

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de ingeniería ambiental



Una Institución Adventista

Eficiencia de microorganismos de montaña en la remoción de contaminantes de las aguas mieles del café en la organización CECANOR, Nueva Alianza, Moyobamba

Tesis para obtener el Título Profesional de ingeniero ambiental

Autor:

Alexander Goycochea Flores

Asesor:

Mtro. Carmelino Almestar Villegas

Tarapoto, noviembre de 2021

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Yo, Mtro. Carmelino Almestar Villegas, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Eficiencia de microorganismos de montaña en la remoción de contaminantes de las aguas mieles del café en la organización CECANOR, Nueva Alianza, Moyobamba”** constituye la memoria que presenta el (la) / los Bachiller(es) Alexander Goycochea Flores para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

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

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Morales, a los 22 días del mes de diciembre del año 2021



Carmelino Almestar Villegas

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En San Martín, Tarapoto, Morales, a. 26 día(s) del mes de noviembre del año 20.21. siendo las 11:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Tarapoto, bajo la dirección del (de la) presidente(a): Mg. Andres Gonzales Lopez, el (la) secretario(a): Mtra. Jhon Patrick Rios Bartra y los demás miembros: Mtra. Kátherin Jina Luz Pinedo Gomez y el (la) asesor(a) Mtro. Carmelino Almestar Villegas

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Eficiencia de microorganismos de montaña en la remoción de contaminantes de las aguas mieles del café en la organización CECANOR, Nueva Alianza, Moyobamba.

del(los) bachiller(es): a) Alexander Goycochea Flores

b).....

c).....

conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniero Ambiental

(Denominación del Título Profesional)

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

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

Bachiller-(a): Alexander Goycochea Flores.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	14	C	Aceptable	Bueno

Bachiller -(b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado				

Bachiller -(c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

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

Presidente/a



Secretario/a

Asesor/a

Miembro

Miembro

Bachiller (a)

Bachiller (b)

Bachiller (c)

Resumen

La investigación tuvo por objetivo evaluar la eficiencia de microorganismos de montaña (MM) en la remoción de contaminantes del agua residual del beneficio húmedo del café. Se utilizó un diseño experimental con tres tratamientos (0, 10, 20 mL/L) y tres repeticiones. A cada una de las nueve unidades experimentales se adicionó 5 L de agua residual, luego se agregó los MM activados, según el tratamiento. Los parámetros del agua residual que se midieron fueron pH, temperatura, SST, DBO, DQO, P-total y N-total; los cuales fueron analizados al inicio y al final del ensayo, el cual tuvo una duración de 7 días. La mayor eficiencia de remoción de la DBO se obtuvo con la dosis de MM de 10 mL/L, siendo esta de 65.02%. Por otro lado, las eficiencias de remoción de la DQO, fósforo total, nitrógeno total y SST fueron mayores con la dosis de 20 mL/L, siendo respectivamente 71.30%, 55.84%, 58.01 y 45.08%. Al realizar la prueba de hipótesis, no se encontró diferencia significativa entre las dosis de microorganismos de montaña. Siendo que la biorremediación de aguas residuales, es una tecnología ambientalmente sostenible, se debe proponer como alternativa de tratamiento de las aguas del beneficio húmedo del café, para reducir la carga contaminante, ya que, al descargarla sin tratamiento previo, impacta negativamente a la fauna acuática de los cuerpos hídricos superficiales.

Palabras clave: Microorganismos de montaña, Aguas mieles, Demanda bioquímica de oxígeno, Nitratos

Abstract

The objective of the research was to evaluate the efficiency of mountain microorganisms (MM) in the removal of pollutants from the residual water of the wet coffee mill. An experimental design with three treatments (0, 10, 20 mL / L) and three repetitions was used. To each of the nine experimental units, 5 L of residual water was added, then the activated MM were added, according to the treatment. The residual water parameters that were measured were pH, temperature, SST, BOD, COD, P-total and N-total; which were analyzed at the beginning and at the end of the trial, which lasted 7 days. The highest BOD removal efficiency was obtained with the MM dose of 10 mL / L, this being 65.02%. On the other hand, the removal efficiencies of COD, total phosphorus, total nitrogen and TSS were higher with the dose of 20 mL / L, being respectively 71.30%, 55.84%, 58.01 and 45.08%. When performing the hypothesis test, no significant difference was found between the doses of mountain microorganisms. Since the bioremediation of wastewater is an environmentally sustainable technology, it should be proposed as an alternative for treating the water from the wet mill of coffee, to reduce the pollutant load, since, when discharging it without previous treatment, it negatively impacts the fauna aquatic conditions of surface water bodies.

Keywords: Mountain microorganisms, Honey waters, Biochemical oxygen demand, Nitrates

Introducción

Las aguas pueden contener sustancias que pueden ser dañinas para la salud humana, por ello es necesario depurarlas antes de reutilizarlas o descargarlas a cuerpos hídricos (Amoah *et al.*, 2018).

De acuerdo con (Abdel-Shafy, Mansour and Al-Sulaiman, 2019) dos factores importantes para el tratamiento biológico de las aguas residuales son el tiempo de aireación y la dosis de microorganismos eficientes; por ello es indispensable considerarlos antes de iniciar el tratamiento.

De acuerdo con (Thangavelu *et al.*, 2020), el uso de microorganismos para descontaminar las aguas residuales, es una tecnología ecológicamente sustentable. Asimismo, (Gómez-Guzmán *et al.*, 2017), destacan el uso de microorganismos para la remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales, sobre todo cuando actúan en consorcio, de este modo se aumenta su capacidad para remover los contaminantes del agua residual; como es el caso de los microorganismos eficientes.

Para Luan *et al.* (2021), los procesos biológicos son eficientes para el tratamiento de aguas residuales, sin embargo, algunas desventajas de este proceso son el alto costo y el mantenimiento complicado de los sistemas de tratamiento.

De acuerdo con (Mora-Ravelo *et al.*, 2017), el reúso de las aguas residuales como fuentes para el riego en la agricultura, debe implicar primero el uso de técnicas de biorremediación como el uso de microorganismos, para reducir la carga de contaminantes del agua residual.

El objetivo del estudio fue analizar la eficiencia de microorganismos de montaña en la descomposición de los contaminantes de las aguas mieles del beneficio húmedo del café.

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se realizó en el distrito de Moyobamba, provincia del mismo nombre, región San Martín. Las coordenadas del área de estudio son 0332237 (E) y 9289811 (N) y una altitud de 864 msnm. La precipitación y temperatura promedio anual son respectivamente 1300 mm y 25°C. Asimismo, la zona de vida corresponde a un bosque húmedo pre-montano tropical.

Métodos

La población está constituida por el agua residual que se genera en el beneficio húmedo del café cereza en la empresa CECANOR. El diseño experimental fue completamente al azar con tres tratamientos (0, 10 y 20 mL/L) y tres repeticiones, con un total de 9 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo conformada por un recipiente rectangular de vidrio de 35 cm x 17 cm x 12 cm. Se adicionó 5 L de agua residual a cada recipiente, luego se agregó los MM activado, según el tratamiento. Los parámetros que se analizaron fueron pH, temperatura, DBO, DQO, fósforo total, nitrógeno total y SST, los cuales se analizaron al inicio y al final del ensayo, el cual tuvo una duración de 7 días.

Resultados

Caracterización de las aguas mieles antes del tratamiento

La tabla 1 muestra los valores de los contaminantes de las aguas mieles, antes de la aplicación de microorganismos. Se observa que los parámetros pH, DBO, DQO y SST, no cumplen los límites máximos permisibles de Resolución 631 de 2015, Colombia, LPM de aguas mieles. Se obtuvo un pH ácido (3.07); asimismo la DBO fue 4.6 veces superior al estándar, mientras que la DQO fue 50 veces superior a este valor. Por otro lado, la relación DQO/DBO fue 1.78, este indicador muestra que esta agua residual es biodegradable; por lo cual se procedió con la aplicación de MM para la descontaminación. Asimismo, en la tabla 2, se muestra los valores de los parámetros del agua residual después de la aplicación de MM. La dosis de 10 mL/L redujo mayor cantidad de DBO, fósforo total y nitrógeno total; por otro lado, la dosis de 20 mL/L removió mayor cantidad de DQO y SST; sin embargo, no se cumplió los LMP de la Resolución colombiana 631 de 2015.

Análisis de varianza de la remoción de contaminantes

Desde la tabla 3 hasta la tabla 9, se muestra el análisis de varianza de los parámetros evaluados, para los cuales se encontró valores superiores a 0.05, indicando con ello que no hay diferencia significativa entre las dosis de MM aplicadas a las aguas mieles del beneficio húmedo del café cereza; por ello no se aplicó la prueba Tukey.

Eficiencias de remoción de contaminantes, según dosis de MM

La mayor eficiencia de remoción de la DBO se obtuvo con la dosis de 10 mL/L, siendo esta de 65.02%, como se muestra en la figura 1. Por otro lado, las eficiencias de remoción de la DQO, fósforo total, nitrógeno total y SST fueron mayores con la dosis de 20 mL/L, siendo respectivamente 71.30%, 55.84%, 58.01 y 45.08%, como se muestra en las figuras 2, 3, 4 y 5. En el presente estudio se encontró mayor eficiencia de remoción de la DBO con la dosis de 10 mL/L, con lo cual se logró reducir la carga orgánica del agua residual proveniente del beneficio húmedo del café.

Discusión

En el estudio, se encontró que el pH se redujo desde 3.07 a 2.44; esto se debe a la descomposición de la materia orgánica por los microorganismos de montaña, convirtiendo las macromoléculas en compuestos ácidos. De otro lado, la temperatura se redujo ligeramente desde 20.80°C a 20.27°C; aunque dentro del rango de operación del tratamiento biológico aerobio, ya que, este se desarrolla en la fase mesofílica con una temperatura menor a 31°C (Alisawi, 2020).

Por otro lado, la DBO y la DQO se redujeron respectivamente desde 18390 a 17980 mg/L y desde 32784.00 a 31279.33 mg/L; este comportamiento de tales parámetros se debe a que los microorganismos utilizan la materia orgánica en forma de carbohidratos, proteínas y lípidos para convertirlos en biomasa y en compuestos más estables como CO₂ y H₂O.

Asimismo, el fósforo total aumentó desde 0.56 a 35.73 mg/L; este aumento se debe a la degradación metabólica de las proteínas mediada por los microorganismos de montaña (Gomes, 2012). También la concentración de nitrógeno total aumentó desde <0.12 a 39.80 mg/L; este comportamiento se debe a la carencia de un recipiente de homogeneización del agua residual. De acuerdo con Jasim (2020), la función que cumple el tanque de homogenización es reducir los choques hidráulicos y la carga contaminante para procesos posteriores. Finalmente, los SST aumentaron desde 3960.00 a 7494.33 mg/L; Cydzik-Kwiatkowska and Zielińska (2016), mencionan que, el aumento en la concentración de sólidos suspendidos del agua residual tratada, se debe a la cantidad de biomasa microbiana, resultado del proceso de degradación biológica de la materia orgánica del agua residual; ya que, en el tratamiento aerobio de las aguas residuales, la concentración de sólidos en suspensión volátiles del lodo, equivale la concentración de microorganismos (biomasa).

Asimismo, la relación DQO/DBO del agua residual del beneficio húmedo del café cereza fue 1.78. Abdel-Shafy, Mansour and Al-Sulaiman (2019) encontraron un valor de 1.33 para la relación DBO/DQO, asimismo, indican que este valor es adecuado para el tratamiento biológico del efluente.

Si bien a nivel de muestra, se obtuvo resultados óptimos de remoción de DBO y DQO con una dosis de 20 mL/L de agua residual; después de realizar la prueba de hipótesis no se encontró diferencia significativa entre las dos dosis (10 y 20 mL/L), lo cual se debe al elevado contenido de materia orgánica DBO y DQO del agua miel del beneficio del café; cuyos valores encontrados fueron respectivamente 18390 y 32784 mg/L.

Asimismo, de acuerdo con (Abdel-Shafy, Mansour and Al-Sulaiman, 2019), los incrementos en las tasas de remoción de la DBO, DQO y SST, está asociado a las mayores dosis de microorganismos aplicadas al agua residual.

De acuerdo con (Thangavelu *et al.*, 2020), las levaduras del género *Candida*, responsables de la degradación de la materia orgánica y nutrientes del agua residual. Estos autores, encontraron eficiencias de degradación respectivamente para la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitratos y fosfatos de 84%, 92%, 100% y 85%.

Estudios realizados por (Wu *et al.*, 2020), indican que, las bacterias mesófilas del género *Lysinibacillus spp.*, tienen el potencial de digerir fuentes de carbono o nitrógeno que se encuentran presentes en el agua residual, reportando eficiencias de remoción elevadas para estos contaminantes. Asimismo, (Yan, Wu and Xu, 2020) aislaron una bacteria del género *Oligella sp.*, la cual es capaz de eliminar el nitrógeno heterótrofo del agua residual, alcanzando una eficiencia del 98% en 96 horas.

De otro lado, (Gómez-Guzmán *et al.*, 2017), mencionan que el consorcio microbiano formado por *Chlorella vulgaris*, *Bacillus cereus* y *Pseudomonas putida*; eliminan el 29.4% de nitrato y el 8.4% de fosfato del agua residual municipal; con lo cual se demuestra el efecto sinérgico que tienen los microorganismos en la degradación de la materia nitrogenada del agua residual.

Asimismo, Siddeeg, Tahoon and Rebah (2019) reportaron un porcentaje de eliminación del fosfato de las aguas residuales industriales del 95%, siendo comparable a las eficiencias logradas con el tratamiento biológico de las aguas residuales.

Luan *et al.* (2021), encontraron que, los microorganismos que realizan los procesos de nitrificación y desnitrificación en forma simultánea, son especies dominantes en el sistema de tratamiento, entre ellas, la *proteobacteria*; la cual es considerada uno de los principales microorganismos encargados de la remoción del nitrógeno del agua residual.

Conclusión

La mayor eficiencia de remoción de la DBO se obtuvo con la dosis de MM de 10 mL/L, siendo esta de 65.02%. Por otro lado, las eficiencias de remoción de la DQO, fósforo total, nitrógeno total y SST fueron mayores con la dosis de 20 mL/L, siendo respectivamente 71.30%, 55.84%, 58.01 y 45.08%. Al realizar la prueba de hipótesis, no se encontró diferencia significativa entre ambas dosis de microorganismos de montaña. Siendo la biorremediación de aguas residuales, una tecnología sostenible ambientalmente, se debe proponer como alternativa de tratamiento de las aguas residuales del beneficio húmedo del café, para reducir la carga contaminante, que, al descargarla sin previo tratamiento, impacta negativamente a la fauna acuática de los cuerpos hídricos superficiales.

Referencias bibliográficas

Abdel-Shafy, H. I., Mansour, M. S. M. and Al-Sulaiman, A. M. (2019) 'Anaerobic/aerobic integration via uasb/enhanced aeration for greywater treatment and unrestricted reuse', *Water Practice and Technology*, 14(4), pp. 837–850. doi: 10.2166/wpt.2019.065.

Alisawi, H. A. O. (2020) 'Performance of wastewater treatment during variable temperature', *Applied Water Science*. Springer International Publishing, 10(4), pp. 1–6. doi: 10.1007/s13201-020-1171-x.

Amoah, I. D. *et al.* (2018) 'Removal of helminth eggs by centralized and decentralized wastewater treatment plants in South Africa and Lesotho: health implications for direct and indirect exposure to the effluents', *Environmental Science and Pollution Research*. Environmental Science and Pollution Research, 25, pp. 12883–12895.

Cydzik-Kwiatkowska, A. and Zielińska, M. (2016) 'Bacterial communities in full-scale wastewater treatment systems', *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32(4), pp. 1–8. doi: 10.1007/s11274-016-2012-9.

Gomes, V. (2012) *A problemática do fósforo nas águas para consumo humano e águas residuais e soluções para o seu tratamento*. Universidade do Algarve.

Gómez-Guzmán, A. *et al.* (2017) 'Evaluation of nutrients removal (NO₃-N, NH₃-N and PO₄-P) with *Chlorella vulgaris*, *Pseudomonas putida*, *Bacillus cereus* and a consortium of these microorganisms in the treatment of wastewater effluents', *Water Science and Technology*, 76(1), pp. 49–56. doi: 10.2166/wst.2017.175.

Jasim, N. A. (2020) 'The design for wastewater treatment plant (WWTP) with GPS X modelling',

Cogent Engineering. Cogent, 7(1). doi: 10.1080/23311916.2020.1723782.

Luan, Y. *et al.* (2021) 'A highly packed Biofilm reactor with cycle cleaning for the efficient treatment of Rural wastewater', *Water (Switzerland)*, 13(3). doi: 10.3390/w13030369.

Mora-Ravelo, S. G. *et al.* (2017) 'Bioremediation of wastewater for reutilization in agricultural systems: A review', *Applied Ecology and Environmental Research*, 15(1), pp. 33–50. doi: 10.15666/aeer/1501_033050.

Siddeeg, S. M., Tahoon, M. A. and Rebah, F. Ben (2019) 'NH₄⁺ and PO₄³⁻ from Pharmaceutical Effluent Using'.

Thangavelu, K. *et al.* (2020) 'Simultaneous lipid production for biodiesel feedstock and decontamination of sago processing wastewater using *Candida tropicalis* ASY2', *Biotechnology for Biofuels*. BioMed Central, 13(1), pp. 1–14. doi: 10.1186/s13068-020-01676-1.

Wu, Xueling *et al.* (2020) 'Whole genome sequencing and comparative genomic analyses of *Lysinibacillus pakistanensis* LZH-9, a halotolerant strain with excellent COD removal capability', *Microorganisms*, 8(5). doi: 10.3390/microorganisms8050716.

Yan, H., Wu, J. J. and Xu, P. Y. (2020) 'Heterotrophic nitrogen removal by a newly isolated microorganism *Oligella* sp. XS68', *Journal of the Serbian Chemical Society*. Serbian Chemical Society, 85(3), pp. 395–405. doi: 10.2298/JSC190916115Y.

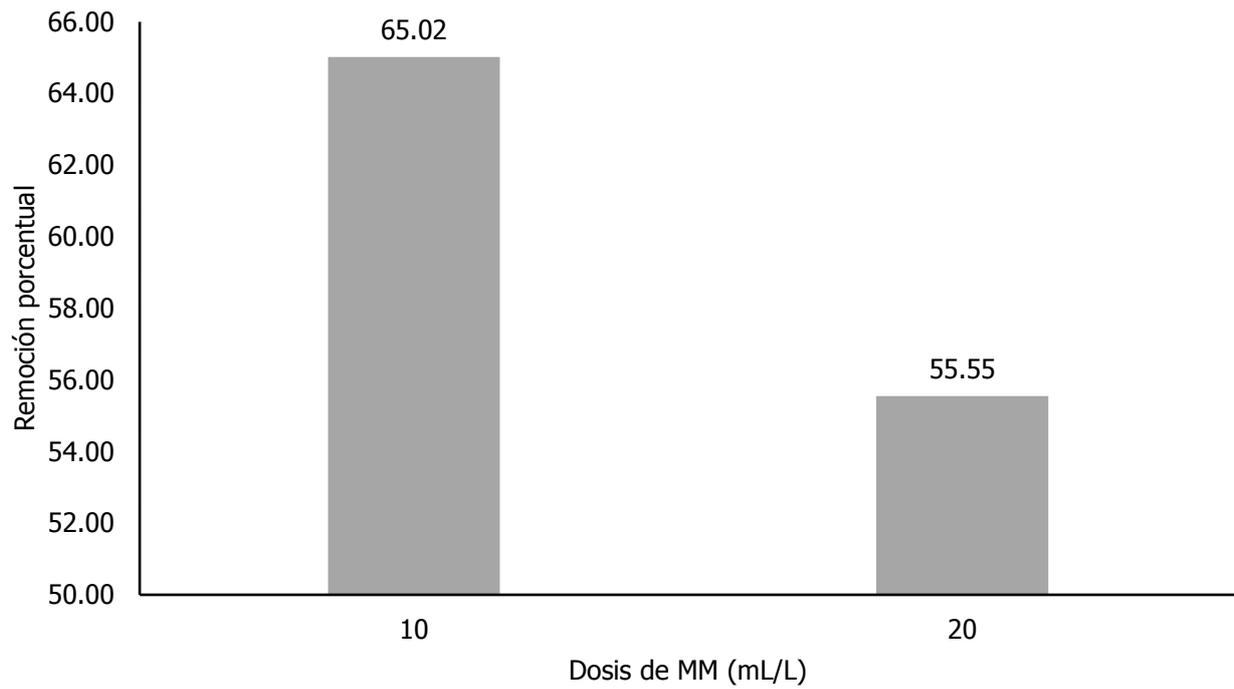


Figura 1. Eficiencia de remoción de la DBO

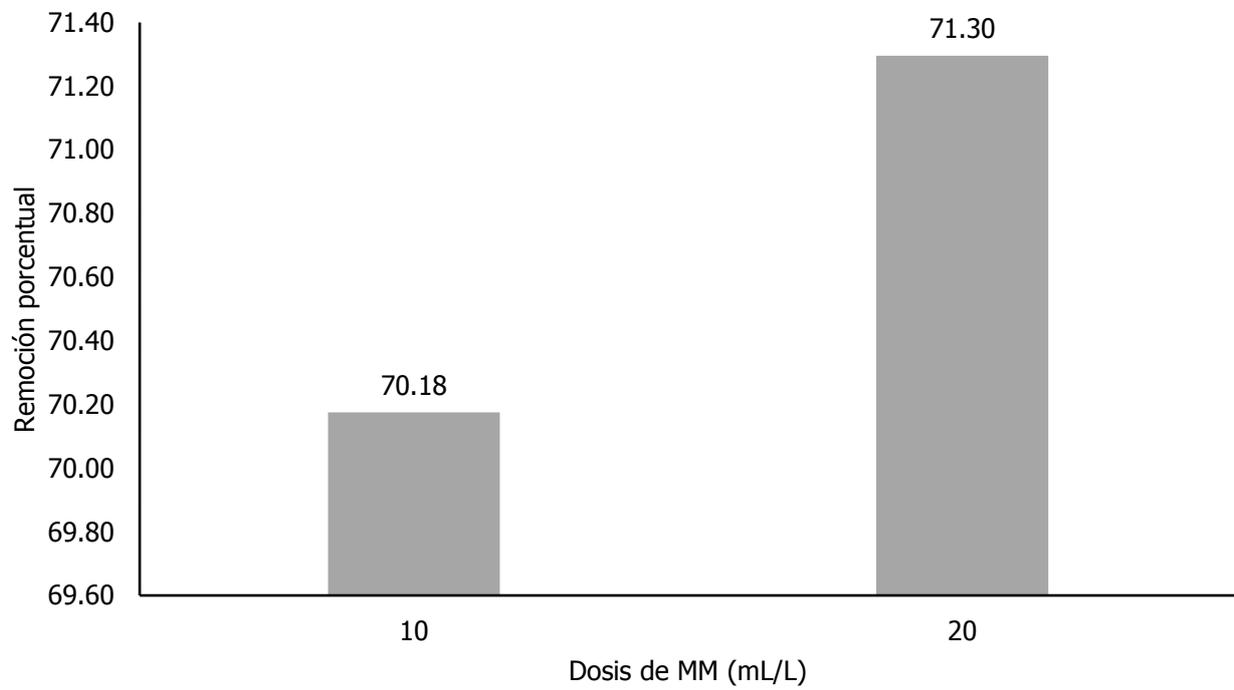


Figura 2. Eficiencia de remoción de la DQO

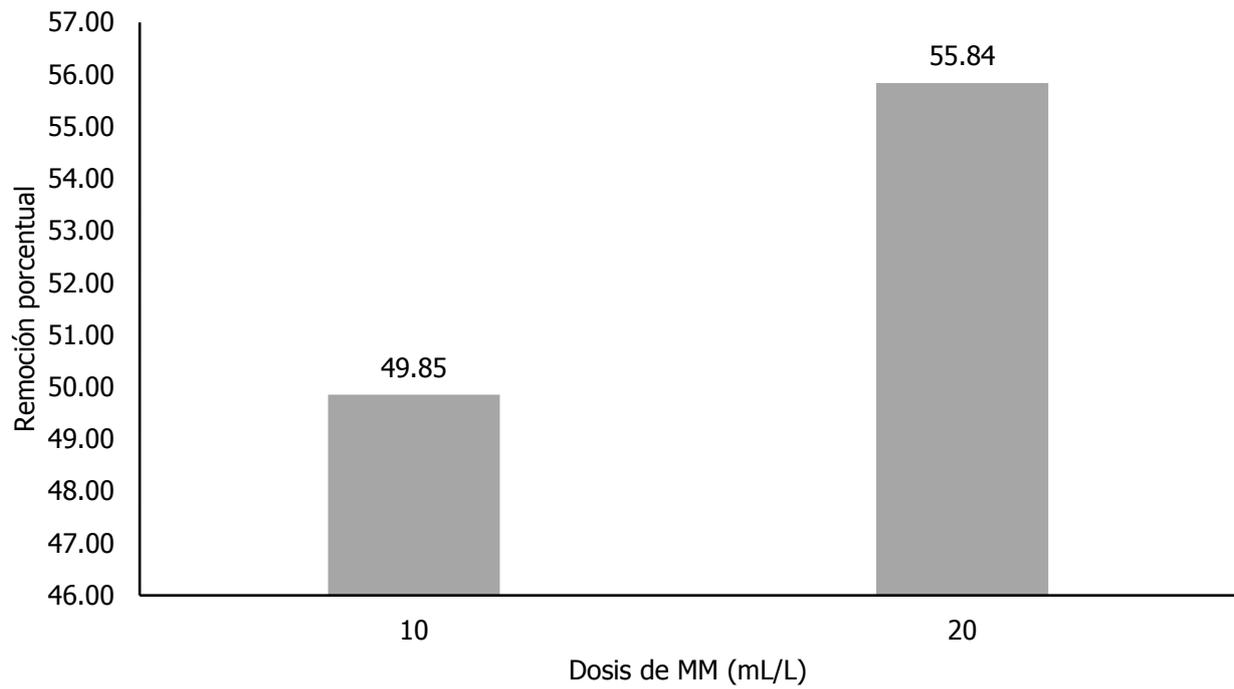


Figura 3. Eficiencia de remoción de fósforo total

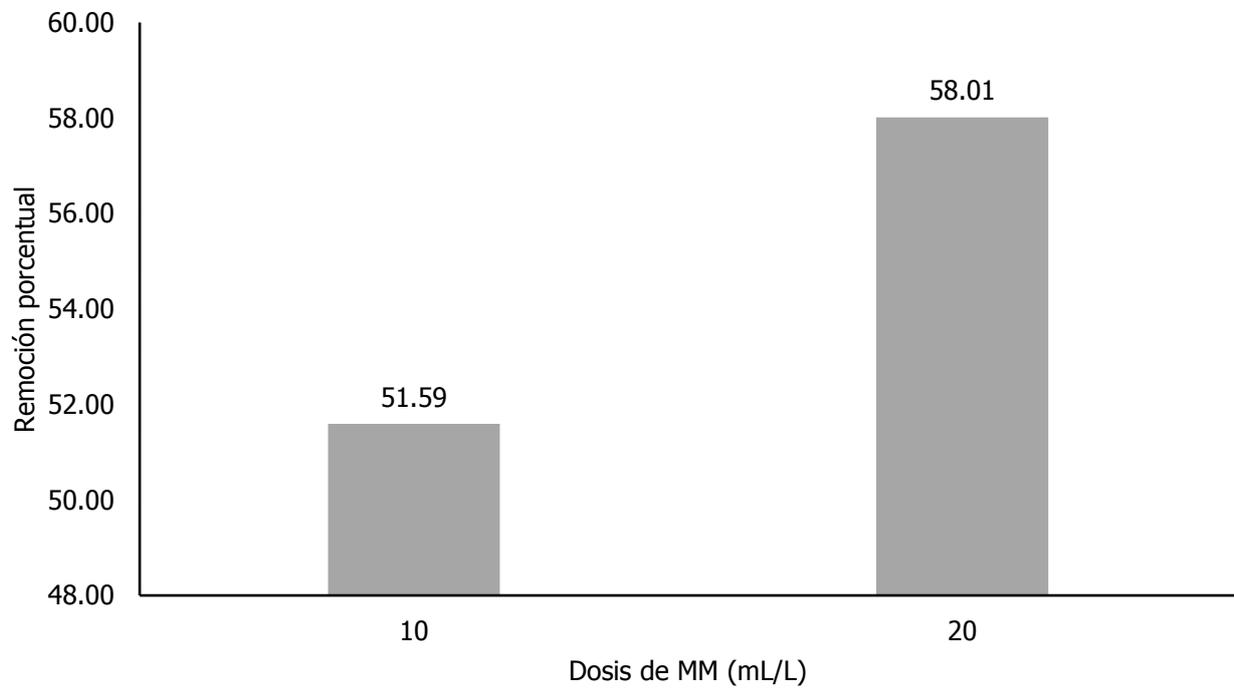


Figura 4. Eficiencia de remoción de nitrógeno total

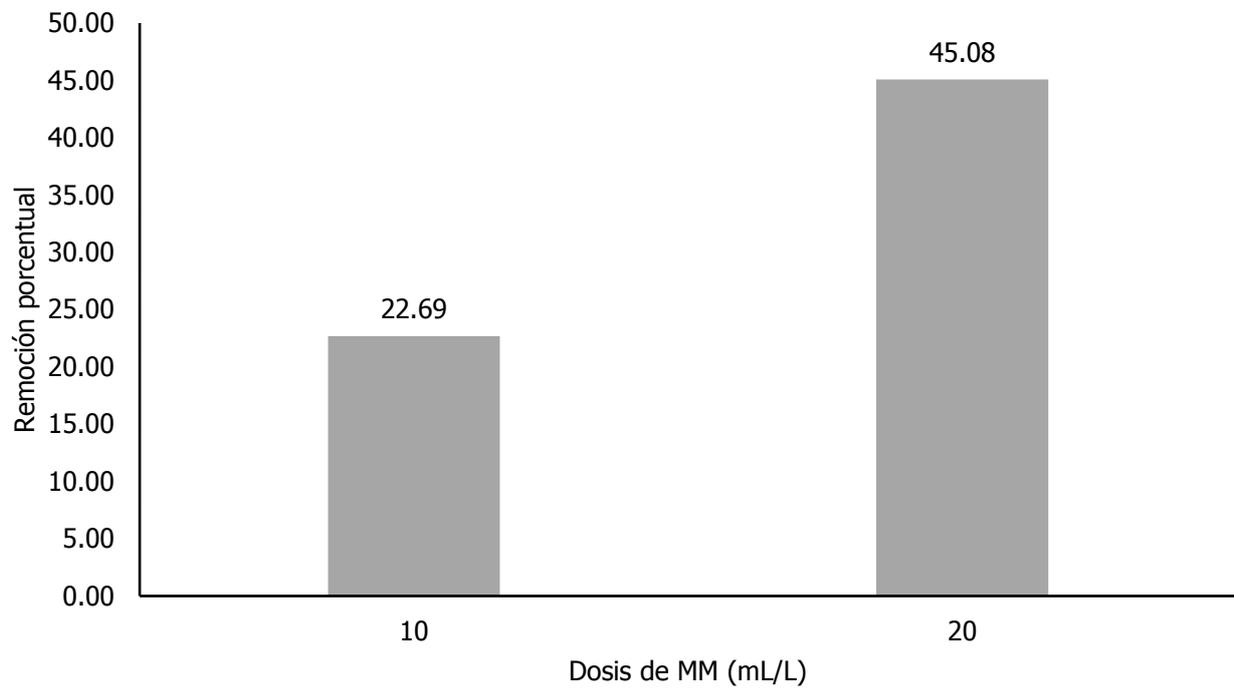


Figura 5. Eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales

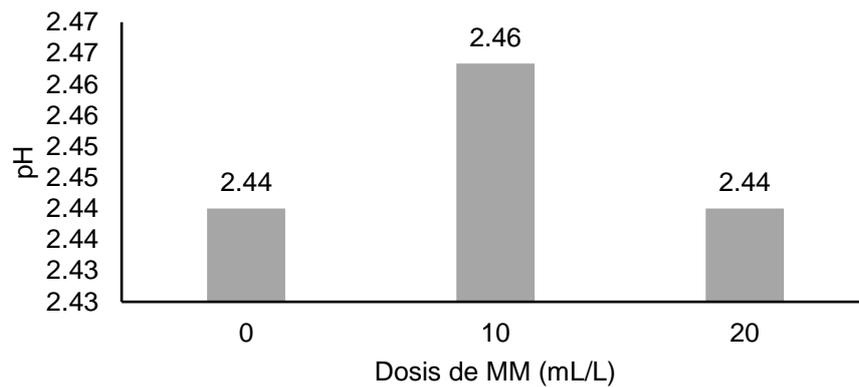


Figura 6. Gráfico de medias del pH

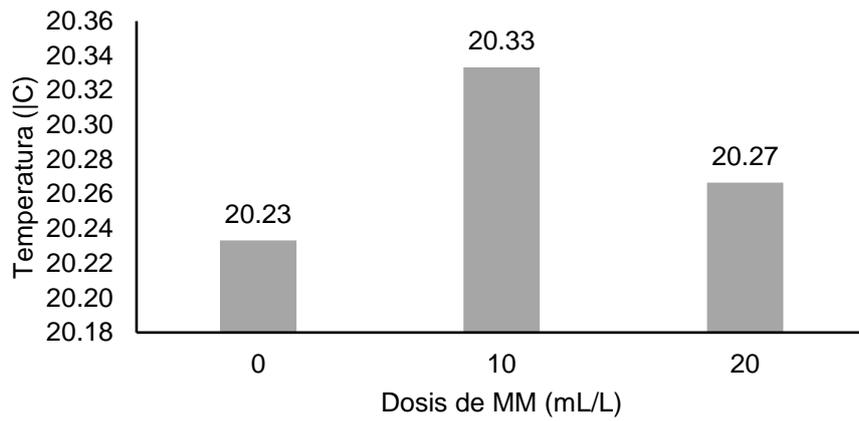


Figura 7. Gráfico de medias de la temperatura

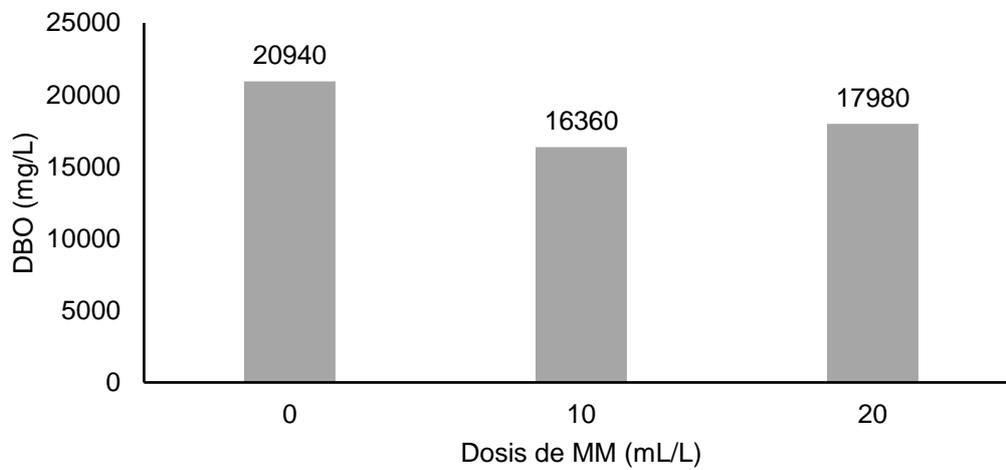


Figura 8. Gráfico de medias de la DBO

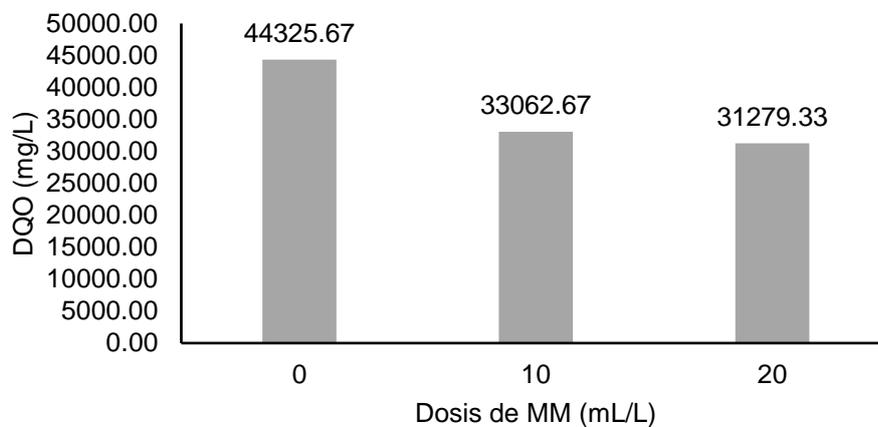


Figura 9. Gráfico de medias de la DQO

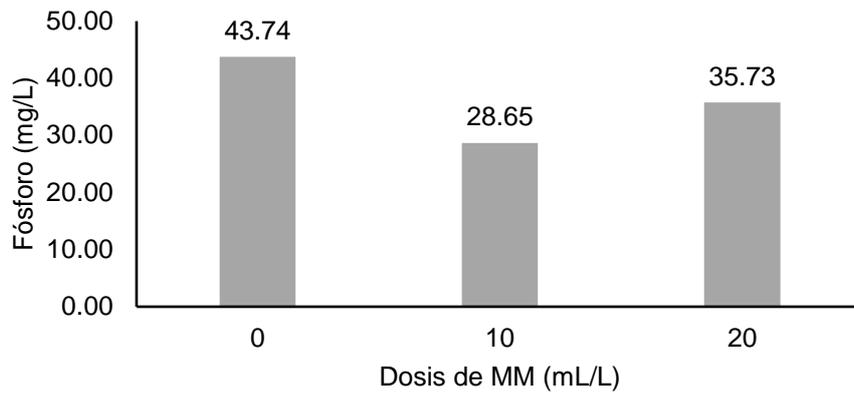


Figura 10. Gráfico de medias de la concentración de fósforo

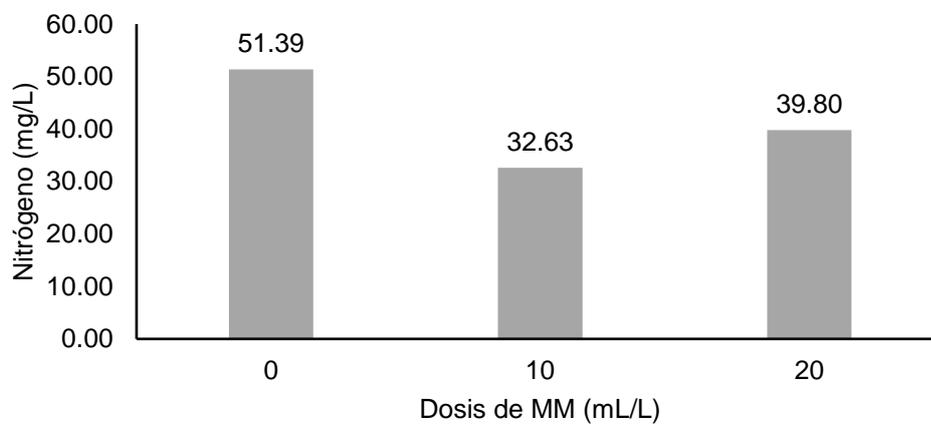


Figura 11. Gráfico de medias de la concentración de nitrógeno

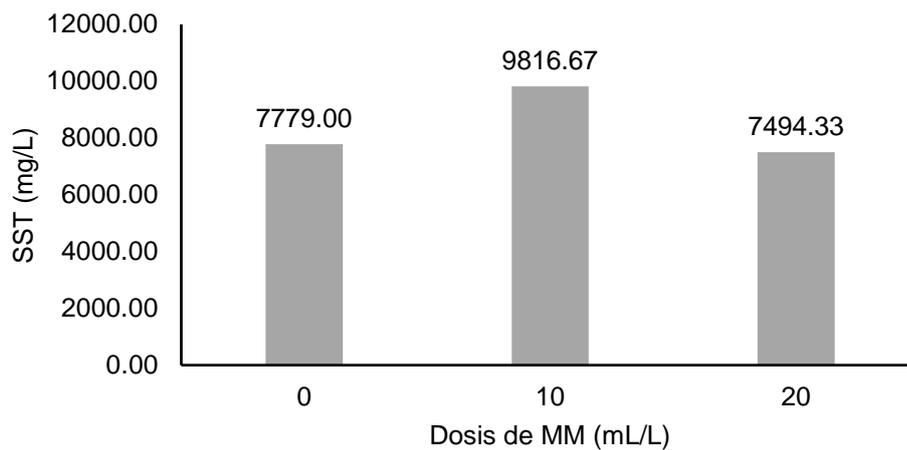


Figura 12. Gráfico de medias de los SST

Tabla 1. Caracterización del agua residual antes del tratamiento

Parámetro	Unidad	Valor	LMP (norma colombiana)
pH	Und	3.07	5.00-9.00
Temperatura	°C	20.8	-
DBO	mg/L	18390	400.00
DQO	mg/L	32784	650.00
Fósforo total	mg/L	0.56	Análisis y reporte
Nitrógeno total	mg/L	<0.12	Análisis y reporte
SST	mg/L	3960	800.00

Tabla 2. Análisis descriptivo de los parámetros, según dosis de MM

Parámetro	Unidad	0 mL/L		10 mL/L		20 mL/L		LMP (norma colombiana)
		\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	
pH	Und	2.44	0.05	2.46	0.02	2.44	0.02	5.00-9.00
Temperatura	°C	20.23	0.12	20.33	0.25	20.27	0.21	-
DBO	mg/L	20940.00	12487.64	16360.00	3822.66	17980.00	2417.62	400.00
DQO	mg/L	44325.67	26741.50	33062.67	9370.88	31279.33	9951.06	650.00
Fósforo total	mg/L	43.74	18.52	28.65	5.06	35.73	8.32	Análisis y reporte
Nitrógeno total	mg/L	51.39	23.00	32.63	6.38	39.80	9.62	Análisis y reporte
SST	mg/L	7779.00	3373.59	9816.67	2833.43	7494.33	1311.70	800.00

Tabla 3. Análisis de varianza para el pH

Fuente de variación	SC	GL	SCM	F	p-valor
Entre tratamientos	0.001	2	0.001	0.49	0.635
Dentro de los tratamientos	0.007	6	0.001		
Total	0.008	8			

Tabla 4. Análisis de varianza para la temperatura

Fuente de variación	SC	GL	SCM	F	p-valor
Entre tratamientos	0.016	2	0.008	0.194	0.828
Dentro de los tratamientos	0.240	6	0.040		
Total	0.256	8			

Tabla 5. Análisis de varianza para la DBO

Fuente de variación	SC	GL	SCM	F	p-valor
Entre tratamientos	32362400	2	16181200	0.275	0.769
Dentro de los tratamientos	352797600	6	58799600		
Total	385160000	8			

Tabla 6. Análisis de varianza para la DQO

Fuente de variación	SC	GL	SCM	F	p-valor
Entre tratamientos	300242260.2	2	150121130.1	0.499	0.630
Dentro de los tratamientos	1803889576	6	300648262.7		
Total	2104131836	8			

Tabla 7. Análisis de varianza para el fósforo

Fuente de variación	SC	GL	SCM	F	p-valor

Entre tratamientos	341.84	2	170.92	1.17	0.372
Dentro de los tratamientos	875.71	6	145.95		
Total	1217.55	8			

Tabla 8. Análisis de varianza para el nitrógeno

Fuente de variación	SC	GL	SCM	F	p-valor
Entre tratamientos	537.65	2	268.82	1.22	0.360
Dentro de los tratamientos	1324.03	6	220.67		
Total	1861.67	8			

Tabla 9. Análisis de varianza para los SST

Fuente de variación	SC	GL	SCM	F	p-valor
Entre tratamientos	9626352.67	2	4813176.33	0.68	0.540
Dentro de los tratamientos	42260003.33	6	7043333.89		
Total	51886356.00	8			