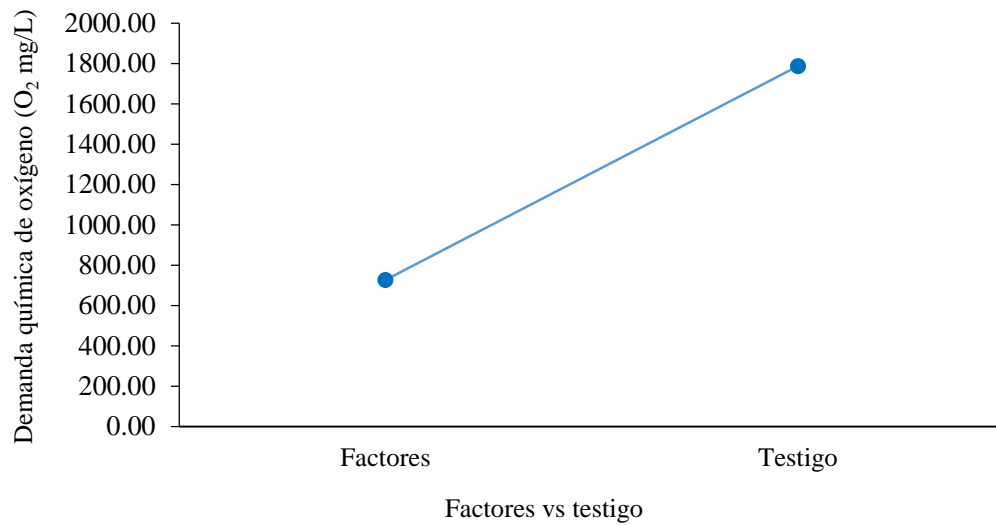
Análisis de varianza para la variable demanda química de oxígeno

FV	GL	SC	CM	FC	F t		Sig.
					0,05	0,01	
A (Dosis de EM)	2	3931086,111	1965543,056	532,228	4,260	8,020	**
B (Tiempo de contacto)	2	609488,528	304744,264	82,518	4,260	8,020	**
A x B	4	346846,722	86711,681	23,480	3,630	6,420	**
Factores vs testigo	1	2019513,089	2019513,089	546,842	5,120	10,560	**
Bloque	1	5985,800	5985,800	1,621	5,120	10,560	ns
E. E.	9	33237,450	3693,050				
Total	19	6946157,700					

Nota: C.V. = 7,289 %; ns = No significativo; ** = Altamente significativo

Figura 8

Promedios de los factores vs el testigo en la variable demanda química de oxígeno



La figura 8 nos muestra la comparación de los factores con el testigo, donde podemos observar que los factores en estudio presentan una menor demanda química bioquímica de oxígeno (DQO) que el testigo.

Tabla 16

Análisis de efectos simples en la variable demanda química de oxígeno

FV	GL	SC	CM	FC	F t		Sig.
					0,05	0,01	
A en B ₁	2	751764,000	375882,000	101,781	4,260	8,020	**
A en B ₂	2	2493673,583	1246836,792	337,617	4,260	8,020	**
A en B ₃	2	1032495,250	516247,625	139,789	4,260	8,020	**
B en A ₁	2	38030,583	19015,292	5,149	4,260	8,020	*
B en A ₂	2	214402,333	107201,167	29,028	4,260	8,020	**
B en A ₃	2	703902,333	351951,167	95,301	4,260	8,020	**
E. E.	9	33237,450	3693,050				

Nota: ns = No significativo; ** = Altamente significativo

En la tabla 16, del análisis de efectos simples para la variable demanda química de oxígeno, podemos ver que hay diferencias altamente significativas

para el factor A con respecto a cada nivel del factor B (B1, B2 y B3). Respecto al factor B para cada nivel del factor A, se muestran diferencias significativas para el nivel A1 y diferencias altamente significativas para los niveles A2 y A3.

Tabla 17

Prueba de significación de Tukey para los efectos simples del factor dosis de EM con respecto a cada nivel del factor tiempo de contacto en la variable demanda química de oxígeno

N°	Dosis de EM	Tiempo de contacto	Demanda química de oxígeno (O ₂ mg/L)	Sig. $\alpha = 0,05$	Orden de mérito
1	A ₂ : 4 %	B ₁ : 10 días	355,00	a	1°
2	A ₁ : 2 %	B ₁ : 10 días	397,00	a	1°
3	A ₃ : 6 %	B ₁ : 10 días	1126,00	b	2°
1	A ₁ : 2 %	B ₂ : 20 días	336,75	a	1°
2	A ₂ : 4 %	B ₂ : 20 días	756,50	b	2°
3	A ₃ : 6 %	B ₂ : 20 días	1865,00	c	3°
1	A ₁ : 2 %	B ₃ : 30 días	206,25	a	1°
2	A ₂ : 4 %	B ₃ : 30 días	356,00	a	1°
3	A ₃ : 6 %	B ₃ : 30 días	1151,50	b	2°

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

En la tabla 17, de la prueba de significación de Tukey, podemos ver que para el nivel B₁ (10 días) del factor tiempo de contacto, la menor demanda química de oxígeno, se alcanzó con los niveles A₂ (4 %) y A₁ (2 %), con promedios de 355,00 y 397,00 O₂ mg/L, respectivamente. Ambos niveles se diferenciaron estadísticamente del nivel A₃ (6 %) que logró un promedio de 1126,00 O₂ mg/L.

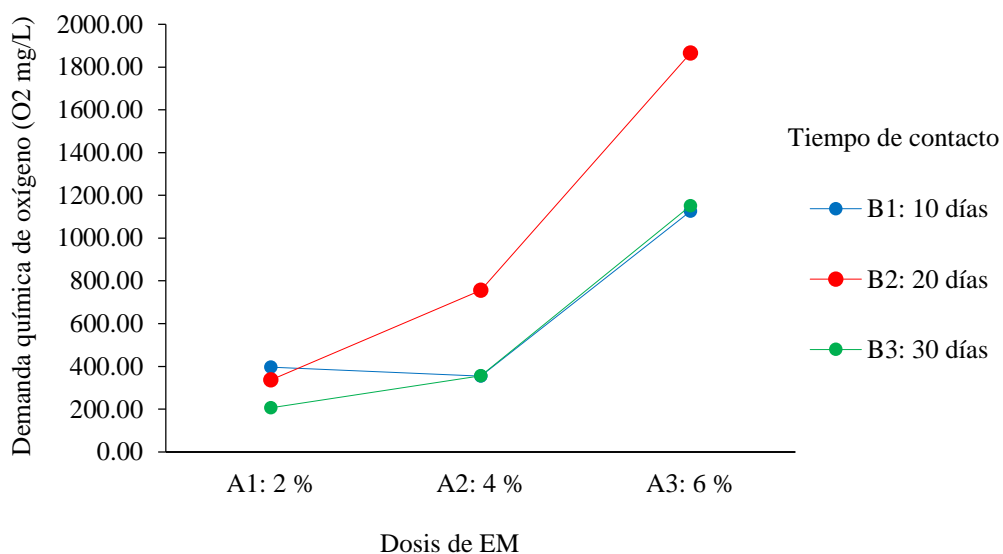
Por otro lado, se puede visualizar que para el nivel B₂ (20 días) del factor tiempo de contacto, la menor demanda bioquímica de oxígeno se consiguió con el nivel A₁ (2 %), con un promedio de 336,75 O₂ mg/L, diferenciándose

estadísticamente de los niveles A₂ (4 %) y A₃ (6 %), que alcanzaron promedios de 756,50 y 1865,00 O₂ mg/L, respectivamente.

Finalmente, para el nivel B₃ (30 días) del factor tiempo de contacto con respecto a los diferentes niveles del factor dosis de EM, observamos que la menor demanda bioquímica de oxígeno se alcanzó con los niveles A₁ (2 %) y A₂ (4 %), con promedios de 206,25 y 356,00 O₂ mg/L, respectivamente. Ambos niveles lograron diferenciarse estadísticamente del nivel A₃ (6 %) que obtuvo un promedio de 1151,50 O₂ mg/L.

Figura 9

Promedios de los efectos simples del factor dosis de EM con respecto a los niveles del factor promotor tiempo de contacto en la variable demanda química de oxígeno



En la figura 9 de los efectos simples del factor dosis de EM con respecto a los niveles del factor promotor tiempo de contacto, en la variable demanda química de oxígeno, podemos observar que la menor demanda química de oxígeno (DQO), para las distintas dosis de EM-AGUA® Activado, se alcanzó con un mayor tiempo de contacto, en este caso a los 30 días.

Tabla 18

Prueba de significación de Tukey para los efectos simples del factor tiempo de contacto con respecto a cada nivel del factor dosis de EM en la variable demanda química de oxígeno

N°	Tiempo de contacto	Dosis de EM	Demanda química de oxígeno (O ₂ mg/L)	Sig. $\alpha = 0,05$	Orden de mérito
1	B ₃ : 30 días	A ₁ : 2 %	206,25	a	1°
2	B ₂ : 20 días	A ₁ : 2 %	336,75	ab	2°
3	B ₁ : 10 días	A ₁ : 2 %	397,00	b	3°
1	B ₁ : 10 días	A ₂ : 4 %	355,00	a	1°
2	B ₃ : 30 días	A ₂ : 4 %	356,00	a	1°
3	B ₂ : 20 días	A ₂ : 4 %	756,50	b	2°
1	B ₁ : 10 días	A ₃ : 6 %	1126,00	a	1°
2	B ₃ : 30 días	A ₃ : 6 %	1151,50	a	1°
3	B ₂ : 20 días	A ₃ : 6 %	1865,00	b	2°

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

En la tabla 18, se puede ver que para el nivel A₁ (2 %) del factor dosis de EM-AGUA® Activado, la menor demanda bioquímica de oxígeno se alcanzó con el nivel B₃ (30 días), con 206,25 O₂ mg/L, diferenciándose estadísticamente del nivel B₁ (10 días) que consiguió un promedio de 397,00 O₂ mg/L.

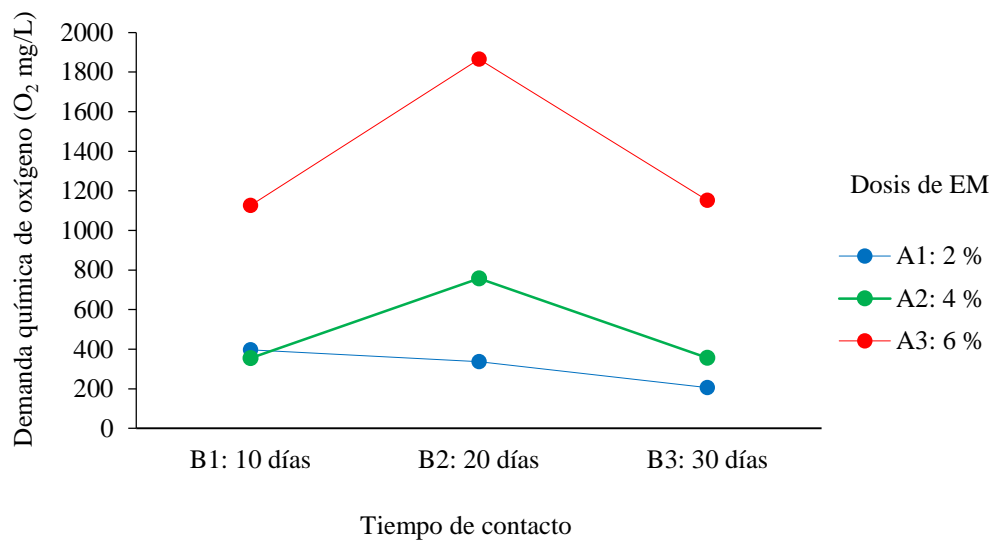
Por el contrario, para el nivel A₂ (4 %) del factor dosis de EM-AGUA® Activado, podemos ver que la menor demanda bioquímica de oxígeno se obtuvo con los niveles B₁ (10 días) y B₃ (30 días), con promedios de 355,00 y 356,00 O₂ mg/L, respectivamente. Ambos niveles lograron diferenciarse del nivel B₂ (20 días) que consiguió un promedio de 756,50 O₂ mg/L.

Para finalizar, notamos que para el nivel A₂ (4 %) del factor dosis de EM-AGUA® Activado, la menor demanda bioquímica de oxígeno se alcanzó con los

niveles B₁ (10 días) y B₃ (30 días), con promedios de 1126,00 y 1151,50 O₂ mg/L, respectivamente. Ambos niveles se diferenciaron del nivel B₂ (20 días), que obtuvo un promedio de 1865,00 O₂ mg/L.

Figura 10

Promedios de los efectos simples del factor tiempo de contacto con respecto a los niveles del factor dosis de EM en la variable demanda química de oxígeno



En la figura 10 observamos que la menor demanda química de oxígeno (DQO), para los distintos tiempos de contacto, se obtuvo con una menor dosis de EM (2%). Mientras que con la dosis de 6%, se encontraron los mayores promedios en la variable estudiada

4.2.4. pH.

En la tabla 19, para la variable pH, se puede ver que no hay interacción entre los factores A (dosis de EM-AGUA® Activado) y el factor B (tiempo de contacto). Por el contrario, para los efectos principales de los factores A y B, existen diferencias altamente significativas. De manera similar, se hallaron diferencias significativas para la comparación de los factores con el testigo.

El coeficiente de variabilidad fue de 7,336 %, lo que nos muestra que los datos son homogéneos con relación a la media (Díaz y Rosado, 2019).

Tabla 19

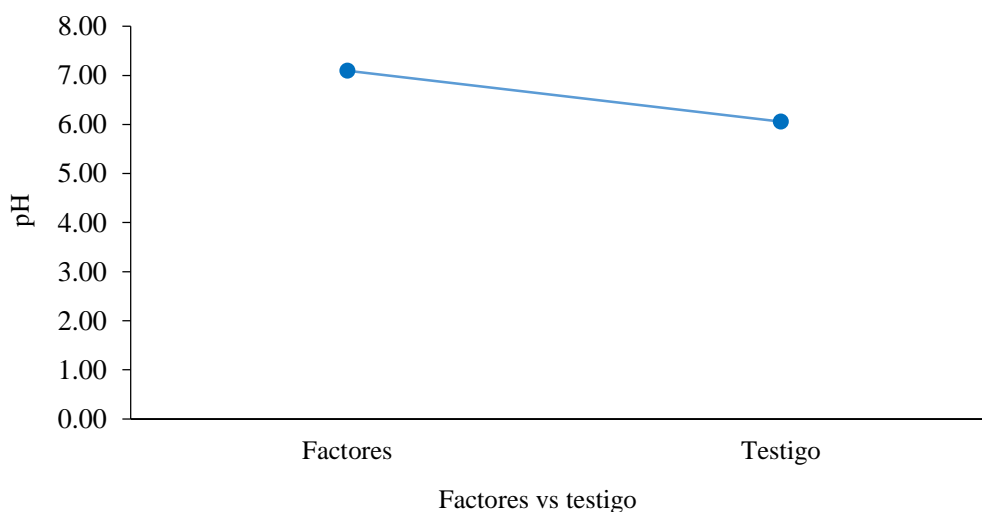
Análisis de varianza para la variable pH

FV	GL	SC	CM	FC	F t		Sig.
					0,05	0,01	
A (Dosis de EM)	2	4,695	2,347	8,932	4,260	8,020	**
B (Tiempo de contacto)	2	5,623	2,811	10,697	4,260	8,020	**
A x B	4	1,403	0,351	1,335	3,630	6,420	ns
Factores vs testigo	1	1,934	1,934	7,361	5,120	10,560	*
Bloque	1	0,042	0,042	0,161	5,120	10,560	ns
E. E.	9	2,365	0,263				
Total	19	16,063					

Nota: C.V. = 7,336 %; ns = No significativo; * = Significativo** = Altamente significativo

Figura 11

Promedios de los factores vs el testigo en la variable pH



En la figura 11 donde se expone la comparación de los factores en estudio con el testigo de referencia, se puede observar que los factores alcanzaron mayores promedios de pH que el testigo.

Tabla 20

Prueba de significación de Tukey para los efectos principales del factor dosis de EM en la variable pH

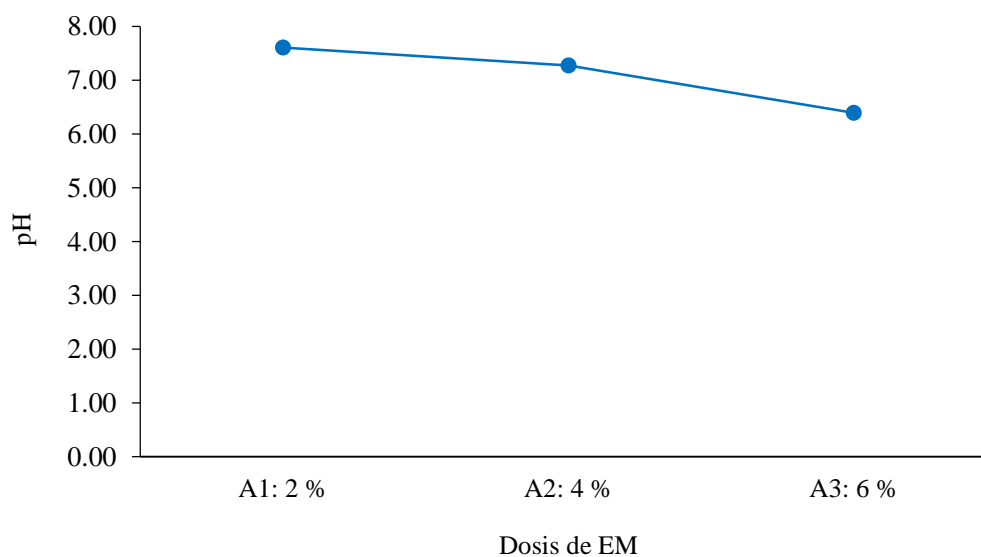
N°	Dosis de EM	pH	Sig. $\alpha = 0,05$	Orden de mérito
1	A ₁ : 2 %	7,61	a	1°
2	A ₂ : 4 %	7,28	a	1°
3	A ₃ : 6 %	6,40	b	2°

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

En la tabla 20 se observa que los niveles A₁ (2 %) y A₂ (4 %), alcanzaron mayores valores en la variable pH con 7,61 y 7,28, respectivamente. Además, ambos niveles se lograron diferenciarse estadísticamente del nivel A₃ (6 %), que obtuvo un promedio de pH 6,40.

Figura 12

Promedios de los efectos principales del factor dosis de EM-AGUA® Activado en la variable pH



En la figura 12 de los efectos principales del factor A (dosis de EM), observamos que las dosis más bajas (2% y 4%) alcanzaron valores de pH cercanos al neutro.

La tabla 21, nos muestra que los niveles B₃ (30 días) y B₂ (20 días), alcanzaron los mayores promedios en la variable pH con 7,51 y 7,47 respectivamente, diferenciándose del nivel B₁ (10 días), que alcanzó un pH promedio de 6,30.

Tabla 21

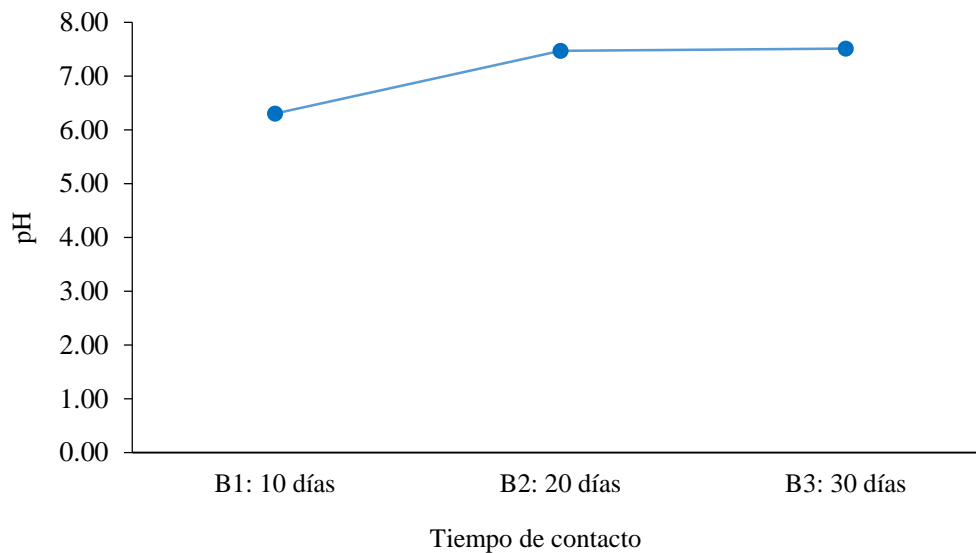
Prueba de significación de Tukey para los efectos principales del factor tiempo de contacto en la variable pH

Nº	Tiempo de contacto	pH	Sig. $\alpha = 0,05$	Orden de mérito
1	B ₃ : 30 días	7,51	a	1º
2	B ₂ : 20 días	7,47	a	1º
3	B ₁ : 10 días	6,30	b	2º

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Figura 13

Promedios de los efectos principales del factor tiempo de contacto en la variable pH



La figura 13 de los efectos principales del factor B, nos muestra que con los mayores tiempos de contacto (20 y 30 días) se obtienen valores de pH en el rango de neutro.

4.2.5. Coliformes termotolerantes.

La tabla 22, del análisis de varianza para coliformes termotolerantes, nos señala que no se presenta interacción entre los factores A (dosis de EM-AGUA® Activado) y el factor B (tiempo de contacto). No obstante, se hallaron diferencias altamente significativas para los efectos principales de los factores A y B, respectivamente. De la misma manera, se hallaron diferencias altamente significativas para la comparación de los factores con el testigo.

El coeficiente de variabilidad fue de 19,955 %, lo que nos indica que los datos son homogéneos con relación a la media (Díaz y Rosado, 2019).

Tabla 22

Análisis de varianza para la variable coliformes termotolerantes

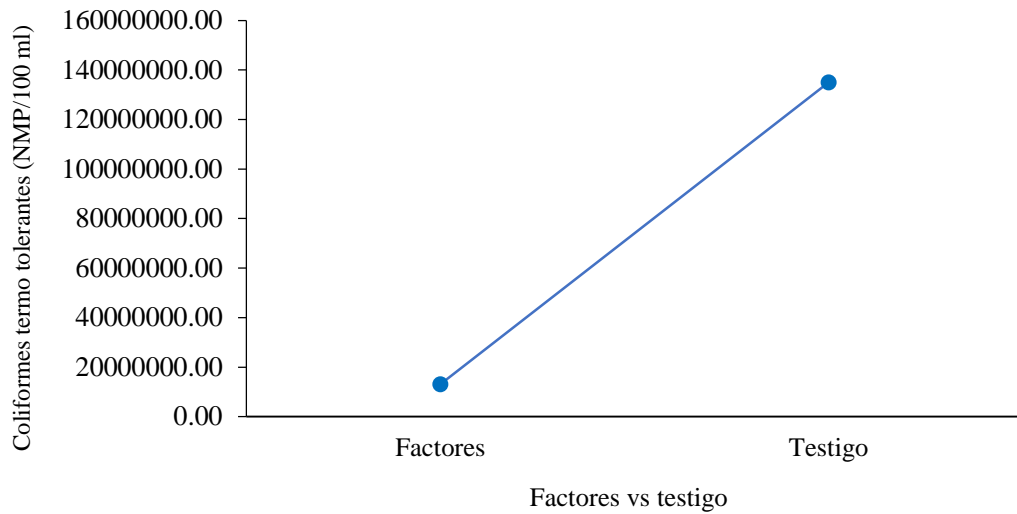
FV	GL	SC	CM	FC	F t		Sig.
					0,05	0,01	
A (Dosis de EM)	2	20,628	10,314	9,006	4,260	8,020	**
B (Tiempo de contacto)	2	25,374	12,687	11,078	4,260	8,020	**
A x B	4	4,603	1,151	1,005	3,630	6,420	ns
Factores vs testigo	1	17,019	17,019	14,862	5,120	10,560	**
Bloque	1	2,605	2,605	2,275	5,120	10,560	ns
E. E.	9	10,307	1,145				
Total	19	80,536					

Nota: C.V. = 19,955 %; ns = No significativo; * = Significativo** = Altamente significativo

La figura 14 nos señala la comparación de los factores con el testigo, donde observamos que los factores en estudio alcanzaron menores concertaciones de coliformes termotolerantes que el testigo de referencia.

Figura 14

Promedios de los factores vs el testigo en la variable coliformes termotolerantes



En la tabla 23 se observa que el nivel A₁ (2 %), alcanzó el menor valor de coliformes termotolerantes un promedio de 124 733,67 NMP/100 ml, diferenciándose del nivel A₃ (6 %), que obtuvo un promedio de 38 995 500,00 NMP/100 ml.

Tabla 23

Prueba de significación de Tukey para los efectos principales del factor dosis de EM-AGUA® Activado en la variable coliformes termotolerantes

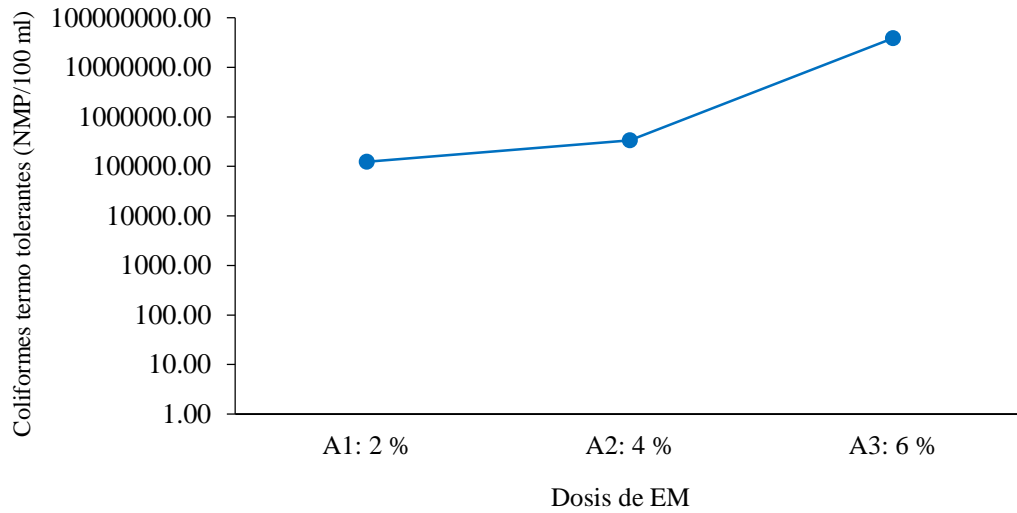
Nº	Dosis de EM	Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	Sig. $\alpha = 0,05$	Orden de mérito
1	A1: 2 %	124 733,67	a	1º
2	A2: 4 %	336 679,83	ab	2º
3	A3: 6 %	38 995 500,00	b	3º

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

La figura 15 de los efectos principales del factor A (dosis de EM), nos indica que con menores dosis (2 % y 4 %) se logran menores concentraciones de coliformes termotolerantes.

Figura 15

Medias de los efectos principales del factor dosis de EM-AGUA® Activado en la variable coliformes termotolerantes



La tabla 24, nos muestra que el nivel B₃ (30 días) logró el menor promedio en la variable coliformes termotolerantes 49 663,50 NMP/100 ml, diferenciándose de los niveles B₂ (20 días) y B₁ (10 días), que alcanzaron promedios de 5 818 333,33 y 33 588 916,67 NMP/100 ml, respectivamente.

Tabla 24

Prueba de significación de Tukey para los efectos principales del factor tiempo de contacto en la variable coliformes termotolerantes

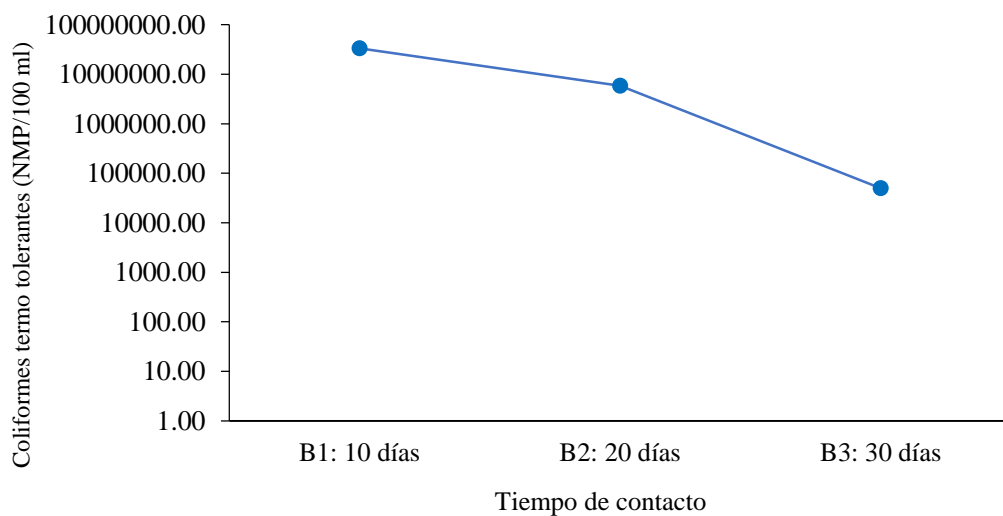
N°	Tiempo de contacto	Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	Sig. $\alpha = 0,05$	Orden de mérito
1	B ₃ : 30 días	49 663,50	a	1°
2	B ₂ : 20 días	5 818 333,33	b	2°
3	B ₁ : 10 días	33 588 916,67	b	2°

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

La figura 16 de los efectos principales del factor B, nos muestra que con los mayores tiempos de contacto (20 y 30 días) se obtienen concentraciones menores de coliformes termotolerantes.

Figura 16

Medias de los efectos principales del factor tiempo de contacto en la variable coliformes termotolerantes



4.3. Contrastación de hipótesis

En la variable demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), a nivel de significación del 1 %, se concluye que es altamente significativo para el efecto principal de dosis de microorganismos eficaces EM (Factor A) donde F_c alcanzó 62,75 mientras $F_{t0,01}$ (2-9) alcanza 8,02. También para el efecto principal tiempo de exposición (Factor B) donde F_c alcanza un valor de 20,03 respecto a $F_{t0,01}$ (2-9) = 8,02. Y, para la interacción (A x B) donde F_c alcanza un valor de 8,09, respecto a $F_{t0,01}$ (4-9) que alcanza 6,42. Por lo cual, corresponde rechazar la hipótesis nula. De igual manera, a un nivel de significación de 5 %, encontramos que existen efectos significativos entre los factores y el testigo con F_c de 9,99 respecto

Ft0,05 (1-9) que es 8,02; por lo que igualmente se rechaza la hipótesis nula; asumiendo que existe interacción entre factores.

En la variable demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), a nivel de significación del 1 %, se concluye que es altamente significativo para el efecto principal de dosis de microorganismos eficaces EM (Factor A) donde Fc alcanzó 62,75 mientras Ft0,01 (2-9) alcanza 8,02. También para el efecto principal tiempo de exposición (Factor B) donde Fc alcanza un valor de 20,03 respecto a Ft0,01 (2-9) = 8,02. Y, para la interacción (A x B) donde Fc alcanza un valor de 8,09, respecto a Ft0,01 (4-9) que alcanza 6,42. Por lo cual, corresponde rechazar la hipótesis nula. De igual manera, a un nivel de significación de 5 %, encontramos que existen efectos significativos entre los factores y el testigo con Fc de 9,99 respecto Ft0,05 (1-9) que es 8,02; por lo que igualmente se procede a rechazar la hipótesis nula; asumiendo que existe interacción entre factores.

Para la variable demanda química de oxígeno (DQO) encontramos con un nivel de significación de 1 %, diferencias altamente significativas para el efecto principal de dosis de EM (Factor A) donde Fc alcanzó 532,23 frente a Ft0,01 (2-9) alcanza 8,02; y del factor B (tiempo de exposición) con un Fc de 82,52 frente a Ft0,01 (2-9) = 8,02; ocurriendo lo mismo a nivel de interacción (A x B) donde Fc alcanzó 23,48, respecto a Ft0,01 (4-9) cuyo valor es de 6,42; en todos los casos corresponde rechazar la hipótesis nula, aceptando que si existen diferencias significativas entre los promedios de los factores, y que si existe interacción entre los factores.

En la variable pH encontramos que, a un nivel de significación de 0,01, existen diferencias altamente significativas para los efectos principales de los factores A y B en que F_c alcanzó 8,932 y 10,697 frente a $F_{t0,01}$ (2-9) que es 8,02; por lo cual se rechaza la hipótesis nula dado que alguno de los niveles de los factores, es estadísticamente diferente a los demás. No obstante, a nivel de interacción entre factores no se encuentran diferencias estadísticas significativas dado que F_c (1,335) valor inferior a $F_{t0,05}$ (2-9) de 4,26; por lo cual, se debe aceptar la hipótesis nula, reconociendo que no existe interacción entre los factores.

En el análisis de varianza de la variable coliformes termotolerantes, hallamos que no existen diferencias significativas a nivel de la interacción entre los factores, dado que F_c alcanzó un valor de 1 que es inferior a $F_{t0,05}$ (4-9) con 3,63; por lo cual se debe aceptar la hipótesis nula. Por otra parte, sí se hallaron diferencias altamente significativas en los efectos principales de los factores; donde F_c para el factor A (Dosis EM) fue de 9 y del factor B (Tiempo de contacto) fue de 11,07, ambos, superior al valor de $F_{t0,01}$ (2-9) de 8,02, correspondiendo en este caso rechazar la hipótesis nula aceptando que se dieron efectos diferentes entre los niveles de los factores. Igualmente hallamos diferencias altamente significativas cuando se comparan los factores con el testigo (T_c : 14,86 > $F_{t0,01}$ (2-9): 10,56

4.4. Discusión de resultados

En la variable demanda bioquímica de oxígeno, el experimento permitió demostrar que existe efecto significativo cuando se utilizan 10 días de tratamiento

(B1) la menor demanda bioquímica de oxígeno ocurre cuando se utilizan 2 % de microorganismos eficaces-EM (A1: 54,30 mg l⁻¹); respecto a 260,45 y 825,95 mg l⁻¹, en las dosis 4 y 6 %. Similarmente ocurre, al realizar el tratamiento por 20 días donde las dosis más bajas de microorganismos eficaces (2 y 4 %), muestran una menor demanda bioquímica de oxígeno, respecto a la dosis de 6 %. Estos resultados demostrarían que a mayor dosis de EM, mayor es la demanda bioquímica de oxígeno, lo que coincide con lo demostrado por Delgado (2019) quien, igualmente reporta un incremento de la DBO cuando se incrementa la dosis de EM. Por otra parte, vemos que utilizando la dosis más elevada (6 %) la menor DBO se da, cuando existe un mayor tiempo de contacto (B3: 30 días)

En la variable demanda química de oxígeno (DQO) encontramos que al nivel de contacto de 10 días (B1) ocurre una menor demanda química de oxígeno, cuando se utiliza una dosis de 4 y 2 % de EM (355 y 397 O₂ mg l⁻¹), menor estadísticamente que cuando se utiliza al 6 % (1126 O₂ mg l⁻¹). De igual modo cuando la exposición es de 20 días (B2), la menor DQO se obtuvo con la dosis de 2 % (336,75 mg l⁻¹ de O₂) diferente estadísticamente de la dosis de 4 % (756,5 mg l⁻¹) y 6 % (1865 O₂ mg l⁻¹) Así mismo, cuando se expone la muestra durante 30 día (B3) observamos una menor DQO cuando se utiliza la dosis de 2 % y 4 %, (206,25 y 356,00 O₂ mg l⁻¹, respectivamente) diferentes estadísticamente, para cuando se utiliza la dosis de 6 % (1151,50 O₂ mg l⁻¹). Se aprecia en estos resultados que la mayor dosis de microorganismos eficaces (EM) está asociada a una mayor demanda química de oxígeno (DQO). Estos resultados, serían consecuencia de la mayor población microbiana en todos los casos y coincide con la afirmación de (Llontop, 2018, p. 36) que, a mayor población microbiana, mayor

podría ser la biodegradabilidad; por ende, mayor consumo de oxígeno: En la mayoría de los casos, excepto con la combinación dosis de 6 % y 20 días de contacto (A3-B2) la demanda química de oxígeno, es muy por debajo de la DQO del testigo que en promedio fue de 1787 mg l⁻¹ de O₂. La relación de DQO/DBO se expresa en su mayoría con una proporción (DQOa2b1/DBOa2b1: 1,4; DQOa1b1/DBOa1b1: 7,3; DQOa3b1/DBOa3b1: 1,4; DQOa1b2/DBOa1b2: 3; DQOa2b2/DBOa2b2: 4, DQOa3b2/DBOa3b2: 3,5; etc.) no cumpliéndose la propuesta de Romero (2008), citado por Delgado (2019, p. 69), quien afirma que la relación entre DBO y DQO es de 1 a 2.

En la variable pH observamos que en el factor A (dosis EM) con las dosis 2 y 4 % se obtuvo niveles de pH (7,61 y 7,28) superior a la dosis de 6 % en que se logró un pH de 6,4; lo que demostraría que, a mayor dosis de EM, se incrementa la acidez del sustrato cuyo pH se acerca al del testigo con 6,05. Por otro lado, hallamos en factor B (Tiempo de exposición) que con 30 y 20 días de exposición se presentó un pH de 7,51 y 7,47 respectivamente, diferentes estadísticamente del tiempo de 10 días que obtuvo un pH de 6,3., similar al del testigo que alcanzó un pH de 6,05.

La prueba de significación de Tukey para la variable coliformes termotolerantes, mostró que en el factor A (tabla 18), cuando se usa la dosis de 2 % EM se obtiene el menor valor de coliformes, con una concentración de 124 733,67 NMP 100 ml⁻¹; estadísticamente inferior a la dosis de 4 % (336 679,83 NMP 100 ml⁻¹), que a la vez se diferencia de la dosis de 6 % donde se encontró la mayor concentración de coliformes alcanzando 38 995 500 NMP 100 ml⁻¹. Por otra parte, en el factor B encontramos que al utilizar el mayor tiempo de contacto

(30 días) se tiene la más baja concentración de coliformes 49 663,50 NMP 100 ml⁻¹ inferior estadísticamente a los niveles de 20 y 110 días, en que se encontró concentraciones de 5 818 333,33 y 33 588 916,67 NMP 100 ml⁻¹, respectivamente. En todos los casos (Tratamientos) se encuentra menores concentraciones de coliformes termo tolerantes respecto al testigo que alcanzó en promedio 135 000 000 NMP 100 ml⁻¹.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Primera. Se determinó que la utilización de microorganismos eficaces tiene un efecto favorable en el tratamiento de aguas residuales domésticas, obteniendo mejores resultados que el testigo de referencia en las variables temperatura, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), pH y coliformes termotolerantes.

Segunda. Se identificó que la dosis óptima de microorganismos eficaces para el tratamiento de aguas residuales domésticas es al 2 %, obteniendo con esta concentración la menor demanda bioquímica de oxígeno (DBQ), en todos tiempos de contacto (10, 20 y 30 días), aumentado este parámetro conforme se incremente la dosis y tiempo de exposición; similarmente ocurre con la demanda química de oxígeno (DQO). Así mismo el pH se mantiene neutral con la dosis más baja (2 %), acidificándose conforme se va incrementado la dosis. La concentración de coliformes termotolerantes también fue menor con la dosis del 2 %.

Tercera. Se estableció que el tiempo de contacto óptimo para que los microorganismos eficaces tengan un mejor efecto en el tratamiento de aguas residuales, es de 30 días, de este modo se encontró la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) disminuye conforme se incrementa el tiempo de contacto. Así mismo, la concentración de coliformes termotolerantes fue menor cuando se trabajó con tiempo de contacto de 30 días.

Cuarta. Se determinó que existe una interacción favorable entre los factores en estudio (dosis y tiempo de contacto), encontrando la menor demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO), con la dosis de 2 % de microorganismos eficaces - EM-AGUA® Activado (A1) y con un tiempo de contacto de 30 días. En cuanto al pH no hubo interacción entre factores; así mismo ocurrió en el caso de la concentración de coliformes termotolerantes.

5.2. Recomendaciones

Primera. Desarrollar ensayo en macro, para confirmar los resultados del presente trabajo de investigación, considerando la condición física química del sustrato y tomando en cuenta sistemas de agitación.

Segunda. Desarrollar ensayo en macro, para confirmar las dosis de EM-AGUA® Activado que lograron mejores resultados en el presente estudio, considerando la condición física química del sustrato.

Tercera. Considerar ensayos futuros con los mismos u otros tiempos de contacto del tratamiento, pero utilizando sistemas de agitación.

Cuarta. Evaluar indicadores de interacción de los factores, considerando en ensayos de mayor dimensión y métodos de agitación del sustrato.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agreda, K. (2015). *Evaluación de la efectividad de microorganismos eficaces en las propiedades físico químicas del agua residual de la planta de tratamiento, a nivel laboratorio, Ilo 2014* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Moquegua, Moquegua, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/15>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2009). *Manual práctico de uso de EM*. Uruguay. Recuperado de https://www.emuruguay.org/images/Manual_Practico_Uso_EM_OISCA_BID.pdf
- Banco Mundial. (2020). *El agua residual puede generar beneficios para la gente, el medioambiente y las economías, según el Banco Mundial*. Recuperado de <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/03/19/wastewater-a-resource-that-can-pay-dividends-for-people-the-environment-and-economies-says-world-bank>
- BIOEM. (s.f.a). *EM Agua®*. Recuperado de <http://www.bioem.com.pe/emagua.html>
- BIOEM. (s.f.b). *Tecnología EM®*. Recuperado de <http://www.bioem.com.pe/tecnologiaem.html>
- Canales, H. y Sevilla, A. (2017). *Evaluación del uso de microorganismos eficaces en el tratamiento de efluentes domésticos residuales del distrito de Patapo*. 2017 (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lima, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/1092>

- Cardona, J. y García, L. (2008). *Evaluación del efecto de los microorganismos eficaces (EM®) sobre la calidad de un agua residual doméstica*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/8207>
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. y Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia: Centro andino para la gestión y uso del agua (Centro AGUA). Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>
- Delgado, J. (2019). *Influencia de los microorganismos eficaces (Em agua) en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente del bioreactor en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Concepción-2018*. (Tesis de pregrado). Universidad Continental, Huancayo, Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/7027>
- Déniz, F. (2010). *Análisis estadístico de los parámetros DQO, DBO₅ y SS de las aguas residuales urbanas en el ensuciamiento de las membranas de ósmosis inversa* (Tesis doctoral). Universidad Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, España. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=89102>
- De Miguel, E. (2004). Las aguas residuales: normativas. En J. Fernández González (coord.), *Manual de fitodepuración: filtros de macrófitas en flotación*. España: EDITA. Recuperado de <http://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos%20Manual/Cap%EDtulos%201%20a%202.pdf>

- Díaz, L. y Rosado, J. (2019). *Tratamiento estadístico de datos con aplicaciones en R*. Colombia: Universidad de La Guajira.
- Espinoza, M. y Zambrano, S. (2019). *Eficiencia de microorganismos (Saccharomyces sp, Lactobacillus spp, Rhodospseudomona spp) en el tratamiento de aguas residuales de la ESPAM MFL* (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1215>
- Gobierno Regional Moquegua. (2017). *Informe anual del Gobierno Regional de Moquegua*. Moquegua, Perú. Recuperado de <http://www.regionmoquegua.gob.pe/wp-content/uploads/transparencia/PlaneamientoyOrganizacion/2017/INFORME%20ANUAL%20GRM%20-%202017%20-%20FINAL.pdf>
- Google. (2021). *US dept of State Geographer Data* SIO, NOAA, US, https://googleearth.gosur.com/?gclid=EAiaIQobChMIpuyqu6SJ8QIVsMmUCR0s3A59EAAYASAAEgLLP_D_BwE&ll=-16.169175707960008,-70.90919977203697&z=6.2853108354564196&t=satellite.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (3ª ed). México D.F., México: McGRAW-HILL/Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Huarhua, T. (2019). *Efecto de microorganismos en el tratamiento de aguas residuales domésticas en Urubamba, Cusco 2018* (Tesis de maestría). Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua, Perú. Recuperado de <http://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/ujcm/702>

- Llontop, E. (2018). *Influencia de los niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de las aguas residuales crudas con la cantidad de energía eléctrica utilizando celdas de combustible microbiana* (Tesis de pregrado) Universidad nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12893/2130>
- Lozada, J. (2014). Investigación aplicada: definición, propiedad intelectual e industria. *CienciAmérica*, 3(1), 47-50. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>
- Ministerio del Ambiente. (2009). *Manual para municipios ecoeficientes*. Lima, Perú: ENOTRIA S.A. Recuperado de http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/manual_para_municipios_ecoeficientes.pdf
- Ministerio de Agricultura. (2010). *Decreto Supremo N° 001-2010-AG: Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338)*. Diario Oficial El Peruano, 24 de marzo, 27(10937): 416022-416052. Recuperado de <https://elperuano.pe/NormasElperuano/2010/03/24/472561-3.html>
- Noyola, A., Morgan-Sagastume, J. y Güereca, L. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales: guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas*. México: Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/287975365_Seleccion_de_Tecnologias_para_el_Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Municipales_guia_de_apoyo_para_ciudades_pequenas_y_medianas

- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. Lima, Perú. Recuperado de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Sánchez, M. (2014). *Evaluación de la capacidad de depuración de microorganismos eficaces en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Moyobamba - 2014* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín, San Martín, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2382>
- Valdez, A. (2016). *Aplicación de microorganismos eficaces (EM) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en la localidad de Chucuito* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4085>
- Vásquez, V. (2014). *Diseños experimentales con SAS*. CONCYTEC. Lima, Perú.