

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

EVALUACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICACES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE GRUPO ROSSI

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO SUPERIOR EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

Bryan Fernando Evas Lluglla

bryan.evas@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. SANTIAGO STALIN GUERRA SALCEDO, M.Sc.

santiago.guerra@epn.edu.ec

CODIRECTORA: ING. PATRICIA LORENA HARO RUIZ, PhD.

patrica.haro@epn.edu.ec

Quito, octubre 2021

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Evas Lluglla Bryan Fernando como requerimiento parcial a la obtención del título de Tecnólogo Superior en Agua y Saneamiento Ambiental, bajo nuestra supervisión:



Ing. Santiago Guerra Salcedo,
M.Sc.
DIRECTOR DEL PROYECTO

PhD. Patricia Haro
CODIRECTORA DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Yo Evas Lluglla Bryan Fernando con CI: 1719964734 declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 144 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación – COESC-, soy titular de la obra en mención y otorgo una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional.

Entrego toda la información técnica pertinente, en caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.



Bryan Fernando Evas Lluglla

CONTENIDOS

1	Introducción	1
1.1	Objetivo general.....	2
1.2	Objetivos específicos	2
1.3	Antecedentes.....	2
1.4	Fundamentos teóricos	3
1.4.1	Tratamiento Secundario.....	3
1.4.2	Microorganismos Eficaces	3
1.4.3	Aplicación de microorganismos eficaces.....	4
1.4.4	Microorganismos en residuos lácteos	5
1.4.5	Microorganismos Eficaces y su beneficio para la agricultura	5
1.4.6	Tratamiento de aguas residuales industriales	5
1.4.7	Empleo de los EM en el tratamiento de residuos sólidos	6
2	Metodología.....	7
2.1	Obtención de los parámetros del agua residual de Grupo Rossi.....	7
2.2	Activación de los microorganismos eficaces	7
2.3	Dimensiones del prototipo.....	9
2.4	Aplicación de EM al agua residual de Grupo Rossi.....	10
3	Resultados y Discusión.....	14
3.1	Parámetros del agua industrial de la empresa Grupo Rossi.....	14
3.2	Activación de los Microorganismos eficaces	15
3.3	Aplicación de EM al agua residual de Grupo Rossi.....	16
3.4	Calidad del agua tratada con EM.....	17
3.5	Eficiencia de los EM.....	18
3.6	Tratamiento combinado (EM y lombrifiltro).....	21
3.7	Comparación con un tratamiento convencional.....	23
4	Conclusiones y Recomendaciones	27
4.1	Conclusiones	27
4.2	Recomendaciones	27
5	REferencias bibliográficas.....	28
	ANEXOS.....	30
	ANEXO 1: FICHA TÉCNICA DE MICROORGANISMO EFICACES.....	i

ANEXO 2: RESULTADOS DEL LABORATORIO CENTROCESAL.....	vi
ANEXO 3: MEMORIA TÉCNICA.....	ix
ANEXO 4: EVIDENCIA FOTOGRÁFICA.....	xxii
ANEXO 5: VIDEO RECOPILATORIO DE LA EXPERIMENTACIÓN.....	xxv

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la empresa Grupo Rossi	7
Figura 2. Microorganismo Eficaces adquiridos	8
Figura 3. Recipiente comprado	10
Figura 4. Motor aireador mediano	12
Figura 5. Medición del pH al activar los microorganismos	15
Figura 6. Curva de variación de pH.....	16
Figura 7. Inicio del tratamiento del agua residual	16
Figura 8. Porcentaje de eficiencia del tratamiento sin airear	20
Figura 9. Porcentaje de eficiencia del tratamiento aireado	21
Figura 10. Eficiencia del sistema combinado	23
Figura 11. pozos de revisión y vertedero.....	xxiii
Figura 12. Visita técnica a las instalaciones e identificación del punto de toma del agua residual	xxiii
Figura 13. Muestras del agua residual ya tratadas	xxiii
Figura 14. Análisis del agua tratada en laboratorio de Tecnología Industrial Área de Agua y Saneamiento Ambiental.	xxiv
Figura 15. pH final del agua tratada por los EM	xxiv

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Volumen necesario para la activación de EM.....	8
Tabla 2. Dimensiones propuestas para el recipiente.....	10
Tabla 3. Dimensiones del recipiente comprado.....	10
Tabla 4. Volumen de EM a aplicar.....	11
Tabla 5. Reactivos y número de métodos para el análisis.....	13
Tabla 6. Resultados de caracterización de las aguas residuales.....	14
Tabla 7. Variación de pH para la activación de los EM.....	15
Tabla 8. Valores obtenidos después del tratamiento.....	17
Tabla 9. Porcentajes de eficiencia del tratamiento aplicado.....	19
Tabla 10. Valores obtenidos después del tratamiento combinado EM y Lombrifiltro.....	21
Tabla 11. Eficiencia del sistema combinado (EM y Lombrifiltro).....	22
Tabla 12. Comparación entre EM y Lombrifiltro.....	24
Tabla 13. Comparación entre el sistema combinado y EM aireado de 5%.....	26

RESUMEN

El presente trabajo de titulación fue realizado en la Empresa Grupo Rossi, localizada en la carretera Panamericana vía a Machachi, cuyo objetivo es la evaluación de los microorganismos eficaces para el tratamiento de las aguas residuales, con el fin de disminuir la carga de contaminantes, para que estos estén bajo la normativa TULSMA.

Como primer paso se procedió a revisar la caracterización del agua residual, con lo que se determinó que el afluente es biodegradable, por ende un tratamiento biológico es muy útil en este caso. Posteriormente, se construyó el prototipo a escala laboratorio para su tratamiento, donde se estableció tratar 10 L de agua residual, y colocar concentraciones de Microorganismo Eficaces (EM) al 2% y 5%, con la implementación de un sistema de aireación. Con el fin de comparar los resultados del tratamiento con las distintas concentraciones de EM.

Al concluir el tratamiento a los 10 días, se observó una mejoría en la calidad del agua residual, con lo cual los parámetros como la DQO, DBO y algunos nutrientes cumplían con la normativa para descargas al alcantarillado.

Finalmente, se comparó el tratamiento de los EM con un tratamiento de lombrifiltro, con el fin de destacar algunas ventajas y desventajas de los tratamientos utilizados.

PALABRAS CLAVE: Microorganismos eficaces, DQO, DBO₅, nutrientes, lombrifiltro.

ABSTRACT

This work was carried out at the Rossi Group Company, located on the Panamericana Highway via Machachi, whose objective is the evaluation of effective microorganisms for the treatment of wastewater, to reduce the load of pollutants, so that they are under the TULSMA regulations.

As a first step, the characterization of the wastewater was reviewed and it was determined that the effluent is biodegradable, therefore a biological treatment is very useful in this case. Subsequently, a laboratory-scale prototype was built for its treatment, where 10 L of wastewater was treated, and concentrations of Efficient Microorganisms (EM) were set at 2% and 5%, with the implementation of an aeration system. To compare the results of the treatment with the different concentrations of EM.

At the end of the treatment after 10 days, an improvement in the quality of the wastewater was observed, with which the parameters such as COD, BOD and some nutrients complied with the regulations for discharges to the sewage system.

Finally, the MS treatment was compared with a worm filter treatment, to highlight some advantages and disadvantages of the treatments used.

KEYWORDS: Effective microorganisms, COD, BOD5, nutrients, vermifilter.

1 INTRODUCCIÓN

El consumo de los productos lácteos y sus derivados se ha incrementado en los últimos años debido al aumento poblacional y al desarrollo de los países. Por lo cual se generan varios contaminantes dentro de los procesos productivos de la industria láctea, y en la mayoría de las ocasiones las aguas residuales son vertidas a los cauces naturales sin control alguno, lo cual genera problemas ambientales por las altas cargas de contaminantes que poseen (Rivera, 2016).

Debido a los nutrientes que poseen estas aguas residuales, se puede generar eutrofización, la causante de la pérdida de autodepuración del afluente, además, por los olores del agua residual se ven presentes vectores como moscos entre otro tipo de insectos. Por tal motivo se han presentado varias alternativas de tratamientos biológicos como es el uso de microorganismos eficaces, que ayudan a la disminución de la DQO y los nutrientes (Martínez & Yugcha, 2018).

Los microorganismos son usados principalmente para la fermentación de alimentos, como; en la fabricación de quesos o en la elaboración de ciertas bebidas alcohólicas, por lo cual se han realizado estudios que señalan una gran eficacia de los microorganismos eficaces como una alternativa al tratamiento biológico, para resolver los problemas ambientales por contaminación hídrica, ya que el consorcio bacteriano utiliza compuestos del agua residual como fuente de carbono y energía para su metabolismo y crecimiento, lo que permite la reducción significativa de la concentración de contaminantes.

De este modo, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de los microorganismos eficaces para el tratamiento del agua residual de Grupo Rossi, que es una empresa enfocada en la fabricación de quesos, ubicada en la carretera Panamericana vía a Machachi, cuyo afluente tiene una alta cantidad de materia orgánica. Tras el tratamiento se evidenció la reducción de la materia orgánica, con el fin de asegurar su descarga al sistema de alcantarillado. Por tanto, se propuso tratar 10 L de agua residual, mediante la aplicación de los microorganismos eficientes en distintas concentraciones, para comparar su eficiencia.

El inicio de la experimentación comenzó con la observación de los parámetros del agua residual de Grupo Rossi, para saber la concentración de los contaminantes presentes, tras la identificación se llevó a cabo el tratamiento durante 10 días, bajo distintas condiciones, para evaluar la eficiencia de los microorganismos en distintas concentraciones, con el fin de asegurar la concentración óptima para la empresa.

1.1 Objetivo general

Evaluar microorganismos eficaces para el tratamiento de agua residual de Grupo Rossi

1.2 Objetivos específicos

- Revisar parámetros del agua industrial de la empresa Grupo Rossi y preparar el diseño experimental para el tratamiento.
- Aplicar microorganismos eficientes para evaluar su eficiencia en el tratamiento de agua residual de la empresa Grupo Rossi mediante análisis de parámetros físico, químicos y biológicos.
- Valorar los resultados obtenidos frente a la utilización del tratamiento convencional de la empresa Grupo Rossi.

1.3 Antecedentes

En los últimos años el consumo de la leche y sus derivados se ha incrementado debido a que este producto forma parte de la nutrición elemental en varios países, ya sea por su poder adquisitivo o por el aumento considerable de su población. Por tal motivo la industria láctea se enfrenta a varios cambios, ocasionando que cambien sus estrategias de ventas y de producción para que el consumidor final disfrute los diversos productos elaborados a partir de la leche, puesto que las nuevas generaciones se les transmite el cuidado del ambiente, lo que en muchas ocasiones disminuye el consumo de ciertos productos. Por eso, la industria láctea debe prestar un mayor énfasis a los daños ambientales que causa la producción de la leche y la elaboración de sus múltiples derivados. Con la finalidad de que el producto sea seguro, amigable con el ambiente, y que exista una información libre y transparente de todos los procesos de la industria láctea (Rivera, 2016).

Cabe mencionar que en el Ecuador se producen aproximadamente 6 millones de litros de leche diarios, de los cuales los productos elaborados a partir de la leche que son exportados generan 42 458 dólares al año. No obstante en el 2021 debido a la pandemia que se vivió, el sector lácteo se enfrentó a una disminución del consumo nacional, la competencia informal, además, de elevados costos de la materia prima e insumos (C. I. L. Ecuador, 2021).

Con lo mencionado anteriormente, debido a la pandemia del Covid-19, la demanda del sector formal en el primer semestre de 2020 llegó a 3 millones de litros, destinándose más del 50% de la leche al sector informal (Coba, 2020).

A escala nacional la producción de lácteos genera cerca de USD 1 400 millones al año, además, esta actividad es muy importante para el país. Asimismo, estas industrias trabajan en el fortalecimiento de sus procesos, para mejorar su producción ayudados de la

implementación de tecnologías para asegurar la calidad, la seguridad alimentaria y salud de los consumidores (C. I. L. Ecuador, 2020). Cabe mencionar que el 73% de los proveedores se encuentran ubicados en la región de la Sierra, debido a sus características geográficas óptimas para la ganadería, un 19% en la Costa y 8% en el Oriente (Luque González, 2018).

1.4 Fundamentos teóricos

El tratamiento de aguas residuales en las industrias lácteas requiere de un manejo de métodos acorde a las características del afluente, motivo por el que se han desarrollado tecnologías alternativas que faciliten la incorporación de tratamientos que cumplan con las normativas de descarga y no representen un riesgo ambiental. Una de las tecnologías en múltiples estudios es la aplicación de microorganismos para la regeneración de suelos y aguas debido a su capacidad de reestablecer ecosistemas y aliviar cargas contaminantes.

1.4.1 Tratamiento Secundario

En el tratamiento secundario lo principal son los procesos biológicos donde predominan las reacciones bioquímicas generadas por los microorganismos, donde se obtienen valores de remoción entre el 50% y el 95% de la DBO₅. Los tratamientos más usados son:

- Biofiltros o filtración biológica.
- Lodos activados.
- Lagunas estabilizadoras.

1.4.2 Microorganismos Eficaces

En la búsqueda de alternativas que reemplazarán los fertilizantes y plaguicidas sintéticos, a inicios de los sesenta el profesor japonés de horticultura Teruo Higa, de la Universidad de Ryukyus en Okinawa, desarrolló una tecnología basada en microorganismo eficientes, también conocidos como benéficos (Faife et al., 2020). Desde entonces se han desarrollado múltiples estudios para evaluar su eficiencia en el tratamiento de los ecosistemas con la finalidad de disminuir la contaminación y mejorar los procesos.

Se define como microorganismos eficientes (EM por sus siglas en inglés) a los cultivos mixtos de bacterias benéficas constituidas en gran mayoría por organismos fotosintéticos, productores de ácido láctico, actinomicetos, levaduras y hongos fermentadores, que pueden aplicarse como inoculantes para incrementar la diversidad microbiana (Hoyos, 2010). Al tratarse de una combinación de diversos microorganismos, cada uno cumple con una función específica dentro del consorcio microbiano.

- Bacterias Fototróficas

- Bacterias ácido-lácticas (*Lactobacillus* spp.)
- Levaduras

Bacterias fototróficas (*Rhodospseudomonas* spp), están encargadas de sintetizar las sustancias útiles de las secreciones de la materia orgánica y gases dañinos, a través de la luz y el calor como fuentes de energía. Estas sustancias sintetizadas comprenden desde los aminoácidos, sustancias bioactivas y azúcares, favoreciendo el crecimiento de plantas. Además, intervienen como sustrato para el desarrollo de las poblaciones de los EM (Hoyos, 2010).

Las bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus* spp.) producen ácido láctico, el cual ayuda a la eliminación de microorganismos dañinos, además, a la descomposición de lignina y celulosa (Herrera & Corpas, 2013).

Las levaduras (*saccharomyces* spp) se encargan de sintetizar de igual manera sustancias útiles para el crecimiento de las plantas, las cuales son secretadas por las bacterias fototróficas (Hoyos, 2010).

1.4.3 Aplicación de microorganismos eficaces

La aplicación de microorganismos benéficos ha incrementado en varias áreas ambientales, como en los procesos de compostaje, tratamiento de aguas residuales y productos de limpieza. Asimismo, su crecimiento se da en condiciones óptimas de temperatura de 30-37 °C y un pH de 6.9, o rangos de 5.5 y 8.5 (Faife et al., 2020).

El uso de los microorganismos eficaces en el sector agrícola ha permitido el buen uso del suelo y al mismo tiempo su recuperación. También se ha visualizado buenos resultados al aplicar EM a residuos sólidos para la generación de compost. Además, se emplean en las PTAR (plantas de tratamiento de aguas residuales) ya que su uso reduce las cargas contaminantes (Hoyos, 2010).

Se indica que se debe aplicar EM activados en una dosis de 1 L por cada 1000 L de aguas a tratar, según lo recomendado por el fabricante, la relación puede variar dependiendo del fabricante (Quille, 2018):

Y para su activación se suele usar la siguiente relación:

1 L de EM 1 = 20 L de EM Activados.

Con esto cabe mencionar que se necesita 1 L de EM 1, 1 L de melaza y el restante 18 L de agua (no potable), para tener en su totalidad de 20 L de EM Activados

1.4.4 Microorganismos en residuos lácteos

Los microorganismos benéficos se han convertido en una opción importante para mejorar los procesos de tratamiento de aguas residuales lácteas por su mezcla de bacterias, hongos y levaduras, que ayuda a la reducción de olores y residuos sólidos, debido a que utiliza los compuestos contaminantes del afluente como fuente de carbono y energía para su metabolismo y crecimiento, con la consecuente reducción de las concentraciones de materia orgánica en el agua (Herrera & Corpas, 2013).

Como ejemplo tenemos la aplicación de los microorganismos eficaces al suero lácteo, cuya DQO varía entre 50 000 y 80 000 mg/L, y se obtiene como resultado después del tratamiento un valor de 808.67 mg/L, bajo condiciones de temperatura de 94 °C y una duración de 10 minutos, con lo que se determinó una eficiencia de remoción del 98% aproximadamente bajo las condiciones antes mencionadas (Quille, 2018).

También en el estudio de “Reducción de la contaminación en agua residual láctea utilizando microorganismos benéficos (MB)” se evalúa la capacidad de los EM para reducir las cargas de contaminantes por DBO₅, DQO, ST y SST, donde se llegó a la conclusión que la aplicación de los EM en concentraciones del 2 y 4 % a las aguas residuales por un periodo de 9 semanas, dio los siguientes porcentajes de remoción: 71.65 % para la DQO, 68.58 % para la DBO₅, 70.45 % para los ST y 78.77 % para los SST (Quille, 2018).

1.4.5 Microorganismos Eficaces y su beneficio para la agricultura

Los microorganismos eficaces en el sector agrícola son aplicados en el manejo de excretas y praderas, lo cual ha permitido obtener excelentes resultados en la recuperación del suelo, y a su vez da una solución al saneamiento ambiental por medio de la generación de compost (Quille, 2018).

Los EM ayudan a restablecer el equilibrio microbiológico del suelo, lo cual mejora las condiciones físico-químicas del mismo, aumentando su producción, además, de conservar de mejor manera los recursos naturales, generando una sostenibilidad ambiental (Hoyos, 2010).

1.4.6 Tratamiento de aguas residuales industriales

Los microorganismos eficaces, ayudan a la depuración de los efluentes cuya contaminación sea muy alta, debido a la materia orgánica y coliformes presentes, mediante un proceso de fermentación el cual acelera la descomposición de los compuestos orgánicos, con la eliminación de microorganismos patógenos que son los principales causantes de la degradación y malos olores del agua (Caicedo, 2017).

La aplicación de los EM ayuda a la reducción de olores, mejora la calidad del agua, la calidad de los lodos dentro de un sistema de lodos activados, además, que la aplicación de los microorganismos eficaces depende de diversos factores ambientales como la temperatura, las precipitaciones, la humedad y la radiación solar (Faife et al., 2020).

1.4.7 Empleo de los EM en el tratamiento de residuos sólidos

En los rellenos sanitarios la utilización de los microorganismos eficaces es muy útil, pues se estima que al menos el 40-60% de la basura provienen de los compuestos orgánicos, los cuales en su proceso de degradación generan malos olores, lixiviados y gas metano. Por lo que la aplicación de EM, reduce la presencia de moscas y malos olores, incrementando la descomposición de los compuestos orgánicos, a su vez mejora la calidad de los lixiviados y disminuye la generación de gas metano (Faife et al., 2020).

2 METODOLOGÍA

2.1 Obtención de los parámetros del agua residual de Grupo Rossi

La empresa Grupo Rossi dedicada a la fabricación de productos lácteos, se encuentra ubicada en la Panamericana Sur vía Machachi, cantón Mejía, provincia de Pichincha. La Figura 1 muestra la ubicación de la empresa, de la cual se analizó el efluente residual para conocer la concentración de contaminantes.

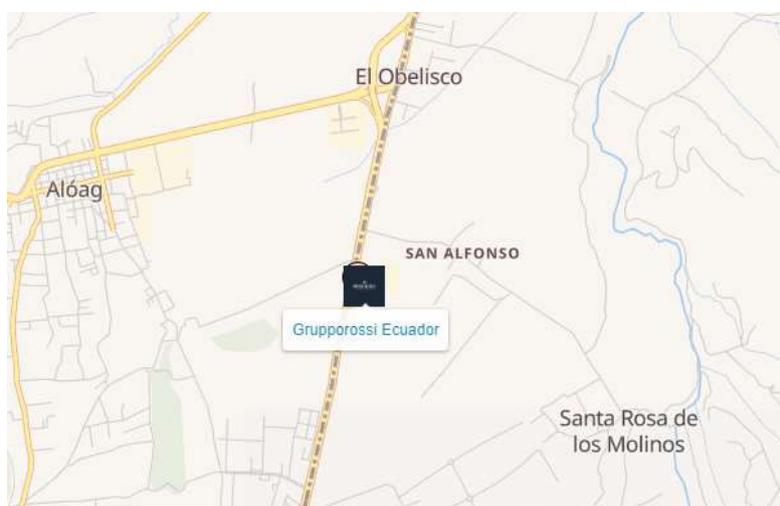


Figura 1. Ubicación de la empresa Grupo Rossi

Para el desarrollo del presente proyecto de titulación se tomaron los valores de la caracterización del agua residual de grupo Rossi, los mismos que se encuentran detallados en la Tesis “Evaluación de un lombrifiltro para el tratamiento del agua residual de Grupo Rossi”, cabe mencionar que en el primer anexo de este escrito se detalla el plan de muestreo desarrollada por las tesisistas Lara y Ruchi.

2.2 Activación de los microorganismos eficaces

Para la activación de los EM se utilizó un envase plástico, libre de contaminación, de 2 L de capacidad, donde se mezclaron 100 mL de EM-1, el producto adquirido se puede observar en la Figura 2, 100 mL de melaza, y se completó el restante con 1800 mL de agua dulce (no clorada). Tal como se observa en la Tabla 1 los mL usados con su respectivo equivalente en porcentaje.

Tabla 1. Volumen necesario para la activación de EM

Activación de EM		
EM-1	100 mL	5%
Melaza	100 mL	5%
Agua	1800 mL	90%

Los volúmenes antes presentados se obtuvieron mediante las siguientes ecuaciones, únicamente reemplazando el volumen total deseado de microorganismos eficaces activos, con la finalidad de obtener el volumen de los distintos elementos para la activación de los EM.

$$V(\text{agua}) = 0.9 * V(\text{EMA})$$

Ecuación 2.1 Cálculo de agua necesaria para la mezcla

$$V(\text{EM} - 1) = 0.05 * V(\text{EMA})$$

Ecuación 2.2. Cálculo de EM necesaria para la mezcla

$$V(\text{melaza}) = 0.05 * V(\text{EMA})$$

Ecuación 2.3. Cálculo de melaza necesaria para la mezcla

Donde:

V(EM-1) = Volumen del EM-1 (Figura 2)

V(melaza) = Volumen de melaza

V(agua) = Volumen de agua (no clorada o de lluvia)

V(EMA) = Volumen total deseado de microorganismos eficaces activos



Figura 2. Microorganismo Eficaces adquiridos

Según lo indicado por el fabricante la activación dura alrededor de 5 a 7 días en climas cálidos y de 7 a 10 días en climas fríos, conjuntamente, su activación se da si el valor del pH es inferior o igual a 3.5 y la mezcla tiene un fuerte olor a chicha (EMBIOECSA, 2021). Para más información sobre los EM utilizados revisar el Anexo 1.

Una vez realizada la mezcla, el envase fue cerrado herméticamente y colocado en un lugar sombreado hasta la activación de los EM.

Con lo antes mencionado se procedió a medir el pH cada 4 días, y la liberación de gases cada 3 días hasta su aplicación en la activación en 10 días. Cabe mencionar que las medidas del pH se realizaron con tiras de tornasol.

Para la posterior aplicación de los microorganismos activos, se utilizaron 10 mL de EM Activados por cada 10 L de agua residual procedente de la empresa Grupo Rossi.

2.3 Dimensiones del prototipo

Con fines de la experimentación con los microorganismos eficientes para el tratamiento del agua residual de Grupo Rossi, se desarrolló el dimensionamiento de un prototipo a nivel laboratorio semejante a una laguna de estabilización, con el objetivo de tratar pequeñas cantidades del afluente y comprobar la eficiencia de los EM en el líquido residual lácteo.

Para el prototipo experimental se planteó tratar un volumen de 10 L, a su vez que el recipiente a utilizar sea de plástico con una relación entre la longitud y el ancho de 2:1, de forma rectangular, para facilitar las condiciones aerobias en el proceso de tratamiento.

Para comenzar con el dimensionamiento del recipiente se estableció una altura de 0.2 m para propiciar un modelo aeróbico y evitar la formación de condiciones anaerobias que aumentan la fetidez del líquido en el tratamiento, conjuntamente se consideró una altura de seguridad del 20% para no inundar el proceso experimental, por lo que se necesitó altura total de 0.24 m.

$$l = 2a$$

Ecuación 2.4 Cálculo de la Longitud (seleccionando un ancho de 0.16 m)

$$At = h * (1 + \%de\ seguridad)$$

Ecuación 2.5. Cálculo de la altura total (siendo h=0.2 m y el %de seguridad 20%)

$$V = l * a * At$$

Ecuación 2.6. Volumen total

Donde:

l = Longitud

a = Ancho

At = altura total

V = Volumen total

Con lo antes mencionado se obtuvieron los datos de la Tabla 2, mostrada a continuación, donde se visualizan todas las dimensiones necesarias del recipiente a utilizar.

Tabla 2. Dimensiones propuestas para el recipiente

Dimensiones propuestas para el recipiente		
Altura	0.2	m
Largo	0.32	m
Ancho	0.16	m
Altura de seguridad	0.04	m
Altura total	0.24	m
Volumen total	0.012	m ³

Por lo tanto, se adquirieron los recipientes con las dimensiones más cercanas a las mostradas en la Tabla 2, cabe mencionar que esto dependió de la disponibilidad del mercado. En la Tabla 3 se indican las dimensiones del envase seleccionado y en la Figura 3 se observa el modelo del recipiente adquirido.

Tabla 3. Dimensiones del recipiente comprado

Dimensiones del recipiente		
Altura Total	0.16	m
Largo	0.35	m
Ancho	0.26	m
Volumen total	0.014	m ³



Figura 3. Recipiente comprado

2.4 Aplicación de EM al agua residual de Grupo Rossi

Se usó la relación de 10 mL de microorganismos eficaces activados para tratar 10 L de agua residual, a partir de esta relación se aumentó la concentración a aplicar al agua residual de grupo Rossi.

Por tal razón se tomaron diferentes variables a considerar para comenzar con la experimentación, una de las variables más relevante es la aplicación de los microorganismos eficaces a diferentes concentraciones para realizar una comparación entre ellas, con el fin de conocer que concentración es más eficiente en el tratamiento del agua residual de Grupo Rossi.

En la Tabla 4, se muestran las concentraciones usadas, las cuales fueron consideradas según la ficha técnica de los EM adquiridos.

Para el tratamiento experimental se usaron en su totalidad 4 recipientes, en donde a dos de ellos se suministró un volumen de 25 mL de los microorganismos eficientes activados, y a los 2 restante se les colocó un volumen de 50 mL.

Si bien el tratamiento del agua residual con EM tiene mejores resultados a mayores temperaturas y esto a su vez genera un tiempo de retención menor, no se consideró en la experimentación. De tal forma que todos los prototipos fueron puestos en marcha a temperatura ambiente a fin de reducir el consumo de energía, asumiendo las condiciones reales de la empresa en un tratamiento sin calefacción.

Por otra parte, se consideró como variable importante la suministración de oxígeno a los microorganismos, sujeto a la finalidad de desarrollar un tratamiento aerobio. Por lo que se decidió experimentar con un proceso de aireación eléctrico mediante la adición de un motor que permita una mayor oxigenación y que permita analizar la relación entre la eficiencia del tratamiento en la reducción de la materia orgánica del afluente y la suministración de oxígeno. Cabe mencionar que solo dos recipientes fueron aireados, es decir uno por cada concentración usada, para precautelar las mismas condiciones de experimentación por cantidad de EM.

Tabla 4. Volumen de EM a aplicar

Variables por considerar				
Agua residual L	Concentración 2.5% (mL)	Concentración 5% (mL)	Aireación	Temperatura
10	25	50	Si	Ambiente
	25	50	no	Ambiente

Para el sistema de aireación se usaron dos motores, los cuales fueron seleccionados mediante los siguientes cálculos:

La cantidad de la DBO₅ del agua residual es de 2300 mg/L, y el volumen a tratar es de 0.01 m³, por lo tanto, se obtiene:

$$2300 \frac{mg \text{ DBO}}{L} * \frac{1 \text{ kg DBO}}{1 * 10^6 mg \text{ DBO}} * \frac{10^3 L}{1 \text{ m}^3} * \frac{0.01 \text{ m}^3}{\text{día}} = 0.023 \frac{kg \text{ DBO}}{\text{día}}$$

$$0.023 \frac{kg \text{ DBO}}{\text{día}} * \frac{154 \text{ m}^3 \text{ aire}}{1 \text{ kg DBO}} * \frac{1 \text{ día}}{1400 \text{ min}} = 2.53 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3 \text{ aire}}{\text{min}} = 2.53 \frac{L \text{ aire}}{\text{min}}$$

“Por la cantidad de DBO máxima presente en el agua residual, se calculó la cantidad de aire requerida, con la relación de aire necesaria para la reducción de 1 Kg de DBO es de 154 m³ aire” (Anibal, 2012).

Por esto se seleccionó el motor aireador mediano para acuarios y peceras el cual se aprecia en la siguiente Figura 4.



Figura 4. Motor aireador mediano

El cual tiene las siguientes características.

- Referencia HX-208 de la marca SEA STAR.
- Se usa también para acuarios de reproducción, alimento vivo o cuarentena.
- Una salida. Expulsa 3 litros de aire por minuto.
- Muy bajo consumo eléctrico, 2.5W (Mascota moda, s. f.)

La distribución del aire fue realizada con mangueras de 5 mm de diámetro debido a las dimensiones de los recipientes usados, las mismas que fueron colocadas en dos de los envases con ayuda de silicona. Se procedió a sellar el final de las mangueras para evitar que se llenaran con el líquido residual, además se realizaron unos agujeros pequeños a lo largo del tubo para asegurar la distribución de aire en la mayor parte de cada recipiente con diferente concentración de EM.

Cabe recalcar que la experimentación se la realizó en temporada de verano, entre 18 - 20°C, esto con el fin de asegurar una temperatura óptima para el desarrollo y crecimiento de los microorganismos eficaces. Además, los recipientes fueron puestos bajo una cubierta, la cual

impedía el acceso del agua lluvia (en caso de lloviznas), para asegurar que las condiciones dentro de los recipientes no se vean afectados por cambios en las concentraciones de los contaminantes del agua a tratar, y sea más evidente la eficiencia de los microorganismos. Esto debido a que si se deja entrar agua lluvia no se sabría si la disminución de los contaminantes se debía a los microorganismos o a la dilución provocada por el agua lluvia. Asimismo, al cabo de 7 días se aplicó nuevamente la misma dosis inicial a los 4 recipientes, para asegurar la presencia de los microorganismos eficaces en el agua residual.

A su vez se los parámetros de control para la aplicación del tratamiento fueron DQO, color aparente, nitritos y nitratos, los cuales fueron analizados en el laboratorio de la ESFOT (Tecnología Industrial, Área Agua y Saneamiento Ambiental), con ayuda del espectrofotómetro y sus respectivos reactivos y viales. En la Tabla 5 se muestran los reactivos usados y el método utilizado.

Tabla 5. Reactivos y número de métodos para el análisis

Parámetro	Reactivos	Método espectrofotómetro
DQO	Viales de alto rango	435
Nitratos	NitraVer5	355
Nitritos	NitriVer3	373
Color aparente	No usa reactivo	120

2.5 Tratamiento combinado (EM y lombrifiltro)

Para el tratamiento combinado de los sistemas de microorganismos eficaces y el lombrifiltro, se usó el lombrifiltro construido por las tesis Lara y Ruchi, en el cual se colocó el agua previamente tratada con los EM al lombrifiltro, cabe mencionar que el agua usada para este tratamiento combinado fue el agua que dio mayores eficiencias del tratamiento con las distintas concentraciones de EM, con el fin de valorar el aporte que daría el usar los dos tratamiento juntos.

Con la finalización del tratamiento de los EM y su respectiva evaluación de los parámetros de control, se determinó que la concentración de 5 % es decir el tratamiento que uso 50 mL de microorganismos activos. Por ende, esta agua fue la que se regó en el lombrifiltro, una vez colocada el agua se dejó filtrar, y el agua resultante del lombrifiltro (tratamiento combinado) se llevó al laboratorio de la Esfot para el análisis respectivo de los parámetros de control, y a la vez se llevó la cantidad de 2 L al laboratorio de Centrocésal para el análisis de los demás parámetros para su respectiva comparación.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestran los resultados obtenidos tras la aplicación de los microorganismos al agua residual de grupo Rossi con el fin de lograr los objetivos planteados al inicio de la tesis.

3.1 Parámetros del agua industrial de la empresa Grupo Rossi

En la Tabla 6 se observan los valores obtenidos de la caracterización del agua residual de Grupo Rossi, comparados con la Tabla 8 Límites de Descarga al sistema de alcantarillado público perteneciente al Anexo 1 del TULSMA Libro VI. Los valores que se encuentran marcados son los que están fuera de límite máximo permitido por la norma.

Tabla 6. Resultados de caracterización de las aguas residuales

Parámetro	Valores de Grupo Rossi	Límite máximo permitido	Unidades
Aceites y grasas	246.40	70	mg/L
Coliformes Totales	> 1600	No aplica	NMP/100 mL
Color Aparente	> 500	No aplica	PtCo
Conductividad	2.91	No aplica	mS/cm
DBO ₅	2 300	250	mg/L
DQO	2 175	500	mg/L
Fosfatos	16	No aplica	mg/L
Hierro	3.8	25	mg/L
Manganeso	4.47	10	mg/L
Nitratos	63	No aplica	mg/L
Nitritos	170	No aplica	mg/L
Nitrógeno Amoniacal	9	No aplica	mg/L
Nitrógeno Total Kjeldahl	11.90	60	mg/L
OD	1.47	No aplica	mL/L
pH	6.18	6-9	
SDT	1 860	No aplica	mg/L
SST	326	220	mg/L
Sulfatos	50	400	mg/L
Temperatura	20.71	<40	°C
Tensoactivos	0.50	2	mg/L

Parámetro	Valores de Grupo Rossi	Límite máximo permitido	Unidades
Turbidez	> 1000	No aplica	NTU

3.2 Activación de los Microorganismos eficaces

La activación de los microorganismos eficaces se realizó mediante las indicaciones dadas por el fabricante, las cuales se pueden ver en el anexo 1, cuya duración fue de 10 días, debido a que el estudio experimental se realizó en la ciudad de Quito, cuya temperatura varía de 9 a 21 °C, considerándose por lo general un clima frío y el fabricante menciona que la activación de los microorganismos en climas fríos es aconsejable de 10 días para su correcta activación.

A la vez, se midió el pH cada 4 días, y se liberó los gases cada 3 días hasta su activación. En la Figura 5 se observa la tira de tornasol usada para medir el pH.



Figura 5. Medición del pH al activar los microorganismos

Como se visualiza en la Tabla 7 y Figura 6 el pH en el tiempo transcurrido llegó a tener un valor de 3 en el lapso de 10 días, lo cual indica que el producto está listo para usarse e incluso se evidenció el “olor a chicha” mencionado por el fabricante.

Tabla 7. Variación de pH para la activación de los EM

Días	pH
1	5
5	5
9	3
10	3



Figura 6. Curva de variación de pH

3.3 Aplicación de EM al agua residual de Grupo Rossi

Para la aplicación de los microorganismos se utilizó el volumen indicado en la Tabla 4, 10 L para el análisis experimental, los cuales fueron colocados en los recipientes tal y como se observa en la Figura 7, y de igual manera fueron colocados los sistemas de aireación en los recipientes correspondientes, las concentraciones usadas fueron de 2.5 y 5% es decir de 25 mL y 50 mL.



Figura 7. Inicio del tratamiento del agua residual

3.4 Calidad del agua tratada con EM

En la Tabla 8 se ven los resultados obtenidos al realizar los análisis pertinentes al cabo del tiempo establecido para este proceso experimental, al cabo de 10 días contados desde la primera aplicación de los microorganismos eficaces activos al agua residual.

Las diferentes concentraciones servirán para una comparación entre ellas, con el fin de determinar cuál concentración da mejores resultados, además, si la aplicación de un sistema de aireación influye en gran medida a los resultados después del tratamiento propuesto.

Tabla 8. Valores obtenidos después del tratamiento

Parámetros de control		(mg/L)			NTU
		DQO	Nitratos	Nitritos	Color aparente
AGUA RESIDUAL		2175	63	170	> 500
EM sin Airear	Concentración 2.5%	540	9	20	> 500
	Concentración 5%	540	9	20	> 500
EM Aireado	Concentración 2.5%	345	15.1	46	> 500
	Concentración 5%	254	2.8	5	313

El tratamiento aplicado al agua residual muestra mejorías en la calidad del afluente, no obstante los valores que llegan a estar bajo el límite máximo permisible a la normativa TULSMA libro VI para descargas al alcantarillado, son las concentraciones de 2.5 y 5% aireadas.

La concentración que muestra mejores resultados es la de 5% aireado, debido a una mayor cantidad de microorganismos presentes en el agua tratada, que ayudaron a la degradación acelerada de la materia orgánica a diferencia de las otras concentraciones, pese que la concentración de 2.5% aireada, estaba bajo las mismas condiciones.

Además, en los valores obtenidos de nitratos se ve su reducción de 63 mg/L a 15.1 y 2.8 mg/L y de nitritos de 170 mg/L a 45 y 5 mg/L respectivamente. Cuando se toman en consideración las concentraciones antes mencionadas, con lo que se verificó que el uso de los microorganismos eficaces si disminuyó la carga de contaminantes, lo cual ayudó a los parámetros a estar bajo la norma.

En cambio, la DQO de los tratamientos con las concentraciones de 2.5 y 5% sin airear, tras el análisis dio un valor de 540 mg/L para ambas concentraciones, pese a que este valor se encuentra reducido de la concentración inicial de la DQO de 2 175 mg/L, el valor obtenido no está bajo la normativa vigente.

Esta similitud de valores se podría ser a dos posibles razones: que en el recipiente cuya concentración inicial de 2.5% equiparó la concentración del recipiente con 5% de concentración, debido a que la reproducción y el desarrollo de los microorganismos fue posible a la abundancia de la materia orgánica. O a su vez en el recipiente de 5% de concentración se redujo su concentración o se mantuvo siempre constante, debido a la falta de materia orgánica. Además, cabe mencionar que debido a la ausencia de oxígeno en los recipientes el desarrollo de los microorganismos no fue tan rápido como en los sistemas aireados.

Al comparar los sistemas aireados de los no aireados, se puede mencionar, que los mejores resultados se obtienen con los sistemas aireados, especialmente con la concentración de 5% aireado, debido a que al airear el sistema se brinda mejores condiciones para el desarrollo de los microorganismos.

No obstante, si comparamos los sistemas no aireados con el sistema de 2.5% aireado, se ve una diferencia en cuanto a la reducción de los nutrientes, en donde se obtuvieron los siguientes resultados: para nitratos de 9 y 15.1 mg/L y para nitritos 20 y 46 mg/L respectivamente.

Al comparar las concentraciones de 2.5% aireada y no aireada, se concluye que el sistema sin aireación da buenos resultados en la reducción de los nutrientes, pero no reduce la DQO en comparación al sistema aireado. Tal vez con un tiempo de retención mayor se logre la reducción de la DQO, para que este bajo la normativa.

Por lo tanto, todos los sistemas con las diferentes variables cumplieron con la reducción de la materia orgánica, pero como ya se mencionó con anterioridad, los tratamientos que fueron aireados muestran que los parámetros analizados están dentro de la normativa, no obstante los sistemas sin airear pueden ser útiles aunque no del todo si se desea alcanzar valores bajo la normativa. Asimismo, se podría probar con una concentración inicial mayor e ir reduciéndola conforme pase el tiempo.

3.5 Eficiencia de los EM

Para la obtención de la eficiencia del tratamiento experimental se empleó la siguiente fórmula:

$$E = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100$$

Ecuación 3.1 Porcentaje de eficiencia en remoción

(Caicedo, 2017)

Donde:

E = eficiencia (%)

Ci = concentración inicial

Cf = concentración final

En la Tabla 9 se muestran los porcentajes de eficiencia en remoción que dieron como resultado del tratamiento aplicado al agua residual.

Tabla 9. Porcentajes de eficiencia del tratamiento aplicado

Parámetros de control		DQO	Nitratos	Nitritos	Color aparente
EM sin Airear	Concentración 2,5%	75.17%	85.71%	88.24%	0%
	Concentración 5%	75.17%	85.71%	88.24%	0%
EM Aireado	Concentración 2,5%	84.14%	76.03%	72.94%	0%
	Concentración 5%	88.32%	95.56%	97.06%	37.40%

Como se observa, los mayores porcentajes de eficiencia en remoción se obtienen con el tratamiento aireado con una concentración de 5%, como resultado da un valor del 88.32% de remoción para la demanda química de oxígeno (DQO), 37.40% para color aparente, 95.56% para nitratos y 97.06% para nitritos, por ende, este tratamiento resulta ser el más efectivo a comparación de las demás concentraciones usadas.

A diferencia de la concentración de 2.5% de EM aireado, también presenta una gran eficiencia de remoción para la DQO de 84.14%, pero menor eficiencia de remoción para los nutrientes, los cuales tienen una eficiencia de 76.03% para nitratos y 72.94% para nitritos. No obstante, presenta una remoción de 0% para color aparente, estos resultados bajos se deben a la disminución en la concentración inicial de los EM, a pesar de esto este sistema se considera bajo normativa.

Lo contrario sucede con los tratamientos sin airear, en donde se reflejan los mismos resultados sin importar la concentración aplicada, con lo que se obtuvo valores de remoción 75.17% para la DQO, este valor se mostró cercano a lo visto en bibliografía de 71.65% de remoción. No obstante, con este valor de la eficiencia no se logró que el agua residual este bajo norma, debido a la falta de oxígeno para el correcto desarrollo de los microorganismos.

A pesar de que la concentración de 2.5 % sin airear, no cumplió con la normativa en el caso de la DQO, se obtuvieron excelentes porcentajes de remoción en cuanto a la remoción de nutrientes al compararlo con la concentración de 2.5% aireado, dio valores de remoción de 85.71 % para nitratos y 88.24% para nitritos, por tal razón el sistema sin airear es eficaz para

la disminución de nutrientes presentes en el agua residual, pero no es muy factible para la remoción de la DQO, debido al desarrollo lento de los microorganismos por la ausencia del oxígeno necesario para su crecimiento. En definitiva, si se desea bajar la contaminación de un agua residual, enfocados en la disminución de nutrientes, un sistema sin airear es suficiente sin tomar en cuenta la concentración usada, y si se desea aumentar el porcentaje de remoción de la DQO, es necesario dejar el afluente un mayor tiempo en el tratamiento.

En cuanto a la remoción del color aparente el único con un valor de eficiencia diferente de 0% es la concentración de 5% aireado, cuyo valor es de 37.40%. Por ende, se puede mencionar que los microorganismos eficaces han consumido en gran mayoría la materia orgánica suspendida en el agua residual.

Como se aprecia en las Figura 8 y 9, los sistemas tienen un porcentaje de remoción mayor al 70% de la materia orgánica presente en el agua residual láctea de Grupo Rossi, con lo que se puede mencionar que el uso de los EM ya sea con un sistema de aireación o no, es capaz de reducir la carga orgánica, pero al realizar el sistema sin aireación se necesitaría un mayor tiempo de retención. En cambio, para el sistema aireado se necesita menor tiempo de retención para poder tratar el agua residual para que este bajo la normativa vigente.

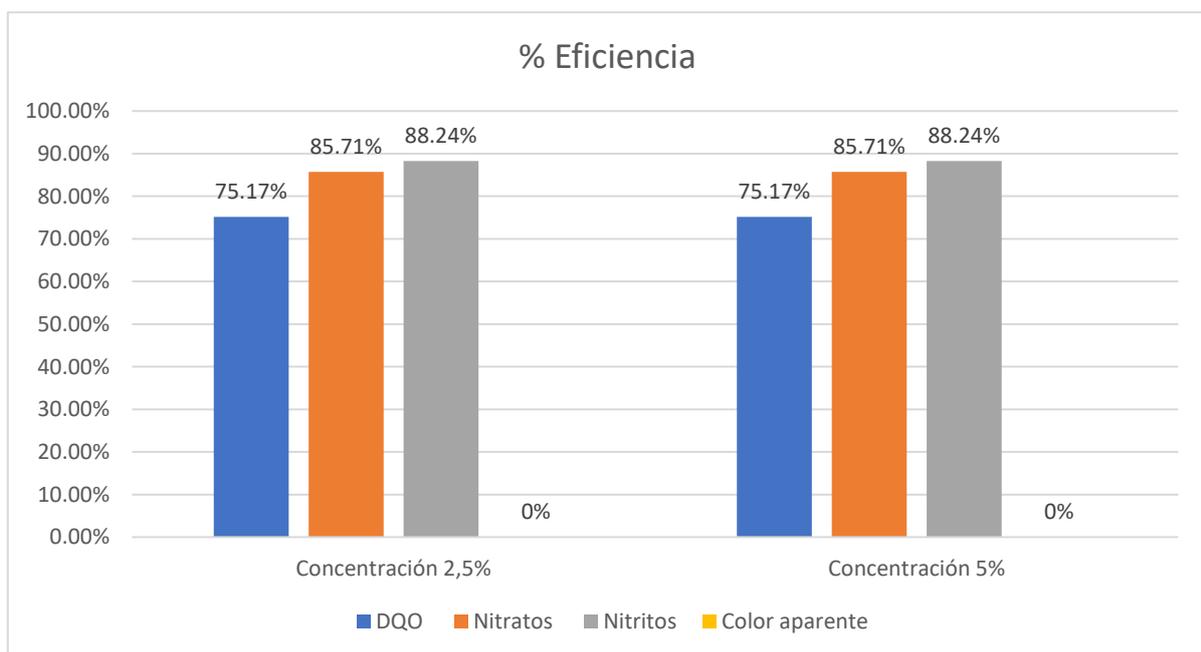


Figura 8. Porcentaje de eficiencia del tratamiento sin airear

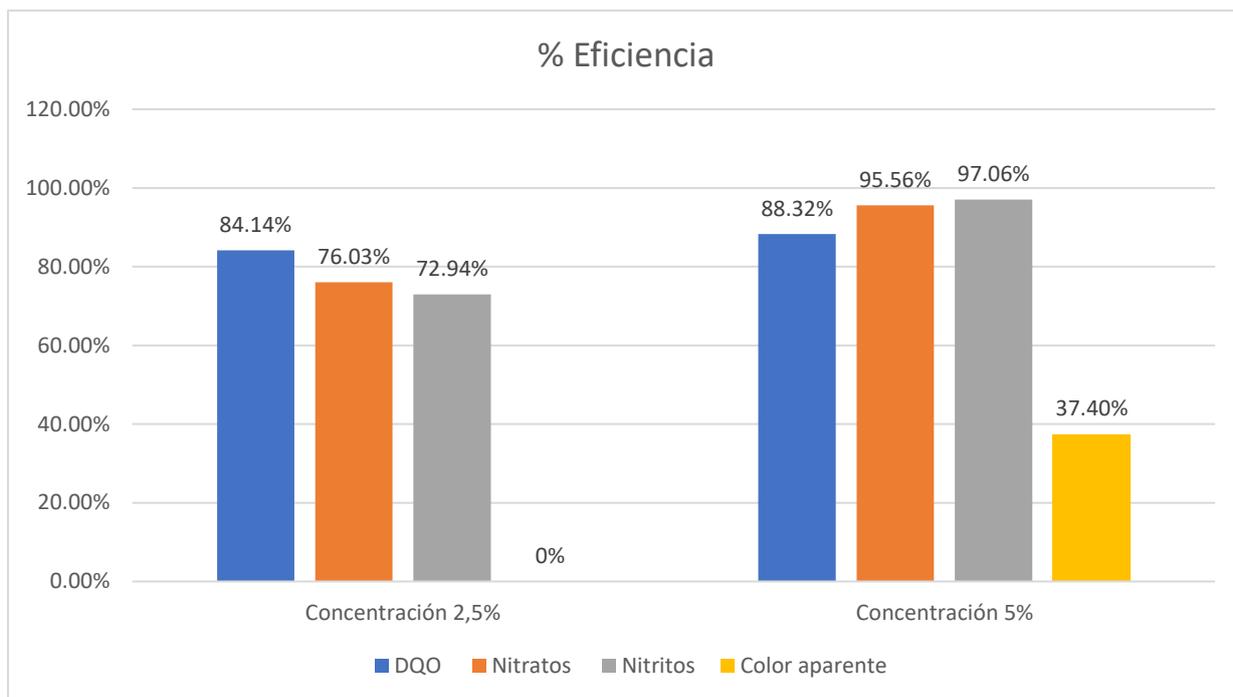


Figura 9. Porcentaje de eficiencia del tratamiento aireado

3.6 Tratamiento combinado (EM y lombrifiltro)

Realizado el tratamiento correspondiente con los microorganismos eficaces, se procedió a seleccionar el sistema que dio los mejores resultados, el cual fue el sistema aireado con la concentración de 5%, dicho efluente tratado fue regado en un sistema Tohá (lombrifiltro), con el fin de comprobar la existencia de una mejoría al agua previamente tratada. Como se visualiza en la Tabla 10, existe una disminución en casi todos los parámetros, los cuales se encuentran bajo el límite máximo permitido por la normativa, no obstante, los valores de DBO₅ y DQO se encuentran fuera de norma, esto se debería posiblemente al aserrín usado en el lombrifiltro o también a los humos generados por las lombrices.

También cabe mencionar que el valor de fosfatos se incrementó, este aumento es debido a que el reactivo PhosVer3® usado pudo tener contacto con agua antes de su uso, por tal motivo el valor resultante no es correcto. Asimismo, el valor de coliformes totales, también se encuentra elevado por la presencia del humus generado por las lombrices.

Tabla 10. Valores obtenidos después del tratamiento combinado (EM y Lombrifiltro)

Parámetro	Valores de Grupo Rossi	Tratamiento combinado	Límite máximo permitido	Unidades
Aceites y grasas	246.4	13.6	70	mg/L
Coliformes Totales	> 1600	16000	No aplica	NMP/100 mL
Color Aparente	> 500	>500	No aplica	PtCo

Parámetro	Valores de Grupo Rossi	Tratamiento combinado	Límite máximo permitido	Unidades
DBO ₅	2 300	560	250	mg/L
DQO	2 175	1022.5	500	mg/L
Fosfatos	16	125	No aplica	mg/L
Hierro	3.8	1	25	mg/L
Manganeso	4.47	0.8	10	mg/L
Nitratos	63	35	No aplica	mg/L
Nitritos	170	50	No aplica	mg/L
Nitrógeno Amoniacal	9	5	No aplica	mg/L
Nitrógeno Total Kjeldahl	11.9	5	60	mg/L
SST	326	193	220	mg/L
Sulfatos	50	26	400	mg/L
Tensoactivos	0.5	0.21	2	mg/L
Turbidez	> 1000	>1000	No aplica	NTU

Como se aprecia en la Figura 10 y la Tabla 11, existen eficiencias con valores negativos por los motivos antes mencionados respecto a los fosfatos y coliformes totales. A su vez el sistema combinado muestra porcentajes de remoción del 94% pertenecientes a los aceites y grasas, 82% para manganeso, seguido de un 76% para la remoción de la DBO₅, 71% para nitritos.

Tabla 11. Eficiencia del sistema combinado (EM y Lombrifiltro)

Parámetro	Eficiencia del sistema combinado
Aceites y grasas	94%
Coliformes Totales	-900%
Color Aparente	0%
DBO ₅	76%
DQO	53%
Fosfatos	-681%
Hierro	74%
Manganeso	82%
Nitratos	44%
Nitritos	71%
Nitrógeno Amoniacal	44%
Nitrógeno Total Kjeldahl	58%
SST	41%

Parámetro	Eficiencia del sistema combinado
Sulfatos	48%
Tensoactivos	58%
Turbidez	0%

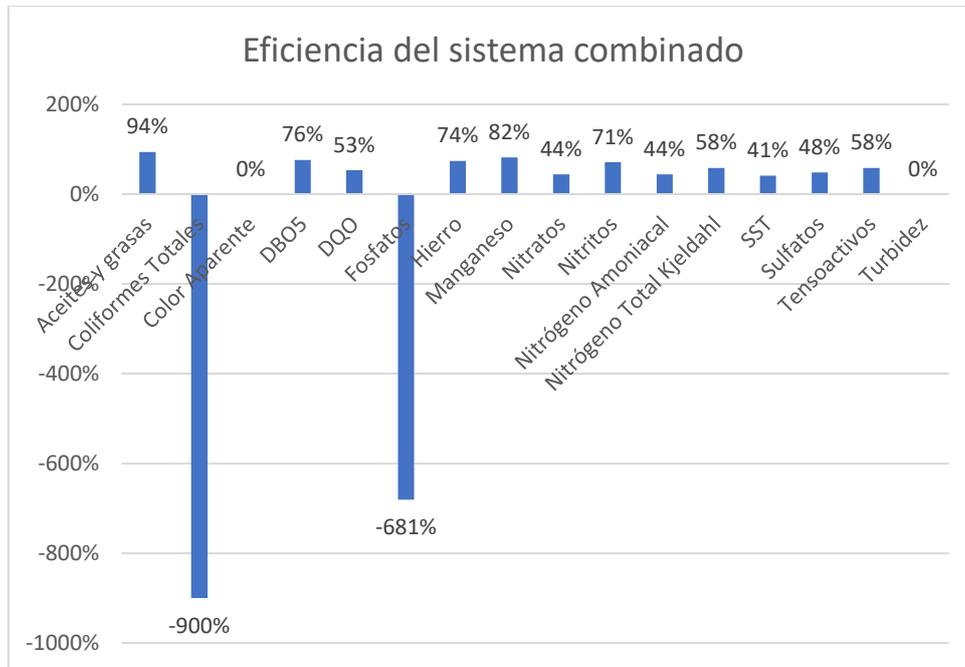


Figura 10. Eficiencia del sistema combinado

3.7 Comparación con un tratamiento convencional

El agua residual de Grupo Rossi es totalmente biodegradable por la gran cantidad de materia orgánica presente en ella, por ende, la implementación de un tratamiento secundario es indispensable. No obstante, la situación actual de la empresa dificulta el proceso biológico debido a la acumulación de grasas en todo el trayecto del afluente por la falta de trampas de grasas adecuadas, pues la empresa tiene varios pozos de revisión conectados entre sí, los cuales funcionan como trampas. En estos dispositivos existe una retención mínima de grasas, y su mantenimiento se vuelve constante, además, estos generan malos olores y la presencia de insectos en el último tramo del afluente el cual está a cielo abierto.

Por ende, la implementación de una trampa de grasas o sino la modificación de los antepenúltimos pozos para hacerlos trampa de grasas es primordial antes de cualquier tratamiento biológico, ya sean aerobios o anaerobios.

En comparación con otra propuesta para Grupo Rossi como es la aplicación del sistema Tohá (lombrifiltro) se puede deducir algunas ventajas y desventajas del tratamiento con microorganismo eficientes (EM) con aireación.

Cabe mencionar que el sistema de lombrifiltro se usan lombrices californianas, por su gran adaptabilidad y resistencia, además, este sistema usa cuatro estratos los cuales están repartidos de la siguiente forma.

• **Primer estrato**

Conformado por tierra, lombrices y humus.

• **Segundo estrato**

En el que se encuentra aserrín o viruta, usados especialmente por su capacidad de adsorción, lo que permite la retención de contaminantes inorgánicos, y a la disminución de nitrógeno y proveyendo de alimento a las lombrices.

• **Tercer estrato**

Conformado por grava que da soporte al medio filtrante, cuya finalidad es evitar la pérdida por el drenaje.

• **Cuarto estrato**

Conformado por piedras de río que ayudan a la filtración, ya que genera una biopelícula en donde se da la acumulación de microorganismo.

En la Tabla 12 se aprecia la comparación entre los dos tratamientos biológicos propuestos a la empresa. Los cuales son el uso de un lombrifiltro y microorganismos eficaces para el tratamiento de las aguas residuales de Grupo Rossi, los que ayudarían a la disminución de la carga contaminante del afluente, por lo que la empresa tiene la decisión de implementar o no implementar los tratamientos propuestos.

Tabla 12. Comparación entre EM y Lombrifiltro

Factores	EM	Lombrifiltro
Área	Por el tiempo de retención necesario para el tratamiento, se necesita de una mayor área.	Se puede usar un área menor, siempre y cuando se priorice el tiempo de retención hidráulica (TRH) necesario para el tratamiento.

Factores	EM	Lombrifiltro
Remoción de materia orgánica y nutrientes	Posee mayor eficiencia en la remoción de DQO.	No alcanza una alta remoción de DQO, pero si reduce comparablemente los nitritos y nitratos.
Tratamientos Adicionales	Se necesita de una remoción de sólidos formados como producto del tratamiento.	Se necesita la implementación de un tanque de homogenización para el correcto funcionamiento del sistema. Además, se genera humus de lombriz que puede ser comercializado.
Consumo energético	Uso de un sistema de aireación mecánica para generar un medio aerobio y obtener la mayor eficiencia.	No necesita de un sistema de aireación, pero de no darse una alimentación a gravedad, se necesitará la implementación de bombas de impulsión.
Operación y mantenimiento	Por su tiempo de retención necesario para la remoción de la materia orgánica, se debe cuidar la presencia de vectores. Y a su vez, mantener las condiciones adecuadas para los EM, y a su vez tratar de controlar los factores externos al sistema, para que este no se vea afectado.	Se debe asegurar las condiciones adecuadas para el desarrollo de las lombrices, como: humedad, temperatura y pH. Además, del cambio de sustrato por las condiciones del afluente y el humus tiene que ser removido habitualmente.

En la Tabla 13 es posible mirar que el sistema de EM aireado de 5% muestra mejor rendimiento en los parámetros de control, con lo que se obtuvo valores de eficiencia de 88.32%, 95.56%, 97.06% para DQO, nitratos y nitritos respectivamente, a comparación ya con los valores eficiencia obtenidos tras la aplicación del sistema combinado, cuyos porcentajes son 53%, 44% y 71% respectivamente. Por lo que se determina que la aplicación del sistema combinado no es beneficioso en la remoción de contaminantes. Estos cambios en los porcentajes de remoción pueden deberse, a factores como lo son el aserrín usado en el lombrifiltro, la presencia de las lombrices, o a su vez la saturación del mismo sistema de lombrifiltro.

Por tal motivo no se aprecia una mejora en la utilización de los sistemas juntos, a pesar de ello una forma de comprobar el aporte de los sistemas juntos, puede ser el plantear un orden distinto, es decir primero realizar el tratamiento por el lombrifiltro y posteriormente realizar el tratamiento con los microorganismos eficaces, para verificar su aporte como un sistema combinado.

Sin embargo, al realizar la comparación del sistema de lombrifiltro con el uso de los microorganismos eficaces, se nota una gran diferencia en la eficiencia de remoción de los nutrientes. Se obtuvieron porcentajes superiores el sistema del lombrifiltro, en donde se obtienen valores del 98.57% para nitratos y un 99.99% para nitritos, datos proporcionados por las tesis Lara y Ruchi, con lo que se determinó que el uso del lombrifiltro ayuda en gran medida a la reducción de los nutrientes en el agua residual de Grupo Rossi.

Y de igual forma el porcentaje de remoción para la DQO es de 81.14%, lo cual ocasiona que este parámetro se encuentra bajo la normativa, no obstante, una mejor remoción de la DQO se da por la aplicación de los microorganismos, pero como ya se mencionó antes la principal diferencia entre los dos tratamientos es el tiempo de retención del afluente. Si bien se ha dicho que el sistema de microorganismos eficaces aireado requiere de un menor tiempo de retención, el cual está dado en días, el lombrifiltro requiere de horas para tratar el agua residual, con su única desventaja que el sistema puede saturarse debido al grado de contaminación del agua residual.

Tabla 13. Comparación entre el sistema combinado y EM aireado de 5%

Parámetros de control	EM Aireado 5% (mg/L)	Eficiencia de EM Aireado	Lombrifiltro (mg/L)	Eficiencia del Lombrifiltro	Sistema combinado	Eficiencia del Sistema combinado	Agua sin tratar (mg/L)
DQO	254	88.32%	410	81.14%	1022.5	53%	2175
Nitratos	2.8	95.56%	0.9	98.57%	35	44%	63
Nitritos	5	97.06%	0.006	99.99%	50	71%	170

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- La concentración de los microorganismos eficientes usada en el tratamiento determinara la eficiencia del sistemas, a su vez el dar las condiciones óptimas al sistema, las cuales pueden ser variadas respecto a los recursos con los que se cuenten, ya sea en un aumento en la temperatura, la implementación de un sistema de aireación o de colocar una concentración mayor de microorganismos eficaces al inicio y al pasar el tiempo disminuir dicha concentración.
- El agua residual de la empresa Grupo Rossi es muy biodegradable por la relación DBO₅ y DQO existente, por tal razón el implementar un tratamiento biológico sería muy beneficioso para la empresa.
- Debido a la carga de contaminantes orgánicos del agua residual, el desarrollo de los microorganismos no se ve afectado por falta de nutrientes, si no, su disminución es debido a la ausencia de oxígeno.
- Los microorganismos eficaces usados en esta evaluación resultaron muy eficientes en la remoción de las cargas contaminantes del agua residual, a temperaturas ambientales normales, en ausencias de lluvias, asimismo, para obtener mejores resultados en la eficiencia los microorganismos eficientes deben estar en un ambiente oxigenado.
- El uso de los microorganismos eficaces es adecuado para reducir la carga de contaminantes, por tal motivo no hay necesidad de implementar un sistema combinado de EM y un lombrifiltro.

4.2 Recomendaciones

- Realizar un pretratamiento al afluente, para que los aceites y grasas no interfieran con el tratamiento biológico aplicado.
- Tener un riguroso control del pH para la correcta activación de los microorganismos eficaces.
- Experimentar con distintas concentraciones de microorganismos eficaces activados o con productos similares para evaluar su efectividad.
- Realizar una dosificación más continua, para reducir el tiempo de retención del agua residual, esto en aguas mucho más contaminas.

- En caso de implementar el sistema combinado (EM y lombrifiltro), se recomienda llevar el efluente primero por el lombrifiltro, y a continuación llevar el efluente ya tratado al sistema de microorganismos eficaces para obtener la efectividad deseada.
- Medir el pH de los microorganismos eficaces activos, después de a ver usado una porción de ellos, además, de la liberación de gases para evitar la muerte de los microorganismos.
- Realizar la medida del pH con un pH-metro (potenciómetro), para tener medidas más exactas, y controlar de mejor manera la activación de los microorganismos.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anibal, A. M. (2012). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIREACIÓN PARA UNA PLANTA DE LODOS ACTIVADOS EN ZOFRANCA MAMONAL*. 101.
- C. I. L. Ecuador. (2020, noviembre 9). *La innovación marca los procesos del sector lácteo ecuatoriano*. Centro de la Industria Láctea del Ecuador. <https://www.cilecuador.org/post/la-innovación-marca-los-procesos-del-sector-lácteo-ecuatoriano>
- C. I. L. Ecuador. (2021, mayo 31). *Industria láctea nacional: Con buen pronóstico para segundo trimestre de 2021*. Centro de la Industria Láctea del Ecuador. <https://www.cilecuador.org/post/industria-láctea-nacional-con-buen-pronóstico-para-segundo-trimestre-de-2021>
- Caicedo, J. A. C. (2017). *Diseño, construcción y evaluación de un prototipo biológico compuesto de Eisenia fetida y Agave filifera, para el tratamiento de aguas residuales en la granja del Ministerio de Agricultura, Acuacultura, Ganadería y Pesca, Riobamba 2015*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6321>
- Coba. (2020, julio 16). *En un sector lácteo golpeado hay quienes ven oportunidades*. *Primicias*. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/sector-lacteo-golpe-oportunidades-negocio/>
- EMBIOECSA. (2021, julio 26). *EM•1® – EMBIOECSA*. <https://embioecsa.com/projects-archive/em1agricultura/>

- Faife, E., Roget-Guevara, D., Fandiño-Rodríguez, C., Pérez-Bermúdez, I., Hoz-Izquierdo, Y., Tortoló-Cabañas, K., & Michelena, G. (2020). *Empleo de microorganismos eficientes como alternativa para el tratamiento de residuales. Revisión bibliográfica. 52*, 30-40.
- Herrera, O. F., & Corpas, E. J. (2013). Reducción de la contaminación en agua residual industrial láctea utilizando microorganismos benéficos. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 57-67.
- Hoyos, A. (2010). Microorganismos eficientes y su beneficio para la agricultura y el medio ambiente. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 2(2), 42-45.
<https://doi.org/10.46571/JCI.2010.2.7>
- Luque González, A. (2018). *LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE LAS INDUSTRIAS LÁCTEAS: EL CASO DE ECUADOR*. <https://repositorio.pucesa.edu.ec/handle/123456789/2605>
- Martínez, K. E. P., & Yugcha, F. J. C. (2018). *Diseño de una planta de tratamiento para agua de pozo en la industria láctea "Grupo Rossi"*.
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/15515>
- Mascota moda. (s. f.). *Motor aireador mediano acuarios peceras*. Recuperado 30 de agosto de 2021, de <https://www.mascotamoda.com/acuarios-y-estanques/motores-aire-y-difusores/motor-aireador-mediano-acuarios-peceras-detail>
- Quille, L. Q. (2018). Microorganismos eficaces y lombrifiltro para la remoción de residuos lácteos de la planta quesera "La Bodeguilla – Valle de Moquegua". *Universidad Nacional del Altiplano*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/9483>
- Quiroz, S., Menéndez, C., & Izquierdo, E. (2019, noviembre 19). *Ediciones UTM*.
https://www.utm.edu.ec/ediciones_utm/component/content/article/24-libros/729-tratamiento-de-aguas-residuales?Itemid=101
- Rivera, J. H. (2016). *Propuesta para la implementación de planta tratadora de residuos líquidos en una empresa de lácteos*.
<https://repositorio.iberopuebla.mx/handle/20.500.11777/1488>
- TULSMA. (s. f.). *Libro VI del TULSMA*. Recuperado 12 de septiembre de 2021, de <https://chavezolutions.com/wp-content/uploads/2020/03/ANEXO-1.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1: FICHA TÉCNICA DE MICRORGANISMO EFICACES



Ficha Técnica





ORIGEN

Microorganismos Eficaces EM-1® es un inoculante microbiano natural que contiene microorganismos benéficos desarrollado por el Dr. Teruo Higa, profesor de la Universidad de Ryukyus de Okinawa, Japon; para promover el mejoramiento de suelos, tratamiento de materia orgánica, mejoramiento de agua, y otras aplicaciones para agricultura y ambiente.

DESCRIPCIÓN

Microorganismos Eficaces EM-1® está compuesto por microorganismos benéficos que mejoran las condiciones del medio en el que son aplicados. En suelos desplaza microorganismos patógenos, acelera la descomposición de la materia orgánica y promueve la generación de sustancias bioactivas, lo cual favorece el desarrollo y crecimiento de los cultivos. Su efecto sobre la materia orgánica permite el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en bioremediación ambiental.

CONTENIDO MÍNIMO UFC/mL

<i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	2.4×10^5
<i>Lactobacillus Casei</i>	1.3×10^7

DATOS FÍSICOS

Apariencia:	Solución color marrón o rojizo
Olor:	Fuerte a olor a fermento
pH:	<3,5





ACTIVACIÓN DEL EM-1

- Mezclar 5% de EM-1 y 5% de melaza, completar el 90% restante con agua dulce. Ej.: 10L de EM-1 + 10L de Melaza + 180L agua dulce = 200 litros de *EM Activado*.
- Colocar la mezcla en un envase plástico, sin contaminación química, limpio y herméticamente cerrado.
- Dejar escapar los gases generados en el interior del envase plástico.
- La mezcla debe permanecer durante 5 a 7 días a la sombra antes de su aplicación, se debe controlar que el pH sea inferior a 3.5; si es mayor, desistir de su uso.

MODO DE APLICACIÓN

EM-1 puede ser utilizado luego de su activación de las siguientes maneras:

- INOCULACIÓN DE SUELOS: Aplicaciones al 2-5% de *EM Activado* (puede utilizarse en la mezcla de la fertilización foliar en ferti-riego o aguillones) por hectárea.
- CONTROL DE MALOS OLORES Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: Aplicaciones al 5% de *EM Activado* al inicio; 2% conforme a resultados.
- ELABORACIÓN DE ABONO ORGÁNICO: Aplicaciones del 5 al 10% de *EM Activado* de acuerdo a las características del material.

CERTIFICACIÓN

El EM-1 cuenta con la certificación de KIWA BCS OKO-GARANTIE GMBH, como insumo compatible en la producción agrícola orgánica.



Para resolver cualquier duda sírvase
contactar a nuestro Servicio Técnico en la
siguiente dirección:

Dirección: Km 3.5 Vía Durán Boliche, Kilómetro
3K Industrial MZ 3K SL 1/04. Durán Ecuador

Celular: 0968096467 / 0991229229

Correo: info@embioecsa.com

Fabricado por:



Bajo licencia de:



**ANEXO 2: RESULTADOS DEL LABORATORIO
CENTROCESAL**



CENTRO DE SOLUCIONES ANALITICAS INTEGRALES
CENTROCESAL Cía. Ltda.
AREA QUÍMICA

INFORME DE ENSAYO No.: 42258-01-03-09-21-Q

Datos del Cliente

Cliente: EVAS LLUGLLA BRYAN FERNANDO
Representante: Bryan Evas
Dirección: Ciudadela Ibarra
Teléfono: 099 624 6907

Datos del ítem de Ensayo

Identificación de la Muestra: AGUA DE EMPRESA GRUPO ROSSI
Descripción de la Muestra: Líquido turbio café con sólidos negros
Contenido declarado: 3 frascos
Conservación de la Muestra: Ambiente

No. Lote o código: ND
Fecha de elaboración: ND
Fecha de caducidad: ND

Datos de Muestreo, Recepción y Análisis

Responsable toma de muestra: Por el cliente
Responsable muestreo: NA
Referencia: Los resultados se aplican a la muestra tal cual como se recibió
Parámetros acreditados muestreo: NA

Fecha toma de muestra: ND
Fecha de recepción: 2021-09-03
Fechas de ensayo: 2021-09-03/13
Fecha de reporte: 2021-09-13

Resultados analíticos: Pag.: 1 de 1

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO
Acúles y Grasas	POE: 7.2.50 EPA 1664A	mg/L	13,60 ± 3,28
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	POE: 7.2.53 SM 5210	mg/L	580 ± 17
Detergentes aniónicos, MBAs Tensoactivos (SAAM)	POE: 7.2.55 SM 5540-C	mg/L	0,21 ± 0,01
Nitrógeno total *	SM 4500-N Kjedhal	mg/L	5,00 ± 0,30
Nitrógeno amoniacal *	SM 4500-N	mg/L	5,00 ± 0,30
Sólidos suspendidos totales	POE: 7.2.36 SM 2540-D	mg/L	193 ± 8

POE: Procedimiento Interno SM Standard Method APHA (Método de Referencia)

Observaciones:

- Responsable de análisis: CA, RR, PT, HW

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. SAE LEN 12-091
Los resultados marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de acreditación del SAE



Q.F. Andres Cumba A.
CENTROCESAL Cía. Ltda.
Andres Cumba A.
RESPONSABLE DE SUPERVISIÓN

Notas:

ND: No declara NA: No aplica

- NOTA 1: Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas de este reporte.
- NOTA 2: Los ensayos son realizados a temperatura ambiente excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales de temperatura y humedad no influyen en este análisis.
- NOTA 3: Muestras recibidas en el laboratorio e información de las mismas proporcionada por el cliente. CENTROCESAL Cía. Ltda. se responsabiliza únicamente de los análisis.
- NOTA 4: La declaración sobre la incertidumbre de medición, se puede solicitar al laboratorio y será información cuando el cliente lo requiera o cuando afecte a los límites de una especificación.
- NOTA 5: El tiempo de permanencia de las muestras en el laboratorio corresponde a perecibles: 48 horas y no perecibles: 20 días desde la entrega del resultado.
- NOTA 6: Todas las actividades son realizadas en las instalaciones del laboratorio excepto donde se especifique.
- NOTA 7: La declaración de conformidad está dada de acuerdo a la guía ISO 98-4.
- NOTA 8: Los datos suministrados por cliente y los requisitos de recepción de ítem de ensayo que afectan a la validez de los resultados serán declarados en observaciones.
- NOTA 9: Toda información que sea proporcionada por el cliente y que afecte a la validez resultados, es exclusiva responsabilidad de quienes las emiten y no representa responsabilidad para CENTROCESAL.

Int.FOEL.7.8.1 Rev. 04 Anexo 1

Este informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente, sin la autorización escrita del Laboratorio

Av. América N31-232 y Av. Maestra de Jesús
Telfs: (593 2) 2239160 / 2232793 Fax: Ext. 102 Celular: 999649872
e-mail: info@centrocesal.com / info@centrocesal.com
QUITO - ECUADOR



CENTRO DE SOLUCIONES ANALITICAS INTEGRALES
CENTROCESAL Cia. Ltda.
AREA MICROBIOLOGICA

INFORME DE ENSAYO No.: 42258-01-03-09-21-M

Datos del cliente

Cliente: BRYAN FERNANDO EVAS LLOGLLA
Representante: Bryan Evas
Dirección: Ciudadela Ibarra
Teléfono: 995348907

Datos del ítem de ensayo

Identificación de la Muestra: AGUA DE EMPRESA GRUPO ROSSI
Descripción de la Muestra: Líquido turbio café con sólidos negros
Contenido declarado: 3 frascos
Conservación de la Muestra: Refrigeración
No. Lote o código: ND
Fecha de elaboración: ND
Fecha de caducidad: ND

Datos de Muestreo, Recepción y Análisis

Responsable toma de muestra: Por el cliente
Fecha de toma de muestra: ND
Responsable muestreo: NA
Fecha de recepción: 2021-09-03 09:00
Referencia: Los resultados se aplican a la muestra tal cual como se recibió
Fecha de ensayo: 2021-09-03 14:50:00
Parámetros acreditados muestreo: NA
Fecha de reporte: 2021-09-13

Resultados analíticos: Pag.: 1 de 1

Cantidad de muestra analizada por método: 10, 1, 0,1, 0,1mL Fecha de lectura: 2021-09-06

PARAMETRO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
Coliformes Totales NMP	POE: 7,2,40 SM 9221 B y C Número más probable	NMP/100mL	16000

UFC= UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS
= 12 + 3 + 1* aserocio de muestreo en la muestra diluida

POC: Procedimiento Interno
SM: Standard Método

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. SAE LEN 12-001
Los resultados marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

Observaciones:

1. Responsable de análisis: NA

Q.F. Andrea Cumba A.
CENTROCESAL Cia. Ltda.
RESPONSABLE DE SUPERVISIÓN



Notas:

- ND: No declara
NA: No aplica
Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas de este reporte.
NOTA 1: Los ensayos son realizados a temperatura ambiente excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales de temperatura y humedad no influyen en este análisis.
NOTA 2: Muestras recibidas en el laboratorio e información de las mismas proporcionada por el cliente. CENTROCESAL Cia. Ltda. se responsabiliza únicamente de los análisis.
NOTA 3: La declaración sobre la incertidumbre de medición, se puede solicitar al laboratorio y será informada cuando el cliente lo requiera o cuando afecte a los límites de una especificación.
NOTA 4: El tiempo de permanencia de las muestras en el laboratorio corresponde a perecibles: 48 horas y no perecibles: 20 días desde la entrega del resultado.
NOTA 5: Todas las actividades son realizadas en las instalaciones del laboratorio excepto donde se especifique.
NOTA 6: La declaración de conformidad está dada de acuerdo a la guía ISO 95-4
NOTA 7: Los datos suministrados por cliente y los requisitos de recepción de ítem de ensayo que afectan a la validez de los resultados serán declarados en observaciones.
NOTA 8: Toda información que sea proporcionada por el cliente y que afecta a la validez resultados, es exclusiva responsabilidad de quienes las emiten y no representa responsabilidad para CENTROCESAL.
NOTA 9:

(ver POE 7.3.1 Rev. 01 Anexo 1)

Este informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente, sin la autorización escrita del Laboratorio

Av. América 1511-252 y Av. Matiana de Jesús
Tel: (001 2) 2260942 / 2233792 Fax: Ext. 182 Celular: 996649072
e-mail: info@centrocesal.com / www.cen@centrocesal.com
QUITO - ECUADOR

ANEXO 3: MEMORIA TÉCNICA

Memoria Técnica

Implementación Microorganismos Eficientes en la Empresa Grupo Rossi

Bryan. F. Evas

Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Formación de Tecnólogos
Quito, octubre 2021

Índice

Capítulo 1. Generalidades.....	xi
1.1. Información general de la empresa.....	xi
1.2. Beneficiarios del proyecto.....	xi
1.3. Glosario.....	xii
1.4. Abreviaturas.....	xii
Capítulo 2. Problemática.....	xiii
2.1. Problemática.....	xiii
2.2. Justificación.....	xiii
Capítulo 3. Objetivos generales y específicos.....	xiii
3.1. Objetivo General.....	xiii
3.2. Objetivos Específicos.....	xiii
Capítulo 4. Desarrollo del proyecto.....	xiv
4.1. Marco teórico.....	xiv
4.1.1. Trampa de Grasas.....	xiv
4.1.2. Microorganismos eficaces.....	xiv
4.1.3. Activación de los microorganismos.....	xiv
4.2. Ejecución del proyecto.....	xv
4.2.1. Actividades y resultados del prototipo del sistema.....	xv
4.2.2. Escala de proyecto a nivel real y acciones previas.....	xvii
4.2.3. Dimensionamiento.....	xvii
4.2.4. Activación y aplicación de los EM.....	xvii
4.2.5. Evaluación de la viabilidad del proyecto.....	xviii
Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones.....	xviii
5.1. Conclusiones.....	xviii
5.2. Recomendaciones.....	xviii
Anexos.....	xix
Anexo 1: Video recopilatorio de la Experimentación.....	xix
Anexo 2: Vistas de la infraestructura del sistema.....	xx
Bibliografía.....	xxi

Capítulo 1. Generalidades

La disposición del afluente de las empresas lácteas, afecta al ambiente por la contaminación de agua, suelo y aire, debido a la falta de tratamientos, por lo cual, los propietarios de estas empresas comienzan a requerir la utilización de un tratamiento para sus aguas residuales, por lo que buscan opciones eficientes, de fácil manejo y accesibles económicamente.

De manera que, la aplicación de microorganismos eficientes, que anteriormente eran usados para mejorar la calidad del suelo, hoy en día son implementados como parte de tratamientos de aguas residuales con el fin de remover la materia orgánica, nutrientes y grasas, ya que, estudios han demostrado que los EM tienen una gran eficiencia al remover dichas sustancias, también, no generan subproductos contaminantes, siendo esta opción agradable para los propietarios de las empresas.

Por lo cual, en el presente trabajo busca dar a conocer los resultados obtenidos tras la fase experimental, de la depuración del agua residual de la Empresa Grupo Rossi a través de la utilización de microorganismos efectivos, la cual se dedica a la manufactura de productos derivados de la leche, y presentan una alta disponibilidad a llevar a cabo el proyecto.

1.1. Información general de la empresa

Grupo Rossi es una empresa dedicada a la elaboración de quesos y derivados con tecnología italiana desde 1980, ubicada en el cantón Mejía, provincia de Pichincha.

1.2. Beneficiarios del proyecto

Los beneficiarios del proyecto son los propietarios de la empresa Grupo Rossi, los cuales son acreedores de la memoria técnica con las especificaciones del proyecto a escala industrial. El siguiente documento tiene el fin de presentar los datos obtenidos tras la experimentación, además, de recomendaciones para su implementación en caso de que así lo deseen los propietarios. Asimismo, el desarrollo de este proyecto ayudará a las organizaciones gubernamentales como el municipio, si bien no tienen un beneficio directo, el tratamiento del agua residual da auge a la disminución de contaminación de la zona y evita daños al sistema de alcantarillado público. A su vez, se producirán empleos temporales para la construcción de las infraestructuras requeridas para el tratamiento y la capacitación para las operaciones de mantenimiento.

1.3. Glosario

- **Afluente:** líquido que sale de los procesos de la empresa, y entra a un sistema de tratamiento.
- **Biodegradable:** Dicho de una sustancia: Que tiene la capacidad de ser degradada por acción biológica.
- **Demanda química de oxígeno:** cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia orgánica por reacciones químicas.
- **Demanda biológica de oxígeno:** cantidad de dióxígeno consumido al degradar la materia orgánica, a través de procesos biológicos.
- **Efluente:** líquido que ha sido sometido a un proceso de tratamiento.
- **Materia orgánica:** Asociado a carbono orgánico disuelto o sustancias húmicas.
- **Nutrientes:** Sustancias que aseguran la conservación y desarrollo de un organismo.
- **Grasas:** Sustancia orgánica, a temperatura ambiente suele ser sólida, encontrándose en el tejido adiposo del cuerpo de los animales, y también en los vegetales

1.4. Abreviaturas

- **DQO:** Demanda química de oxígeno
- **DBO:** Demanda biológica de oxígeno
- **EM:** Microorganismos eficaces por sus siglas en ingles
- **EMA:** Microorganismos eficaces activados

Capítulo 2. Problemática

2.1. Problemática

Grupo Rossi es una empresa dedicada a la producción de quesos y derivados, en sus diversas actividades tanto de producción y limpieza de las instalaciones se genera un gasto de 10 m³/día, de los cuales 7 m³ pertenecen al agua residual el cual es vertido sin un tratamiento previo. Por lo tanto, el afluente no cumple con la normativa vigente para descargas al alcantarillado, por la falta de un tratamiento al agua residual, asociado a los costos elevados de implementación. Pero gracias al interés del dueño por contribuir al ambiente y no tener problemas con la normativa, se dio el paso a la investigación acorde al tratamiento biológico, con el uso de microorganismos eficientes para evaluar su eficacia en la depuración de su agua residual, consecutivamente esta se encuentre dentro de la normativa.

2.2. Justificación

El presente trabajo de investigación está enfocado en el uso de microorganismos eficaces para el tratamiento de las aguas residuales de Grupo Rossi, para verificar su posible implementación, en comparación a otros tratamientos existentes para el tratamiento biológico. El proyecto busca dar una solución que beneficie al dueño de la empresa y a las zonas alrededor. En donde se verificó diversas variables que pueden afectar los resultados esperados con la implementación de los microorganismos eficaces.

Capítulo 3. Objetivos generales y específicos

3.1. Objetivo General

Presentar los resultados obtenidos tras la evaluación microorganismos eficaces para el tratamiento del agua residual industrial de la empresa Grupo Rossi.

3.2. Objetivos Específicos

- Revisar la caracterización del agua residual de Grupo Rossi
- Aplicar los microorganismos eficaces con el fin de evaluar su eficiencia en el tratamiento del agua residual de Grupo Rossi
- Presentar los resultados obtenidos a la empresa y con el respectivo dimensionamiento a escala real

Capítulo 4. Desarrollo del proyecto

Para la experimentación con microorganismos eficientes (EM), se realizó una búsqueda bibliográfica sobre la activación y dosificación acorde a la cantidad de agua a tratar, cabe mencionar que la ejecución del proyecto se desarrolló con ausencia de aireación y aireado, para determinar el mejor tratamiento. De igual forma, es importante mencionar que el proceso descrito no tiene una alimentación continua, por lo que se asume un tiempo de retención mayor para alcanzar la remoción deseada de contaminantes. Además, que se debe implementar trampas de grasas para el correcto funcionamiento del sistema propuesto.

En caso de necesitar una mayor información revisar la Tesis: EVALUACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICACES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE GRUPO ROSSI, que se encuentra en el repositorio de la Escuela Politécnica Nacional.

4.1. Marco teórico

4.1.1. Trampa de Grasas

Infraestructura construida como una unidad del pretratamiento de aguas residuales, cuya finalidad es la separación de las grasas y el afluente.

4.1.2. Microorganismos eficaces

El profesor de japones de horticultura Teruo Higa de la universidad de Ryukyus en Okinawa, desarrollo una tecnología que se basa en la utilización de microorganismos eficaces, o también conocidos como microorganismos benéficos (Faife et al., 2020).

Dentro del cultivo de los microorganismos se encuentran una gran variedad bacterias benéficas, constituidas la gran mayoría por organismos fotosintéticos, levaduras y hongos fermentadores (Hoyos, 2010). Y cada uno de estos microorganismos cumplen una función específica.

4.1.3. Activación de los microorganismos

Para la activación de los EM, se utilizó las indicaciones dadas por el fabricante, en donde se menciona que se necesita 5% de EM-1, este producto se puede ver la Figura 1, 5% de melaza y un 90% de agua no clorada (se puede usar agua lluvia o agua hervida fría), esta mezcla debe ser colocada en un recipiente cerrado herméticamente y almacenado en un lugar sombreado para su activación. Además, la activación dura de 5 a 7 días en climas cálidos y de 7 a 10 días en climas fríos, además, su pH debe tener un valor de 3.5 y presentar un “olor a chica” (EMBIOECSA, 2021)



Figura 1. Microorganismo Eficaces adquiridos

4.2. Ejecución del proyecto

4.2.1. Actividades y resultados del prototipo del sistema

Como primer paso se realizó una visita técnica a las instalaciones de la empresa para conocer su situación actual, con lo que se determinó el lugar de la toma del agua residual para el tratamiento experimental.

Además, del análisis correspondiente a la caracterización del agua residual se puede ver en la Tabla 1. En donde se ve un alto contenido de materia orgánica, además, que el sistema de tratamiento con el que cuenta la empresa es deficiente. Asimismo, se puede observar algunos parámetros señalados, los que están fuera del límite máximo permisible por la normativa TULSMA libro VI para descargas al alcantarillado.

Tabla 1. Caracterización del agua residual de Grupo Rossi

Parámetro	Valores de Grupo Rossi	Límite máximo permitido	Unidades
Aceites y grasas	246.40	70	mg/L
Coliformes Totales	> 1600	No aplica	NMP/100 mL
Color Aparente	> 500	No aplica	PtCo
Conductividad	2.91	No aplica	mS/cm
DBO ₅	2 300	250	mg/L
DQO	2 175	500	mg/L
Fosfatos	16	No aplica	mg/L
Hierro	3.8	25	mg/L
Manganeso	4.47	10	mg/L
Nitratos	63	No aplica	mg/L
Nitritos	170	No aplica	mg/L
Nitrógeno Amoniacal	9	No aplica	mg/L
Nitrógeno Total Kjeldahl	11.90	60	mg/L
OD	1.47	No aplica	ml/L
pH	6.18	6-9	
SDT	1 860	No aplica	mg/L
SST	326	220	mg/L
Sulfatos	50	400	mg/L
Temperatura	20.71	<40	°C

Parámetro	Valores de Grupo Rossi	Límite máximo permitido	Unidades
Tensoactivos	0.50	2	mg/L
Turbidez	> 1000	No aplica	NTU

Después del tratamiento, se realizó los respectivo análisis, dando como resultados los valores mostrados en la Tabla 2. Teniendo estos valores se procedió a obtener los porcentaje de remoción que se indican en la Tabla 3. Los cuales fueron obtenidos mediante la Ecuación 2, con la cual se calculó la eficiencia.

$$\% E = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100$$

Ecuación 2. Porcentaje de eficiencia en remoción (Caicedo Campoverde, 2017)

Donde:

C_i : (mg/L) concentración inicial del afluente

C_f : (mg/L) concentración final del efluente

E : Eficiencia

Tabla 2. Resultados del efluente en situación óptima

Parámetros de control		(mg/L)			NTU
		DQO	Nitratos	Nitritos	Color aparente
AGUA RESIDUAL		2175	63	170	> 500
EM sin Airear	Concentración 2.5%	540	9	20	> 500
	Concentración 5%	540	9	20	> 500
EM Aireado	Concentración 2.5%	345	15.1	46	> 500
	Concentración 5%	254	2.8	5	313

En la Tabla 3, se aprecia que el tratamiento con los EM da buenos resultados, siendo el más efectivo la concentración de 5%, con un sistema de aireación, teniendo un porcentaje de 88.32% en remoción de DQO, 95.56% y 97.06% en remoción de nitratos y nitritos respectivamente.

Tabla 3. Porcentajes de eficiencia del tratamiento aplicado

Parámetros de control		DQO	Nitratos	Nitritos	Color aparente
EM sin Airear	Concentración 2,5%	75.17%	85.71%	88.24%	0%
	Concentración 5%	75.17%	85.71%	88.24%	0%
EM Aireado	Concentración 2,5%	84.14%	76.03%	72.94%	0%
	Concentración 5%	88.32%	95.56%	97.06%	37.40%

4.2.2. Escala de proyecto a nivel real y acciones previas

Para la aplicación de lo EM, se deben considerar obras preliminares como es la utilización de trampas de grasas y aceites, además proveer las condiciones adecuadas para el desarrollo de los EM, obteniendo así un tratamiento eficaz que ayude a reducir la cantidad de materia orgánica y otros contaminantes presentes en el agua residual. De igual forma, se debe realizar un análisis completo del agua tratada, con el fin de garantizar las características apropiadas para la descarga al alcantarillado.

4.2.3. Dimensionamiento

Para construcción se deberá implementar dos infraestructuras para el tratamiento, obteniendo las siguientes dimensiones mostradas en la Tabla 4.

Tabla 4. Cálculo de dimensiones para dos infraestructuras

Dimensiones		
Altura	1.6	m
Área	34.5	m ²
Largo	17.3	m
Ancho	2	m
Altura de seguridad	0.4	m
Altura total	2	m
Volumen total	69	m ³

Además, de necesitar un sistema de aireación para el correcto desarrollo de los microorganismos eficaces. Para lo cual se necesitaría de al menos un compresor de 8.22 HP, la adquisición de este dependerá de la disponibilidad del mercado.

4.2.4. Activación y aplicación de los EM

Al analizar el caudal de la empresa se obtuvo un caudal de 11 m³ al día, de acuerdo con la experimentación del tratamiento sería necesario tratar el agua por lo menos 10 días, por ende se trataría alrededor de 110 m³ es decir de 110000 L. Con lo cual se necesitaría de 550 L de EMA, o a su vez se podría realizar dosificaciones de 55 litros de EMA, cada 3 días, hasta realizar análisis que indiquen la reducción de los litros usados de EMA. Después de la adaptación de los EM se podrá hacer recircular el efluente, al inicio del tratamiento biológico, por lo cual la cantidad de EMA puede disminuir.

Para la obtención de estos 55 L de EMA, se necesitará de 2.75 L de EM-1, 2.75 L de melaza y 49.5 L de agua no clorada. Cabe recordar que la activación dura un periodo

de 10 días en climas fríos y 7 días en climas cálidos, y que al finalizar este debe tener un pH de 3.5.

4.2.5. Evaluación de la viabilidad del proyecto

Grupo Rossi posee el área suficiente para implementar el proyecto, no obstante debe hacer adecuaciones a su sistema actual antes de comenzar con el tratamiento biológico, pues sin unas correctas trampas de grasas el sistema no funcionaría correctamente por la ausencia de oxígeno en la superficie del afluente, debido a la grasa acumulada en ella.

Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

- El uso de los EM es muy efectivo para la remoción de los contaminantes, no obstante para lograr una, mayor efectividad estos deber ser aireados las 24 horas del día.
- La eficiencia del sistema puede variar dependiendo de la concentración inicial de microorganismos usada y de las dosificaciones realizadas en el transcurso del tratamiento.
- El sistema al no ser aireado, requiere de un mayor tiempo de retención del afluente, para llegar a reducir la carga de contaminantes y esta se encuentra bajo la normativa vigente.

5.2. Recomendaciones

- Se debe implementar de al menos una trampa de grasas, antes de comenzar con cualquier tratamiento biológico.
- Considerar la implementación de señales que indiquen donde estén ubicadas las obras de descarga del afluente. Asimismo, procura que las zonas a estas se encuentren lo más limpias posibles para facilitar las operaciones de mantenimiento.
- Realizar análisis del afluente después de la implementación de los procesos de tratamiento para constatar su eficiencia, con el fin de adecuar de mejor manera el tratamiento.

Anexos

Anexo 1: Video recopilatorio de la Experimentación

Enlace:

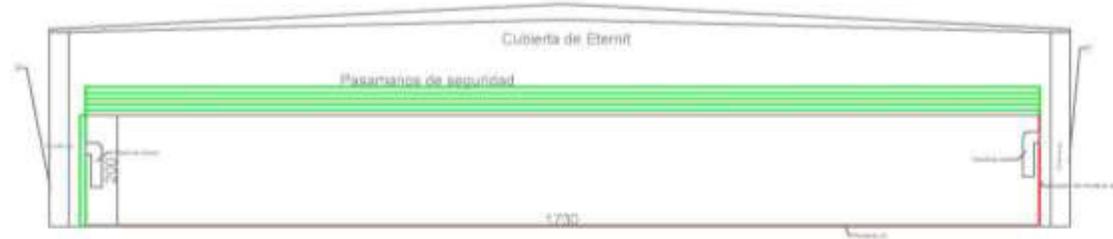
https://epnecuador-my.sharepoint.com/:v/g/personal/daniela_lara01_epn_edu_ec/EQphnT9laiRPmbKuHUH2O3YBg55rjy038HCz1FFFaCeHxg?e=8NTpSM

Código QR:

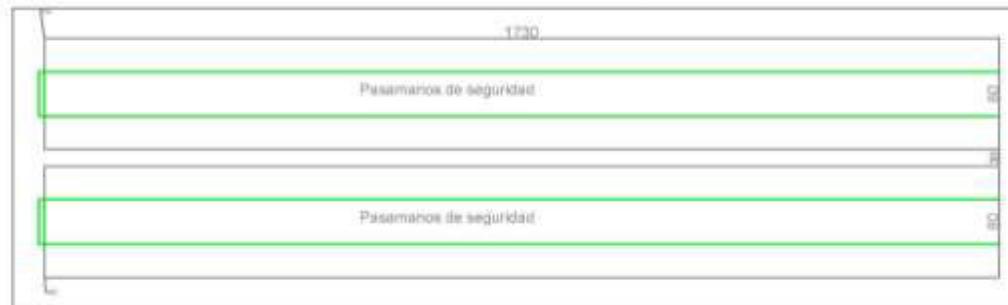


Anexo 2: Vistas de la infraestructura del sistema

Vista Lateral



Vista de Plata



Vista Frontal



	Proyecto de Titulación	Escuela Politécnica Nacional
	Evas Lluglla Bryan Fernando	E.S.F.O.T
Sistema de tratamiento EM	Unidad de trabajo: cm	
Lámina: 1/1	Escala: 1:100	29/01/2022

Bibliografía

- Anibal, A. M. (2012). DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIREACIÓN PARA UNA PLANTA DE LODOS ACTIVADOS EN ZOFRANCA MAMONAL. 101.
- CondorchemEnvitech. (2018). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA. Obtenido de Condorchem Envitech: <https://condorchem.com/es/blog/tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-industria-lactea/>
- EMBIOECSA. (2021, julio 26). EM•1® – EMBIOECSA. <https://embioecsa.com/projects-archive/em1agricultura/>
- Faife, E., Roget-Guevara, D., Fandiño-Rodríguez, C., Pérez-Bermúdez, I., Hoz-Izquierdo, Y., Tortoló-Cabañas, K., & Michelena, G. (2020). Empleo de microorganismos eficientes como alternativa para el tratamiento de residuales. *Revisión bibliográfica*. 52, 30-40.
- FOWEN. (2021). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. Obtenido de Repositorio de Flowen: <https://flowen.com.pe/site/tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-industria-lactea/>
- Herrera, O. F., & Corpas, E. J. (2013). Reducción de la contaminación en agua residual industrial láctea utilizando microorganismos benéficos. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 57-67.
- Hoyos, A. (2010). Microorganismos eficientes y su beneficio para la agricultura y el medio ambiente. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 2(2), 42-45. <https://doi.org/10.46571/JCI.2010.2.7>

ANEXO 4: EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



Figura 11. pozos de revisión y vertedero



Figura 12. Visita técnica a las instalaciones e identificación del punto de toma del agua residual

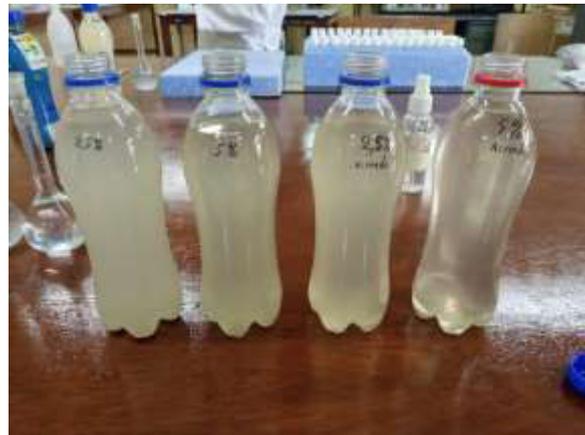


Figura 13. Muestras del agua residual ya tratadas



Figura 14. Análisis del agua tratada en laboratorio de Tecnología Industrial Área de Agua y Saneamiento Ambiental.

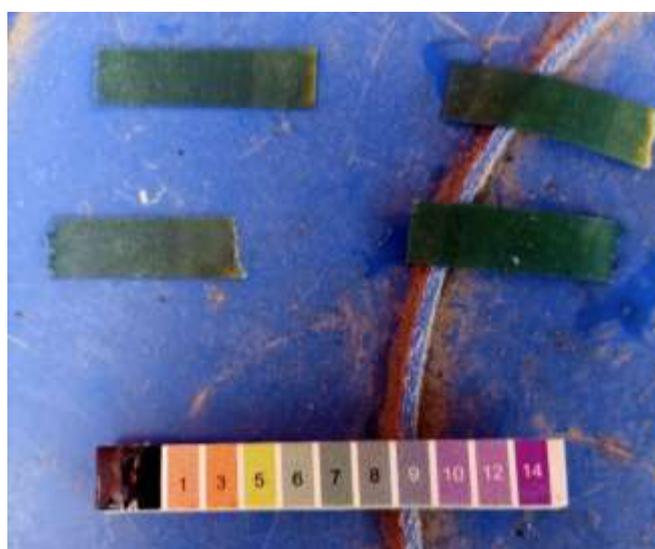


Figura 15. pH final del agua tratada por los EM

**ANEXO 5: VIDEO RECOMPILATORIO DE LA
EXPERIMENTACIÓN**

Enlace:

https://epnecuador-my.sharepoint.com/:v/g/personal/daniela_lara01_epn_edu_ec/EQphnT9laiRPmbKuHUH2O3YBg55rijy038HCz1FFFaCeHxg?e=8NTpSM

Código QR:

