



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE
MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

DIRECCIÓN DE CARRERA: MEDIO AMBIENTE

**INFORME DE TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN
MEDIO AMBIENTE**

MODALIDAD:

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**EFICIENCIA DE MICROORGANISMOS (*Saccharomyces sp.*,
Lactobacillus spp., *Rhodospseudomona spp.*) EN EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA ESPAM MFL**

AUTORAS:

ESPINOZA LOOR MARÍA LEONELA

ZAMBRANO ANDRADE STEFANY MICHELLE

TUTORA:

DRA. AYDA DE LA CRUZ BALÓN, M.Sc

CALCETA, DICIEMBRE 2019

DERECHO DE AUTORÍA

María Leonela Espinoza Loor y Stefany Michelle Zambrano Andrade, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

María Leonela Espinoza Loor

Stefany Michelle Zambrano Andrade

CERTIFICACIÓN DE TUTORA

DRA. AYDA DE LA CRUZ BALÓN, Mg, certifica haber tutelado el proyecto **EFICIENCIA DE MICOORGANISMOS (*Saccharomyces sp.*, *Lactobacillus spp.*, *Rhodospseudomona spp*) EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA ESPAM MFL**, que ha sido desarrollada por María Leonela Espinoza Loor y Stefany Michelle Zambrano Andrade, previa la obtención del título de Ingeniera en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Dra. Ayda De La Cruz Balón, Mg. Sc.

TUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos APROBADO el trabajo de titulación **EFICIENCIA DE MICOORGANISMOS (*Saccharomyces sp, Lactobacillus spp, Rhodospseudomona spp*) EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA ESPAM MFL**, que ha sido propuesto y desarrollado por María Leonela Espinoza Loor y Stefany Michelle Zambrano Andrade, previa la obtención del título de Ingeniera en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ing. Hugo Cobeña Navarrete, Mg. Sc.

MIEMBRO

Ing. Fabricio Alcívar Intriago, Mg. Sc.

MIEMBRO

Ing. Silvia Montero Cedeño, Mg.Sc.

PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

Agradezco inmensamente a Dios por darme la oportunidad de vida, la perseverancia y la fortaleza para continuar en el camino correcto.

A mi familia, de manera especial a mis padres y hermanas por el apoyo incondicional y comprensión en los momentos difíciles que se han presentado a lo largo de estos años, brindándome sus palabras de aliento, motivación y no dejarme desistir en la búsqueda de mis sueños.

A Anthony Loor, porque a pesar de las circunstancias estuvo presente con la mejor actitud en el transcurso de mi carrera.

A los operadores de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ESPAM MFL por la ayuda brindada y estar siempre prestos a colaborar en el desarrollo de nuestro trabajo de Titulación.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” por abrirme las puertas y de manera especial a los docentes por impartirme sus conocimientos.

María Leonela Espinoza Loor

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, y mis docentes por haber sembrado en mí los conocimientos que me consagraran a lo largo de mi vida como una gran profesional.

Al personal de mantenimiento de la planta de aguas residuales, por su predisposición y a cada uno de los empleados de la institución que siempre me tendieron su mano amiga.

Stefany Michelle Zambrano Andrade

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto de titulación a mis queridos padres Leonel Espinoza y Martina Loor en reconocimiento a todo el sacrificio y esfuerzo que hicieron cada día para que sea posible llegar a este punto de mi carrera.

María Leonela Espinoza Loor

DEDICATORIA

A los amores de mi vida, mis abuelos, Sebastián y Consuelo, por todo su amor, cuidado e inculcar en mí buenos valores, razón por la cual me mantengo firme en mis convicciones.

A mi madre por su esfuerzo, paciencia y apoyo incondicional.

A mi segunda madre, Martita, por su cuidado y amor.

A mi hermana Jeniffer por siempre motivarme a seguir adelante.

A Herlando André Zambrano por su amor, paciencia y consejos durante la etapa final de esta meta.

A Lionel por ser la luz de mis días grises.

Stefany Michelle Zambrano Andrade

CONTENIDO GENERAL

CARÁTULA.....	i
DERECHO DE AUTORÍA.....	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTORA	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	iv
AGRADECIMIENTO	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA.....	vii
DEDICATORIA.....	viii
CONTENIDO GENERAL	viii
CONTENIDO DE CUADROS Y GRÁFICOS	xii
RESUMEN	xiii
PALABRAS CLAVE	xiii
ABSTRACT	xiv
KEYWORDS.....	xiv
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema	1
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Hipótesis.....	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Agua residual (AR).....	5
2.2. Microorganismos eficientes (EM TM) y su uso en aguas residuales.....	9
2.3. Muestreo de aguas residuales.....	14
2.3.1. Protocolo para muestreo de aguas residuales.....	14
2.3.2. Clasificación del muestreo	16
2.4. Mediciones de caudales	17
2.5. Características físico-químicas y microbiológicas en aguas residuales.....	18
2.6. Viabilidad económica	22
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	23

3.1. Ubicación.....	23
3.2. Duración del trabajo.....	23
3.3. Factor en estudio.....	24
3.4. Tratamientos.....	24
3.5. Diseño experimental.....	24
3.6. Unidad experimental.....	25
3.7. Variables en estudio.....	25
3.7.1. Variable independiente.....	25
3.7.2. Variable dependiente.....	25
3.8. Unidad de análisis.....	25
3.9. Métodos.....	26
3.10. Procedimientos.....	26
3.10.1. FASE I. Caracterizar las propiedades físico-químicas y microbiológicas del agua residual de la ESPAM MFL.....	26
Actividad 1: Selección y georreferenciación del sitio muestreo.....	26
Actividad 2: Aforo.....	27
Actividad 3: Muestreo.....	27
Actividad 4. Esterilización del instrumental.....	27
Actividad 5: Análisis de laboratorio.....	27
3.10.2. FASE II: Determinar la eficiencia de la dosis de microorganismos (<i>saccharomyces sp</i> , <i>lactobacillus spp</i> , <i>rhodoppseudomona spp</i>) en el tratamiento de aguas residuales de la ESPAM MFL.....	28
Actividad 6. Inoculación y activación de (EM).....	28
Actividad 7. Montaje de los bioensayos con sus respectivas unidades experimentales.....	29
Actividad 8. Desarrollo del experimento.....	29
Actividad 9. Análisis físico-químicos y microbiológicos post-tratamiento.....	29
Actividad 10. Análisis de la eficiencia de los microorganismos para reducir los niveles de carga orgánica.....	29
Actividad 11. Contraste de los análisis de parámetros de calidad post tratamiento con la normativa ambiental aplicable.....	30
Actividad 12. Análisis estadístico para comprobar las diferencias entre los tratamientos del estudio.....	30

3.10.3.FASE III: Realizar análisis económico de los tratamientos estudiados...	30
Actividad 13. Análisis económico	30
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
4.1. Caracterización físico-química y microbiológica inicial del agua residual de la ESPAM MFL.....	31
4.2. Determinar la eficiencia de la dosis de los microorganismos (saccharomyces sp, lactobacillus spp, rhodoppseudomona spp) para el tratamiento de aguas residuales de la ESPAM MFL	33
4.3. Análisis económico de los tratamientos estudiados.....	37
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	39
5.1. Conclusiones	39
5.2. Recomendaciones.....	39
BIBLIOGRAFÍA	40
ANEXOS	48

CONTENIDO DE CUADROS Y GRÁFICOS

Cuadro 2.1. Tabla 3: Criterios de calidad de aguas para riego agrícola	6
Cuadro 2.2. Tabla 5: Criterios de calidad de aguas para uso pecuario	6
Cuadro 2.3. Tipos de tratamientos para aguas residuales.....	8
Cuadro 3.1. Detalle de los tres tratamientos con sus respectivas concentraciones de microorganismos y repeticiones del experimento	24
Cuadro 3.2. Detalle de los tres tratamientos con sus respectivas concentraciones de microorganismos (Saccharomyces sp, Lactobacillus spp, Rhodospseudomona spp).....	24
Cuadro 3.3. Detalle de las unidades experimentales del estudio.....	25
Cuadro 3.4. Parámetros físico-químicos y microbiológicos a analizar	28
Cuadro 4.1. Parámetros físico-químicos y microbiológicos analizados a la muestra inicial.....	32
Cuadro 4.2. Comparación de los resultados obtenidos en el estudio con los criterios de calidad de aguas para uso agrícola, pecuario, y límites de descarga a un cuerpo de agua dulce (TULSMA)	33
Cuadro 4. 3. Análisis de DBO ₅ y DQO para cada una de las unidades experimentales	35
Cuadro 4. 4. Prueba ANOVA para comprobación de hipótesis.....	36
Cuadro 4.5. Prueba Tukey para comparación múltiples entre tratamientos.....	36
Cuadro 4.6. Resumen de la estimación de costos por cada tratamiento.	38
Gráfico 4.1. Caudales en el punto de aforo durante los días de monitoreo.	32
Gráfico 4.2. Remoción de carga orgánica en función de los tratamientos analizados.....	35

RESUMEN

En la actualidad, los microorganismos eficientes (EM) han sido utilizados como una alternativa para resolver problemas de contaminación hídrica, éstos pueden usar los contaminantes como fuente de carbono y energía para su desarrollo y crecimiento; es así que la investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de microorganismos (*Saccharomyces sp.*, *Lactobacillus spp.*, *Rhodospseudomona spp.*) en el tratamiento de aguas residuales de la ESPAM. Se estudiaron tres tratamientos en concentraciones (0,75 1,25 y 2,00%) de EM con tres repeticiones, en tres etapas: 1) Caracterizar propiedades físico-químicas y microbiológicas del agua residual; 2) Determinar la eficiencia de EM; y 3) Realizar un análisis económico al tratamiento. Mediante los análisis físico-químicos y microbiológicos, se evidenció que las aguas residuales de la ESPAM MFL necesitan someterse a tratamientos adicionales para la remoción de DBO₅ y DQO debido a que no se ajustan a los LMP de la normativa de calidad ambiental. La aplicación de EM permitió que los parámetros analizados se ajustaran a criterios de calidad de aguas para uso agrícola y pecuario; mientras que, para descargas a cuerpos de agua dulce, ninguno de los tres tratamientos se enmarca a los LMP para DBO₅ y DQO. De los tres tratamientos, la dosis 2% de EM tuvo una mayor viabilidad económica, la cual presentó el mayor porcentaje de remoción de DBO₅ (58,70%) y DQO (56,97%). Se concluye que los tratamientos aplicados estadísticamente presentan valores significativos de $p < 0,05$ en la DBO₅ y DQO. Por lo tanto, se acepta la hipótesis establecida en el estudio.

PALABRAS CLAVE

Microorganismos eficientes, carga orgánica, aguas residuales (AR).

ABSTRACT

At present, efficient microorganisms (MS) have been used as an alternative to solve water pollution problems, they can use pollutants as a source of carbon and energy for their development and growth; thus, the objective of the research was to evaluate the efficiency of microorganisms (*Saccharomyces sp*, *Lactobacillus spp*, *Rhodospseudomona spp*) in the treatment of wastewater at ESPAM. Three treatments were studied in concentrations (0.75, 1.25 and 2.00%) of MS with three repetitions, in three stages: 1) Characterize physical-chemical and microbiological properties of wastewater; 2) Determine the efficiency of MS; and 3) Perform an economic analysis of the treatment. Through the physical-chemical and microbiological analyzes, it was evidenced that the wastewater at ESPAM MFL needs to undergo additional treatments for the removal of BOD₅ and COD because they do not conform to the LMP of the environmental quality regulations. The application of MS allowed the parameters analyzed to conform to water quality criteria for agricultural and livestock use; while, for discharges to freshwater bodies, none of the three treatments is framed to the LMP for BOD₅ and COD. Of the three treatments, the 2% dose of MS had a greater economic viability, which presented the highest removal percentage of BOD₅ (58.70%) and COD (56.97%). It is concluded that statistically applied treatments have significant values of $p < 0.05$ in BOD₅ and COD. Therefore, the hypothesis established in the study is accepted.

KEYWORDS

Efficient microorganisms, organic load, wastewater.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2013) la calidad del agua es una cuestión que preocupa a países de todo el mundo, ya que es uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta. Los seres humanos dependen de su disponibilidad, no sólo para el consumo doméstico, sino también para el funcionamiento y la continuidad de las actividades agrícolas e industriales. En la actualidad, la cantidad de aguas residuales se ha incrementado considerablemente y es pertinente citar que cuando éstas, de tipo doméstico, son vertidas a los ríos o cuerpos de agua, sin tener un tratamiento o desinfección adecuados, suelen contaminarlos con altas concentraciones de materia orgánica, provocando eutrofización y un grave problema de salud pública (Cárdenas, 2012).

Las aguas residuales crean una grave amenaza para el medio ambiente, especialmente en los cuerpos de agua receptores, p. eje. lagos, ríos, remanso o arroyos, entre otros, gracias a su tratamiento y eliminación deficiente (Trujillo *et al.*, 2017). La eliminación de las aguas residuales en cuerpos de agua dulce constantemente agrega nutrientes al agua, principalmente responsable del aumento del número de microorganismos patógenos. Los microorganismos consumen los desechos orgánicos y el oxígeno disuelto por sus actividades metabólicas (Kampli, Singa y Virupakshi, 2015).

Diversos patógenos, sustancias químicas dañinas y oxígeno reducido atentan con la salud y vida de las especies acuáticas de los cuerpos de agua receptores, incluidos los peces. Por lo tanto, es esencial tratar las aguas residuales antes de descargarlas en cualquier corriente de agua. Pero el tratamiento tradicional implica procesos intensivos de energía. Por ejemplo, en las plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales, alrededor del 30% de los costos operativos anuales se invierten energía para la operación (Estrella *et al.*, 2016) de diferentes máquinas involucradas en la aireación, bombeo y tratamiento químico. Sin embargo, el uso de microorganismos, como tecnología de tratamiento, tiene un requerimiento de energía más bajo que los procesos convencionales.

Ecuador se ubica en un nivel intermedio con relación al resto de países latinoamericanos, sin embargo, existe una considerable inequidad entre las áreas urbanas y rurales, la única ciudad que cuenta con un sistema de tratamiento completo de sus aguas residuales es Cuenca (López, 2011). Las aguas residuales de la ciudad de Calceta, desde hace aproximadamente 35 años, son tratadas mediante lagunas de estabilización que, para la época de su implementación estaban dentro de las alternativas tecnológicas disponibles y el organismo rector de las políticas de saneamiento ambiental en el país, ex Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS), recomendaba este método de tratamiento por ser económico y no requería la instalación de equipos tecnológicos complejos, y por tanto, podía ser manejado por los gobiernos municipales (Mendoza *et al.*, 2018).

La ESPAM MFL, por estar ubicada fuera del área de cobertura del sistema de alcantarillado convencional de la ciudad de Calceta, no cuenta con un tratamiento completo en aguas residuales producidas, las cuales provienen de diferentes áreas; administrativas, educativas, de servicio comunitario, entre otras. Generalmente las aguas residuales pasan por diversas áreas del Campus Politécnico hasta llegar al lugar de tratamiento ubicado en el área de Medicina Veterinaria, próximo al hato bovino. Posteriormente, reciben un tratamiento previo que consiste en una serie de procesos, mediante recirculadores y sopladores para la eliminación de malos olores, luego de esto pasan a un sistema cerrado que al saturarse se activa el ozono utilizado para el descarte de bacterias y a la vez se dosifica con clorinador para posteriormente llevar a cabo las descargas, que son utilizadas para fines agropecuarios. Frente a esta problemática, se plantea la siguiente interrogante:

¿Cuál es la eficiencia de microorganismos (*Saccharomyces sp.*, *Lactobacillus spp.*, *Rhodospseudomonas spp.*) en la remoción de carga orgánica de aguas residuales de la ESPAM MFL?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Las aguas residuales, son aquellas provenientes de las viviendas y edificios institucionales que contienen desechos humanos (tales como orina, excrementos y agua de lavaplatos, lavamanos, cocinas etc). Por consiguiente es necesario realizar un adecuado tratamiento de las mismas, mitigando los diferentes impactos que pueden llegar a tener para el entorno (Bejarano y Escobar, 2015).

Por su parte, Zurita, Castellanos y Rodríguez (2011) mencionan que para tratar las aguas residuales, existen diversas alternativas que varían desde las convencionales altamente mecanizadas, que demandan un gran consumo energético, hasta alternativas ecológicas de bajo costo; encontrándose la utilización de microorganismos, denominados eficientes (EM) (Gómez y Galindo, 2008).

La investigación evaluó la eficiencia de los microorganismos eficientes (EM) (*Saccharomyces sp.*, *Lactobacillus spp.*, *Rhodospseudomona spp.*) aplicados en diferentes dosis, sobre aguas residuales de la ESPAM MFL; además, se busca documentar su efecto sobre la calidad del agua e implementar alternativas que permitan reducir costos (económicos y ambientales) sin afectar al desarrollo sostenible.

Desde esta perspectiva, este trabajo de investigación contribuye a dar soluciones a problemas sociales y ambientales puesto que los microorganismos eficientes han sido reportados como una alternativa para aminorar los problemas de contaminación hídrica (Romero y Vargas, 2017). Ellos pueden utilizar los compuestos presentes en las aguas como fuente de carbono y energía para su crecimiento y, además, no generan subproductos contaminantes (López, 1998).

Este estudio realizado responde a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU (2013), específicamente al N° 6 Agua limpia y saneamiento que establece: “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”. El tratamiento que se aplicó a las aguas residuales, se ajusta a la meta 3 de este objetivo cuya proyección para el 2030 se basa en mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación. En el aspecto legal nacional, el proyecto permitió cumplir los lineamientos enmarcados en el objetivo 3

(Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones) del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 Toda una vida (SENPLADES, 2017) y en concordancia con los derechos colectivos del artículo 411 de la Constitución del Ecuador (El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico y que regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, especialmente en las fuentes y zonas de recarga).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la eficiencia de los microorganismos (*Saccharomyces sp.*, *Lactobacillus spp.*, *Rhodopseudomona spp.*) en el tratamiento de las aguas residuales de la ESPAM “MFL”.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las propiedades físico-químicas y microbiológicas de las aguas residuales de la ESPAM MFL.
- Determinar la eficiencia de la dosis de microorganismos (*Saccharomyces sp.*, *Lactobacillus spp.*, *Rhodopseudomona spp.*) en el tratamiento de aguas residuales de la ESPAM MFL.
- Realizar un análisis económico de los tratamientos estudiados.

1.4. HIPÓTESIS

Los microorganismos (*Saccharomyces sp.*, *Lactobacillus spp.*, *Rhodopseudomona spp.*) son eficientes para remover carga orgánica en las aguas residuales de la planta de tratamiento de la ESPAM MFL.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. AGUA RESIDUAL (AR)

Se denomina aguas residuales a aquellas que resultan del uso doméstico o industrial del agua. Se les llama también aguas servidas, aguas negras o aguas cloacales, son residuales pues, habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; son negras por el color que habitualmente tienen. Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales (Rodríguez, 2013).

2.1.1. AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA (ARD)

Las aguas residuales domésticas, son aquellas provenientes de las viviendas y edificios institucionales que contienen desechos humanos (tales como orina, excrementos y agua de lavaplatos, lavamanos, cocinas etc.). Estas aguas tienen principalmente contenidos de excrementos humanos y orina, los cuales están constituidos por: Materia orgánica, sólidos suspendidos y Coliformes fecales. Por consiguiente es necesario realizar un adecuado tratamiento de las mismas, mitigando los diferentes impactos que pueden llegar a tener para el entorno (Gómez, 2011).

En lo que se refiere a la composición de compuestos químicos, las ARD pueden contener varios tipos de proteínas (albúminas, globulinas y enzimas industriales (detergentes)) producto de la acción microbiana en la propia ARD; carbohidratos como glucosa, sacarosa, almidón y celulosa (Blundi, 1988; Cardona y García, 2008) y grasas animales y aceites, provenientes de los alimentos, junto con los respectivos productos de la degradación de los compuestos mencionados, así como sales inorgánicas y otros compuestos interés (Metcalf y Eddy, 2003).

En el cuadro 2.1 se detallan varios de los criterios de calidad admisibles para el uso en actividades agrícolas establecidos por la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua (Acuerdo N° 97-A Anexo 1, Libro VI de la Calidad Ambiental, TULSMA, 2015).

Cuadro 2.1. Tabla 3: Criterios de calidad de aguas para riego agrícola

Parámetro	Expresado como	Unidad	Criterio de calidad
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	1000
Materia flotante	Visible		Ausencia
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,5
pH	pH		6-9
Sulfatos	SO ₂	mg/l	250

Fuente: TULSMA (2015)

Adaptada por autoras de la investigación

Por otra parte, las aguas residuales domésticas también pueden ocasionar problemas en otros sectores como el Pecuario, por ejemplo, la enfermedad de especies, afectación en la calidad de los productos pecuarios alimenticios, entre otros. Por ello, es necesario que previo a su descarga estas sean sometidas a tratamientos para que los parámetros de calidad se ajusten a criterios admisibles para este sector ya que varias especies animales consumen directamente el recurso. En el cuadro 2.2 se detallan varios de los criterios de calidad admisibles para el uso en actividades pecuaria establecidos por la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua (Acuerdo N° 97-A Anexo 1, Libro VI de la Calidad Ambiental, TULSMA, 2015).

Cuadro 2.2. Tabla 5: Criterios de calidad de aguas para uso pecuario

Parámetro	Expresado como	Unidad	Criterio de calidad
Aceites y grasas	Película visible		Ausencia
Nitratos	NO ₃	mg/l	50
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,2
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	1000
Sólidos disueltos totales	SDT	mg/l	3000

Fuente: TULSMA (2015)

Adaptada por autoras de la investigación

2.1.2. AGUAS RESIDUALES URBANAS

Las aguas residuales urbanas tienen una composición más o menos uniforme, que facilita los procesos de tratamiento, y las distingue claramente de las aguas residuales industriales, cuya variedad es en muchos casos indescriptible. Aun así, aunque derive sólo de efluentes domésticos, la composición varía influenciada por algunos factores como son los hábitos alimentarios, consumo de agua, uso de productos de limpieza en el hogar, etc. (Espigares y Pérez, s.f).

2.1.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS

Más que el conocimiento químico exacto de la composición de las aguas residuales urbanas, tres son las características más importantes que debemos destacar, desde un punto de vista sanitario y en relación con el tratamiento:

- Gran cantidad de sólidos presentes.
- Abundancia de sustancias biodegradables.
- Presencia de un gran número de microorganismos (Espigares y Pérez, s.f).

2.1.4. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), son un conjunto de obras de infraestructura, diseñados hidráulica y sanitariamente para poder remover o quitar la carga contaminante de las aguas residuales que provienen de una comunidad o institución determinada. Estas son de gran importancia ya que minimizan diversos problemas causados por el mal manejo de las aguas residuales que en consecuencia afectan el entorno (Gómez, 2011).

2.1.5. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Son alternativas disponibles para adecuar su calidad a las normas propias del uso. El tratamiento de aguas residuales consiste básicamente en un conjunto de operaciones físicas, procesos químicos y biológicos denominados también operaciones y procesos unitarios respectivamente que tiene como finalidad la eliminación o remoción de contaminantes presentes (Cabrera *et al.*, 2014) como sólidos, grasas y aceites y otros materiales flotantes o sedimentables (Rodríguez *et al.*, 2009) microorganismos patógenos como bacterias, virus y parásitos con el fin de proteger a los cuerpos de aguas receptores y su ecosistema logrando disminuir el impacto negativo al medio ambiente (Cabrera *et al.*, 2014).

Según Orozco y Salazar (1989), mencionan que, el tratamiento de las aguas residuales se divide en preliminar, primario, secundario y terciario (Cuadro 2.3), indicando así el nivel de remoción de contaminantes que se alcanza a medida que se pasa de un tratamiento a otro. La selección de un tratamiento para aguas

residuales depende de diversos factores como las características iniciales del agua, el requerimiento de la calidad del efluente y los costos y la disponibilidad un terreno destinado para tal fin (Ramalho, 1983). A continuación se presentan las principales

Cuadro 2.3. Tipos de tratamientos para aguas residuales.

Tipo de tratamiento	Características	Ejemplos	Referencia
Preliminar	Su objetivo es eliminar cualquier elemento que pueda entorpecer algunas de las etapas siguientes del tratamiento como sólidos gruesos, arena, aceites y grasas.	Rejas y cribas de barras, tamices, demenzadores, desarenadores, separadores de grasas y aceites, tanque de preaireación y aliviaderos.	(Ramalho, 1983; Eckenfelder y Grau, 1992; Seoanez, 1996)
Primario	El objetivo del tratamiento primario es la remoción de la materia orgánica suspendida (40 a 60%) por medio de procedimientos físicos, químicos y a veces biológicos.	Fosas sépticas, tanques de doble acción, tanques de sedimentación, filtración, neutralización y flotación.	(Ramalho, 1983; Diehl y Jeppsson 1998)
Secundario	Su objetivo es la remoción de materia orgánica disuelta, medida como demanda bioquímica de oxígeno (DBO) que no pudo ser removida en el tratamiento primario. En este tratamiento se estimula de manera controlada el crecimiento de microorganismos degradadores de materia orgánica. El porcentaje de remoción de DBO en ese tipo de tratamiento es de aproximadamente del 90%.	Lechos bacterianos, lodos activos, lagunas de estabilización, biodiscos, filtros bacterianos, filtros percoladores, reactor de lodos de flujo ascendentes (UASB)	(Gaudy y Gaudy, 1971; Seoanez, 1996; Metcalf y Eddy 2003)
Terciario	El objetivo del tratamiento terciario, o avanzado, es remover cualquier otro elemento no deseado. Esta etapa del tratamiento está generalmente enfocada a la remoción de nutrientes (nitrógeno y fósforo)	Cloración, ozonización, carbón activado, intercambio iónico, ósmosis inversa, rizofiltración.	(Seoanez, 1996; Boari <i>et al.</i> , 1997; Eckenfelder, 2000; Metcalf y Eddy 2003)

Fuente: Gaudy y Gaudy (1971); Ramalho (1983); Eckenfelder y Grau (1992); Seoanez (1996); Boari *et al.* (1997); Diehl y Jeppsson (1998); Eckenfelder (2000); y Metcalf y Eddy (2003);

Como parte de los procesos descritos anteriormente y principalmente el tratamiento secundario, el mecanismo biológico es de gran importancia. Enmarcado dentro de esta clase de tratamientos se encuentra los EM, cuyos microorganismos se describen con mas detalle a continuación.

2.1.6. TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES

Los tratamientos biológicos de aguas residuales se basan en la utilización de organismos vivos (microorganismos), tales como bacterias, hongos e incluso macrófitos (plantas), los cuales son capaces de eliminar numerosos tipos de

contaminantes orgánicos presentes en las aguas, ya que se utilizan como fuente de carbono y/o energía para su propio desarrollo (Archila, 2012). Por su parte, Ching y Redzwan (2017) recomiendan trabajar en los tratamientos biológicos con 11 concentraciones que oscilen entre 0 y 7%; y que los tiempos óptimos de tratamiento son a partir del día 7. Los efectos de inhibición sobre el crecimiento de biomasa y la eliminación del sustrato a través de estos criterios son favorables. Por lo tanto, el agua residual tratada se vuelve factible para su reutilización en el medio ambiente a través de fertilizantes líquidos, por ejemplo.

La carga orgánica es el parámetro determinante para identificar si el tratamiento biológico es o no eficiente. En este contexto, el nivel de la carga orgánica hace referencia al crecimiento o disponibilidad de biomasa orgánica que es determinada por la acción biológica del agua residual. Por su parte, Rasool *et al.* (2017) aplicaron, en un estudio similar, una ecuación básica y muy conocida [2.1] para determinar la eficiencia de su tratamiento en la remoción de carga orgánica.

$$E_r = \frac{CO_i - CO_f}{CO_i} * 100 \quad [2.1]$$

Donde:

E_r = Remoción de carga orgánica (%)

CO_i = Carga orgánica inicial (mg/l)

CO_f = Carga orgánica final (mg/l)

2.2. MICROORGANISMOS EFICIENTES (EM TM) Y SU USO EN AGUAS RESIDUALES

El término “microorganismos eficientes” o en inglés efficient microorganisms (EM TM) se usa para describir cultivos mixtos de microorganismos beneficiosos que pueden ser aplicados como inoculantes para aumentar la diversidad microbiana (Higa y Parr, 1994). La tecnología de Microorganismos Eficientes fue desarrollada

en los años 70 por el Doctor Teuro Higa en la Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón (Sangakkara, 2002).

El inicio de la tecnología se basó en la mezcla de una multitud de microorganismos, y posteriormente se refinó para incluir tres tipos principales de organismos comúnmente encontrados en todos los ecosistemas incluyendo poblaciones predominantes de bacterias y levaduras de ácido láctico y un menor número de bacterias fotosintéticas, actinomicetos y otros tipos de organismos, todos estos son mutuamente compatibles entre sí y pueden coexistir en cultivo líquido (Higa y Parr, 1994).

Los microorganismos eficaces (EM) han sido reportados como una alternativa frente al problema ambiental de la contaminación hídrica, puesto que esta mezcla puede utilizar los compuestos contaminantes presentes en el agua residual como fuente de carbono y energía para su metabolismo y crecimiento, reduciendo así sus concentraciones en el agua (Herrera *et al.*, 2013).

Los EM son un cultivo mixto de microorganismos no modificados genéticamente, que presentan diversos tipos de metabolismo, que al encontrarse juntos presentan relaciones sinérgicas, de cooperación y cometabolismo (Higa y Parr, 1994). Estudios de las interacciones entre los diferentes integrantes de las comunidades microbianas han demostrado en varias ocasiones una mayor eficiencia de estos consorcios en los procesos de degradación, frente a estudios que involucran sólo a un gremio (Atlas y Bartha, 1998).

Higa (2005) encontró que se creaba un efecto potencializador al mezclar microorganismos con diversas características metabólicas. Aunque los EM han sido usado exitosamente en muchos procesos de manejo ambiental, son pocos los reportes científicos de su uso en aguas residuales (Okuda y Higa, 2005).

La razón por la cual los EM han sido empleado para el proceso de biorremediación de aguas residuales es que los microorganismos que contienen secretan ácidos orgánicos, enzimas, antioxidantes y quelantes metálicos creando un ambiente antioxidante que ayude al proceso de separación sólido/líquido, el cual es el fundamento de la limpieza del agua (Higa y Chien 1998). Estudios realizado por Silva y Silva (1995) emplearon EM para el tratamiento de ARD

utilizó el sistema de lodos activados. Los resultados mostraron que el consumo de oxígeno en el proceso de biorremediación disminuyó al igual que la producción de lodos, la DQO y los malos olores.

Autores como Clesceri *et al.* (1999) realizaron un estudio para determinar el efecto de EM en la estabilización en los lodos sépticos, mostrando disminución de olor, pH y coliformes. De igual forma. En concordancia, Szymansky y Patterson (2003) evaluaron la efectividad del uso de EM, para reducir olores y disminuir la cantidad de lodos generados en los tratamientos de AR, se evaluaron parámetros de alcalinidad, pH, conductividad, ST, SS y SD, presentando significativas mejoras en estos indicadores.

Por otro lado, Ngurah (2005) realizó una investigación en el cual se probó EM, a escala de laboratorio (2 L de AR), con dos pH en diferentes concentraciones (4 y 7%) en aireación constante durante 10 días. Los datos obtenidos evidenciaron disminución en las concentraciones de los indicadores DBO₅, DQO y SS. En lo que se refiere a Colombia, Roldan *et al.* (2007) encontraron que tras la aplicación de EM, tanto en agua residual doméstica como sintética, no evidenciaron significativas reducciones en la concentración de coliformes de las aguas.

2.2.1. MICROORGANISMOS DEL EM TM

2.2.1.1. BACTERIAS FOTOSINTÉTICAS (*Rhodopseudomonas palustris*)

Las bacterias fotosintéticas son microorganismos independientes y autosuficientes, que sintetizan sustancias útiles de la materia orgánica y/o gases dañinos en el aire y agua (ej: ácido sulfhídrico) con el uso de luz solar y calor del suelo como fuentes de energía (EMPOTREC, 2016). Dentro de gremio de organismos fotosintéticos que hacen parte de EM se encuentra *Rhodopseudomonas palustris*. Estas son bacterias fototróficas facultativas clasificadas dentro de las bacterias púrpura no del azufre, el cual comprende un grupo variado, tanto en morfología, filogenia y su tolerancia a diferentes concentraciones de azufre (Holt, 2000).

2.2.2. BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS (*Lactobacillus spp.*)

Dentro de los microorganismos que conforman el multicultivo EM los más abundantes son las bacterias ácidos lácticas. Estos microorganismos producen ácido láctico, compuesto esterilizante fuerte que suprime microorganismos dañinos y ayuda a la descomposición de materiales como la lignina y la celulosa fermentándolos y removiendo efectos no deseables de la materia orgánica no descompuesta (EMPROTEC, 2016).

No se tiene gran información precisa acerca de la forma en la cual actúan las bacterias ácidos lácticas en el tratamiento de las aguas contaminadas, pero teniendo en cuenta sus características, se plantea que al disminuir el pH se genera una inhibición de patógenos. Sin embargo, no sólo el ácido láctico es responsable de los efectos antimicrobianos generados por los lactobacilos. Parte del comportamiento antagónico frente a los patógenos del ácido láctico se debía a la producción de péptidos antimicrobianos y compuestos de bajo peso molecular, como la bacteriosina clase I, y la nisina, péptido de 34 carbonos que es activo frente a la mayoría de las bacterias Gram positivas (Carillo y Huacollo, 2011).

2.2.2.1. LEVADURAS (*Sacharomyces sp*)

El tercer grupo dentro de los gremios de microorganismos presentes en EM son las levaduras. El tipo *Saccharomyces* emplean diversas fuentes de carbono y energía. En primer lugar, se encuentran la glucosa y la sacarosa, aunque también pueden emplearse fructosa, galactosa, maltosa y suero hidrolizado, ya que *Saccharomyces* no puede asimilar lactosa. También puede utilizarse el etanol como fuente de carbono (Blanch *et al.*, 1985).

Estos microorganismo sintetizan sustancias antimicrobianas a partir de azúcares, y aminoácidos secretados por las bacterias fotosintéticas, también producen sustancias bioactivas como hormonas y enzimas que son sustancias empleadas por las bacterias ácido lácticas presente en el EM (ACARA, 2006).

2.2.3. APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA EM™ EN MALASIA

El producto más adecuado y ampliamente utilizado en los ríos de Malasia se conoce como EMAS EM1, que también se aplica comúnmente en jardinería, plantas de interior, lavandería, estanque de peces, etc. EM1 es la solución original requerida para la producción de EMAS. Es un concentrado líquido de EM fermentado por el cual los microorganismos están vivos pero inactivos. Para activar los microorganismos, se necesita diluir la solución concentrada con agua, y se puede realizar una activación adicional mediante la adición de una cierta cantidad de melaza, que actúa como fuente de alimento. Fundamentalmente, la suspensión EM activada (EMAS) es una mezcla de melaza (caña de azúcar) y EM en agua no clorada o agua de enjuague de arroz (que proporciona los minerales para la multiplicación de los microorganismos (Zakaria *et al.*, 2010).

El producto se guarda en un lugar cálido de 20 a 35 °C. El proceso de fermentación se produce después del segundo día y EMAS está listo para su uso 7-10 días de incubación. En este momento, la suspensión tiene un pH entre 3.5 y 4.0, libera un agradable olor a dulce, tiene un color marrón amarillento y debe utilizarse en dos semanas. Los proyectos de tratamiento de agua y sostenibilidad en Malasia se realizan a través del riego o la fumigación de EMAS o el lanzamiento de bolas de barro EM. Sin embargo, la mayoría de las campañas usan bolas de arcilla EM para atraer la participación activa de la sociedad.

Las bolas de barro EM se hacen mezclando arcilla común, tierra roja o tierra superior con EMAS, amasando y formando al tamaño de pelotas de tenis. Algunas bolas de barro tienen una mezcla adicional de Bokashi, una materia orgánica fermentada hecha con salvado de arroz, tortas de aceite, harina de pescado, serrín, etc. Después de secar durante aproximadamente una semana, las bolas de barro están listas para su uso (Zakaria *et al.*, 2010).

Para todos los proyectos, los objetivos principales de las bolas de barro incluyen detener el crecimiento de algas, descomponer los lodos, suprimir los patógenos y eliminar los malos olores causados por los altos niveles de amoníaco, sulfuro de hidrógeno y metano. Además de estos, la investigación y el desarrollo están en progreso para controlar los niveles de sólidos suspendidos totales (SS), oxígeno

disuelto (DO), demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO) y pH. La tecnología EM actúa como una alternativa a las soluciones químicas convencionales con la esperanza de revivir los ríos muertos (Zakaria *et al.*, 2010).

2.3. MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES

2.3.1. PROTOCOLO PARA MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES

De acuerdo al Instituto ecuatoriano de Normalización, a través de NORMA TÉCNICA INEN 2169 (2013) se deben considerar los siguientes aspectos en el muestreo de aguas:

2.3.1.1. LLENADO DEL RECIPIENTE

- En muestras que se van a utilizar para la determinación de parámetros físicos y químicos, llenar los frascos completamente y taparlos de tal forma que no exista aire sobre la muestra. Esto limita la interacción de la fase gaseosa y la agitación durante el transporte (así se evita la modificación del contenido de dióxido de carbono y la variación en el valor del pH, los bicarbonatos no se conviertan a la forma de carbonatos precipitables; el hierro tienda a oxidarse menos, limitando las variaciones de color, etc.).
- Los recipientes cuyas muestras se van a congelar como método de conservación, no se deben llenar completamente.

2.3.1.2. REFRIGERACIÓN Y CONGELACIÓN DE LAS MUESTRAS

- Las muestras se deben guardar a temperaturas más bajas que la temperatura a la cual se recolectó. Los recipientes se deben llenar casi pero no completamente.
- La refrigeración o congelación de las muestras es efectiva si se la realiza inmediatamente luego de la recolección de la muestra. Se debe usar, cajas térmicas o refrigeradores de campo desde el lugar del muestreo.
- El simple enfriamiento (en baño de hielo o en refrigerador a temperaturas entre 2°C y 5°C) y el almacenamiento en un lugar oscuro, en muchos

casos, es suficiente para conservar la muestra durante su traslado al laboratorio y por un corto período de tiempo antes del análisis. El enfriamiento no se debe considerar como un método de almacenamiento para largo tiempo, especialmente en el caso de las aguas residuales domésticas y de las aguas residuales industriales.

- El congelamiento a temperaturas de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ permite un incremento en el período de almacenamiento, sin embargo, es necesario un control del proceso de congelación y descongelación a fin de retornar a la muestra a su estado de equilibrio inicial luego del descongelamiento. En este caso, se recomienda el uso de recipientes de plástico (policloruro de vinilo o polietileno). Los recipientes de vidrio no son adecuados para el congelamiento.

2.3.1.3. FILTRACIÓN Y CENTRIFUGACIÓN DE MUESTRAS

- La materia en suspensión, los sedimentos, las algas y otros microorganismos deben ser removidos en el momento de tomar la muestra o inmediatamente después por filtración a través de papel filtro, membrana filtrante o por centrifugación. La filtración no es aplicable si el filtro es capaz de retener unos o más de los componentes a ser analizados.
- Otro motivo para filtrar la muestra puede ser la determinación de la relación entre formas solubles e insolubles de una sustancia a analizar (por ejemplo: un metal).
- Las membranas se deben usar con cuidado ya que varios metales pesados y materia orgánica pueden ser adsorbidos en la superficie de la membrana, y los compuestos solubles de la membrana pueden ser extraídos por la muestra.
- La decantación de la muestra no es recomendada como una alternativa de la filtración.

2.3.1.4. TRANSPORTE DE LAS MUESTRAS

- Los recipientes que contienen las muestras deben ser protegidos y sellados de manera que no se deterioren o se pierda cualquier parte de ellos durante el transporte.

- El empaque debe proteger los recipientes de la posible contaminación externa y de la rotura, especialmente de la cercana al cuello y no deben ser causa de contaminación.
- Durante la transportación, las muestras deben guardarse en ambiente fresco y protegidas de la luz; de ser posible cada muestra debe colocarse en un recipiente individual impermeable.
- Si el tiempo de viaje excede al tiempo máximo de conservación recomendado antes del análisis, estas muestras deben reportar el tiempo transcurrido entre el muestreo y el análisis; y su resultado analítico debe ser interpretado por un especialista.
- Al arribo al laboratorio, las muestras deben, si su análisis no es posible inmediatamente, ser conservadas bajo condiciones que eviten cualquier contaminación externa y que prevengan cambios en su contenido.
- Es recomendable para este propósito el uso de refrigeradoras o de lugares fríos y oscuros.
- En todos los casos y especialmente cuando se requiera establecer la cadena de custodia es necesario verificar el número recibido, contra el registro del número de recipientes enviados por cada muestra.

2.3.2. CLASIFICACIÓN DEL MUESTREO

En el manual de tratamiento de aguas negras del Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (1976), determina que dependiendo de su naturaleza existen tipos diferentes de muestra:

Muestra simple: Consiste en tomar una sola muestra pero no indica las variaciones en la calidad que pudiera haber en el efluente muestrear.

Muestra compuesta: Según su volumen, se obtendrá mezclando varias muestras simples de igual volumen; brindará un valor más preciso de la calidad promedio del agua.

2.4. MEDICIONES DE CAUDALES

De acuerdo con lo propuesto por Braille y Cavalcanti (1980), la medición de caudales puede hacerse en canales abiertos o en tuberías. Los métodos de medición son:

- 1) Sección transversal de la corriente y la velocidad.
- 2) Sección y la pendiente hidráulica.
- 3) Aforador Parshall.
- 4) Método volumétrico.

Este último se emplea cuando a la corriente que se va a aforar, descargan gastos medianos de tuberías y canales; para ello se procede de la siguiente manera:

- Se mide la capacidad y/o volumen de un cubo y/o recipiente mediante una probeta.
- Se coloca el recipiente y/o cubo bajo el tubo y/o canal que se quiere aforar, para que se llene.
- Se mide el tiempo que tarda la descarga en llenar el cubo.
- Con los datos de tiempo y volumen determinados se calcula el gasto, aplicando la ecuación siguiente:

$$Q = \frac{V}{t} \quad [2.2]$$

Donde:

Q = Caudal en (L/seg)

V = Volumen captado en un recipiente (L)

t = tiempo que tardó el recipiente en ser llenado (seg)

2.5. CARÁCTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS EN AGUAS RESIDUALES

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

El pH tiene una gran influencia en los procesos químicos que ocurren en el agua, la actuación de los floculantes, los tratamientos de depuración, etc. La mayoría de los organismos están adaptados a vivir en aguas de un pH específico y pueden morir si los niveles cambian fuera del rango usual (Samboni *et al.*, 2007). El pH de una sustancia es una medida de la actividad del ion hidrógeno (H^+). Para soluciones en las que la concentración de iones de hidrógeno (H^+) es mayor que los iones de hidróxido (OH^-), la solución será ácida (es decir, $pH < 7$). Para soluciones en las que los iones hidróxido tienen una actividad más alta que H^+ , la solución será básica ($pH > 7$). Se utilizan varios métodos para medir el pH, el más común de los cuales son los indicadores de color (por ejemplo, tiras de tornasol) o sondas especializadas que generan un voltaje proporcional al pH de una solución (Flores-Gómez *et al.*, 2018). Con respecto a la calidad del agua, el pH es importante ya que determina la solubilidad de los metales pesados. Las pautas para el pH varían según el uso del agua (por ejemplo, beber contra la vida acuática).

- **Sólidos suspendidos totales (TSS)**

Los sólidos suspendidos totales (también conocidos como residuos no filtrables) se refieren a la porción de sedimentos suspendidos en una columna de agua (Mayoral y Niyeth, 2019). El sedimento suspendido se mide secando o filtrando una muestra de agua (generalmente una muestra integrada en profundidad) y pesando la porción residual, que se expresa como una concentración en miligramos por litro (mg/l) o partes por millón (ppm).

Los sedimentos finos tienen muchas implicaciones importantes para la calidad del agua. Además de restringir la penetración de la luz en el agua, los sólidos en suspensión pueden dañar el hábitat de especies acuáticas y además también pueden perjudicar los procesos de tratamiento de agua (Simanca *et al.*, 2017).

- **Cloro libre residual**

La presencia de cloro libre detectable o residual ($> 0,1$ mg/l) en agua potable, indica que las dosis de cloro en el proceso de desinfección y oxidación fue superior a los niveles estándares; aunque Luby *et al.* (2018) afirman que, en la mayoría de plantas de tratamiento de agua, este parámetro se ajusta a los niveles óptimos (0,6 mg/l). Otro aspecto a considerar es el origen del agua tratada, por ejemplo, si es agua residual doméstica, la presencia de cloro libre residual también está asociada al uso de desinfectantes, detergentes, jabón durante procesos limpieza como: lavado de ropa, manos, materiales de cocina, entre otros.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días (DBO)₅**

Esta prueba o ensayo de laboratorio es uno de los que mayor significado tiene, dentro de todo el paquete rutinario para la caracterización de las aguas residuales.

La estabilización de la materia orgánica es el resultado del proceso de utilización de dicha materia por parte de los microorganismos, los cuales la requieren para derivar de ella la energía necesaria para sus procesos vivientes y para sintetizar más masa celular. En tal actividad, el oxígeno es necesario para lograr que el carbono y el nitrógeno alcancen sus estados de mayor oxidación. La DBO representa, por lo tanto, una medida indirecta de la concentración de materia orgánica e inorgánica degradable o transformable biológicamente (La Mota, 1982).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

La demanda química de oxígeno, DQO, se determinó como el ensayo de laboratorio que medirá el equivalente de oxígeno de la fracción de materia orgánica presente en la muestra, que es susceptible de oxidación, en medio ácido, por parte del dicromato y/o permanganato. Este parámetro se utiliza como indicador del nivel de materia orgánica presentae en las aguas residuales domésticas.

Generalmente se debe esperar que el valor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Ultima, DBO_u, se aproxime al valor de la DQO. Sin embargo, algunos

factores determinan que lo anterior no suceda así. De acuerdo con Ford y Eckenfelder, (1966) entre tales factores se puede mencionar a los siguientes:

- Muchos compuestos orgánicos que son oxidables químicamente por el dicromato, no son oxidables bioquímicamente.
- Algunos compuestos inorgánicos tales como los sulfuros, sulfitos, tiosulfatos, nitritos y hierro ferroso son susceptibles a la oxidación por el dicromato, elevando así el valor de la DQO, lo cual conduce a error cuando solo se desea determinar la DQO debida al contenido de materia orgánica de la muestra de aguas residuales.
- Los resultados de la DBO, como se acaba de ver, pueden estar afectados por el uso de "semilla biológica" sin aclimatar adecuadamente, lo cual conduce a valores bajos de la DBO. La prueba de la DQO es independiente de dicha variable. Este fenómeno es más común en el caso de aguas residuales.

Siguiendo la metodología de reflujó abierto establecida en el Standard Methods, 18 th. Edition 1992. Para el exámen de las aguas y aguas residuales recomienda el uso del sulfato de mercurio, HgSO_4 , para eliminar esta interferencia. Se recomienda el uso de una adición de 10 veces una cantidad de HgSO_4 , por cada cantidad de Cl^- presente. La adición del sulfato de mercurio elimina la posibilidad de que los cloruros se combinen con la plata Ag^+ , que es un catalizador esencial para la oxidación de los alcoholes y ácidos grasos alifáticos.

- **Coliformes fecales**

Las bacterias denominadas coliformes se usan como un indicador de contaminación del agua por deyecciones humanas. Cada persona descarga de 100 a 400 billones de organismos coliformes por día. Debido a que el aislamiento de bacterias patógenas es difícil de realizar, la determinación de bacterias coliformes se toma como un indicador de la posible existencia de bacterias patógenas en el agua. La determinación de bacterias coliformes en el agua se basa en que son capaces de fermentar la lactosa, produciendo gas, cuando se incuban a 37°C en tubos de ensaye conteniendo muestras de agua. A partir del número de tubos que muestran producción de gas se puede calcular el número más probable de bacterias (NMP) por cada 100 ml de muestra. Para la determinación de coliformes fecales y totales por la acción de fermentación en

tubos múltiples, se utiliza la metodología del Standard Methods, 18 th.Edition 1992.

- **Nitritos (NO₂)**

Este es un parámetro que generalmente se presenta en niveles muy bajos (0,1 mg/l, aproximadamente), pero cuando existe una importante contaminación, los niveles superan este valor. Puede encontrarse de manera natural debido a que forma parte del ciclo del nitrógeno. Dentro de la normativa ecuatoriana ambiental sobre calidad ambiental, se establece hasta un nivel permisible de 0,2 mg/l en aguas para uso pecuario. (Tabla 5, Anexo 1, TULSMA, 2015).

- **Nitratos (NO₃)**

El nitrato ha sido uno de los parámetros dominantes en el aumento de la carga de Nitrógeno desde la década de 1970 (Vitousek *et al.*, 1997). Desde la década de 1980, el consumo de fertilizantes nitrogenados ha aumentado significativamente y con ello ha aumentado también la concentración de nitratos; provocando problemas ambientales y ecológicos, como la proliferación de algas tóxicas, la eutrofización y la extinción de especies en el ecosistema fluvial (Li *et al.*, 2013). Además, la exposición a largo plazo de agua con alto contenido de nitratos puede aumentar los riesgos para la salud humana (Li *et al.*, 2014); lo que puede conducir a una intoxicación crónica relacionada con la metahemoglobinemia (Xue *et al.*, 2016).

- **Sulfatos (SO₄)²**

Se encuentra de forma natural en las aguas subterráneas. Los iones de sulfato presentes en el agua en altas concentraciones pueden causar efectos temporales y agudos en humanos y animales. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. EPA, 1994) ha propuesto una concentración máxima permitida de 500 mg/L de sulfato en el agua potable para evitar cualquier preocupación de salud con respecto al consumo humano. Una concentración máxima permitida secundaria para sulfato se ha establecido en 250 mg/L. Este último nivel coincide con el LMP establecido en la normativa ambiental ecuatoriana para las concentraciones de (SO₄)² en aguas para uso agrícola, mientras que para las descargas a cuerpos de agua dulce se acepta hasta un LMP de 1000 mg/l (TULSMA, 2015).

Se entiende que aproximadamente el 30% de las aguas subterráneas excede una concentración de sulfato de 1000 mg/L que es el nivel objetivo máximo para el suministro de agua al ganado, según Darbi *et al.* (2003). En algunos casos, las concentraciones de sulfato son reportadas tan altas como 3000 mg/L.

2.6. VIABILIDAD ECONÓMICA

La viabilidad económica busca definir mediante la comparación de beneficios y costos estimados de un proyecto, si es rentable la inversión que demanda su implementación (Chain, 2011). Consiste en determinar valor requerido de los flujos de efectivo netos de una propuesta, entendiéndose por flujos de efectivo netos la diferencia entre los ingresos periódicos y los egresos periódicos. El argumento básico que respalda a este método es que señala el beneficio neto generado por los fondos invertidos en el proyecto en una sola cifra que resume las condiciones y méritos de aquel. Para que sea altamente viable el proyecto la tasa de beneficio neto debe ser superior al 85% (Mete, 2014).

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

La planta de tratamiento de las aguas residuales está localizada en el campus politécnico El Limón, aledaña a la unidad de producción de hato bovino de la carrera de Medicina Veterinaria de la Escuela Superior politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López (imagen 3.1), ubicado en la cabecera cantonal del cantón Bolívar, de la provincia de Manabí, situada geográficamente entre las coordenadas 00° 50' 39" S, 80° 09' 33" O y una Altitud de 16,00 msnm.

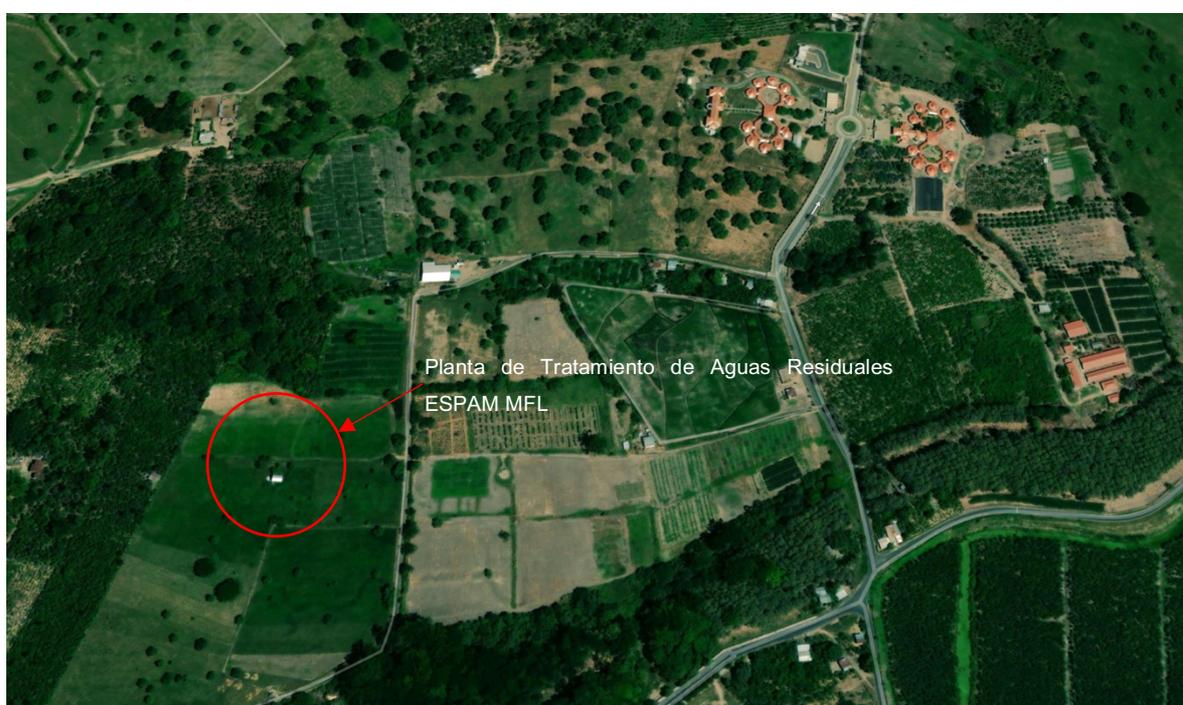


Imagen 3.1. Panorama satelital del sitio de estudio

Fuente: Tomtom maps (2018)

3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO

La investigación se desarrolló en un tiempo de duración de 9 meses, a partir del mes de enero hasta septiembre del 2019. Durante los tres meses iniciales (enero a marzo) se realizó el levantamiento de información asociada al estudio. A partir del mes cuarto (abril a junio) hasta el mes sexto se desarrolló la experimentación del estudio y en los últimos tres meses (julio a septiembre) se realizó el procesamiento y análisis de los datos obtenidos.

3.3. FACTOR EN ESTUDIO

Concentración de microorganismos (*Saccharomyces sp.*, *Lactobacillus spp.*, *Rhodopseudomona spp*) en las aguas residuales de la ESPAM MFL.

3.4. TRATAMIENTOS

Se estudiaron tres tratamientos, con tres repeticiones cada uno; lo que resultó un equivalente a 9 unidades experimentales.

Cuadro 3.1. Detalle de los tres tratamientos con sus respectivas concentraciones de microorganismos y repeticiones del experimento

Códigos de las unidades experimentales	Concentración de microorganismos eficientes (%)
T ₁ R ₁	0,75
T ₁ R ₂	1,25
T ₁ R ₃	2,00
T ₂ R ₁	0,75
T ₂ R ₂	1,25
T ₂ R ₃	2,00
T ₃ R ₁	0,75
T ₃ R ₂	1,25
T ₃ R ₃	2,00

Fuente: Espinoza y Zambrano (2019)

3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se realizó un DCA (Diseño completamente al azar) porque la variable dependiente es de carácter numérica continua (cuadro 3.2). Posteriormente, se procesó los resultados utilizando un análisis de varianza en el software SPSS 21.0.

Cuadro 3.2. Detalle de los tres tratamientos con sus respectivas concentraciones de microorganismos (*Saccharomyces sp.*, *Lactobacillus spp.*, *Rhodopseudomona spp*)

Tratamientos	Concentración de microorganismos
T ₁	0,75%
T ₂	1,25%
T ₃	2,00%

Fuente: Espinoza y Zambrano (2019)

3.6. UNIDAD EXPERIMENTAL

De acuerdo al tipo de diseño elegido y el número de repeticiones para el estudio, resultó un total de nueve unidades experimentales (cuadro 3.3).

Cuadro 3.3. Detalle de las unidades experimentales del estudio

Tratamiento	Concentración de microorganismos (%)	Volumen de microorganismos (ml)	Volumen de muestra de aguas residuales (ml)	Total de muestra a tratar (ml)	Tiempo (días)
T ₁ R ₁	0,75	3	397	400	7
T ₂ R ₁	1,25	5	395	400	7
T ₃ R ₁	2,00	8	392	400	7
T ₁ R ₂	0,75	3	397	400	7
T ₂ R ₂	1,25	5	395	400	7
T ₃ R ₂	2,00	8	392	400	7
T ₁ R ₃	0,75	3	397	400	7
T ₂ R ₃	1,25	5	395	400	7
T ₃ R ₃	2,00	8	392	400	7

Fuente: Espinoza y Zambrano (2019)

3.7. VARIABLES EN ESTUDIO

3.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Dosis de microorganismos eficientes (EM).

3.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE

- Eficiencia de remoción de carga orgánica en las aguas residuales de la ESPAM MFL.

3.8. UNIDAD DE ANÁLISIS

Se utilizó biorreactores de vidrio de 0,475 L de capacidad, donde se depositaron las muestras de aguas residuales de la ESPAM MFL y los microorganismos (*Saccharomyces sp*, *Lactobacillus spp*, *Rhodospseudomona spp*) para el proceso de biorremediación.

3.9. MÉTODOS

CUANTITATIVO.- Se eligió este método para estudiar las propiedades y fenómenos cuantitativos, como los parámetros analizados y monitoreo de datos en las mediciones de caudales, así como también las relaciones entre cada variable (Briones, 2010).

DEDUCTIVO.- Este método consistió en inducir los datos de la variable dependiente (Eficiencia de remoción de carga orgánica) y realizar análisis de acuerdo a los resultados obtenidos (Carvajal, 2014).

EXPERIMENTAL. - Este método implicó desarrollar un diseño experimental (con nueve unidades experimentales distribuidas en tres tratamientos y tres repeticiones) para evaluar la acción de la variable independiente (dosis de EM) en la variable dependiente (eficiencia de remoción de carga orgánica), como lo propone Murillo (2011).

3.10. PROCEDIMIENTOS

3.10.1. FASE I. CARACTERIZAR LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL AGUA RESIDUAL DE LA ESPAM MFL

Actividad 1: Selección y georreferenciación del sitio muestreo

Para identificar el sitio de muestreo, se realizaron visitas de campo y conversatorios personales con los directivos, técnicos y trabajadores de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ESPAM MFL. La georreferenciación se la efectuó en el punto de muestreo con la ayuda de un GPS, donde se registraron las coordenadas geográficas en unidad técnica de medida (UTM). Posteriormente, se realizó un mapa en el software ArcGIS versión 10.6 que representaron los puntos georreferenciados, desde una perspectiva regional y nacional.

Actividad 2: Aforo

Se tomó como punto de aforo, el efluente generado en el pre-tratamiento, se colocó un recipiente de volumen de 5 L y se determinó los tiempos de llenado del recipiente. Posteriormente, con el volumen conocido y el tiempo de llenado se determinó el caudal de aforo por método volumétrico propuesto por Braille y Cavalcanti (1980) que se detalla en la ecuación 2.2. Esta actividad se desarrolló en un período de 10 días para tener una mayor confiabilidad de los datos y menor margen de error (anexo 1).

Actividad 3: Muestreo

El muestreo fue desarrollado en función de las especificaciones establecidas en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169 (2013) para aspectos de adecuación de materiales, recolección, refrigeración y almacenamiento de muestras. Estas actividades se realizaron durante tres semanas: un análisis físico-químico por semana que correspondió a la combinación de las muestras recolectadas los días martes y jueves, en el caso de los análisis microbiológicos se analizó una sola muestra (anexo 2).

Actividad 4. Esterilización del instrumental

El instrumental que se utilizó en el muestreo para determinar los parámetros físico-químicos y microbiológicos fue secado en la estufa a 180°C durante un periodo de 150 minutos, y los materiales de vidrios se lavaron bien antes de usarlos con jabón líquido al 10% v/v. Además, los recipientes y otros materiales que se utilizaron en los parámetros microbiológicos fueron esterilizados por la autoclave a 121 °C con 15 libras de presión durante 20 minutos.

Actividad 5: Análisis de laboratorio

Se determinaron los parámetros físico-químicos y microbiológicos en los laboratorios de Bromatología (anexo 3). Para los ensayos de laboratorio sobre la caracterización física-química y microbiológica de las aguas residuales, se siguió la metodología establecida en el Standard Methods, 18 th. Edition 1992. En el cuadro 3.4 se presentan los parámetros analizados con su respectivo equipo, método o técnica de evaluación.

Cuadro 3.4. Parámetros físico-químicos y microbiológicos a analizar

	Parámetros	Unidad	Método	Equipo
Físico-químicos	pH	----	Medición digital	Potenciómetro digital portátil marca: Oakton y modelo: pH 150.
	Sólidos totales	mg/l	Gravimetría	Estufa
	Sólidos disueltos	mg/l	Gravimetría	Estufa
	Sólidos suspendidos	mg/l	Filtración-Gravimetría	Estufa
	Nitritos	mg/l	Espectrofotometría Colorimetría	Kit nitritos
	Nitratos	mg/l	Espectrofotometría Colorimetría	Kit nitratos
	Sulfatos	mg/l	Espectrofotometría	Kit sulfatos
	Cloro libre residual	mg/l	Colorimetría	Test kit de cloro libre residual
	Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días (DBO ₅)	mg/l		Oxitop
Microbiológicos	Coliformes fecales <i>Escherichia coli</i>	NMP	Fermentación en tubos múltiples "9221 C"	Estufa,

Fuente: Espinoza y Zambrano (2019)

3.10.2. FASE II: DETERMINAR LA EFICIENCIA DE LA DOSIS DE MICROORGANISMOS (*saccharomyces sp*, *lactobacillus spp*, *rhodoppseudomona spp*) EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA ESPAM MFL

Actividad 6. Inoculación y activación de (EM)

Inicialmente, se desarrolló un período de aclimatación y crecimiento de los microorganismos eficientes (*Saccharomyces sp*, *Lactobacillus spp*, *Rhodoppseudomona spp*) utilizados como inóculo durante 7 días (Ching y Redzwan, 2017). Para esto, se aplicó 10 ml de agua residual por cada 100 ml de microorganismos (Anexo 4). La solución debió estar en pH ácido de 3,5 porque los microorganismos están formados, considerablemente, por bacterias ácido lácticas. Para esto, se estabilizó a través de adición de NaOH (pH <3,5) o H₂SO₄ (pH <3,5); para ambos casos se realizó una titulación hasta obtener el pH requerido. El objetivo de estabilizar el pH fue permitir que los microorganismos puedan sobrevivir y adaptarse a las condiciones del agua residual de la ESPAM MFL y de esta forma, se desarrolló el crecimiento poblacional.

Actividad 7. Montaje de los bioensayos con sus respectivas unidades experimentales

Para realizar el montaje de los bioensayos con sus respectivas unidades experimentales, se utilizó botellas de vidrio de 475 ml de capacidad (anexo 5). Las cuales para evitar afectaciones en los datos del experimento los bioensayos se ubicaron cercano al laboratorio de Microbiología y Bromatología en un área limpia e independiente a otros procesos y/o actividades, a temperatura ambiente y ventilación natural.

Actividad 8. Desarrollo del experimento

A las muestras de agua residual: 397, 395 y 392 ml, se les aplicó los microorganismos (*Saccharomyces sp*, *Lactobacillus spp*, *Rhodospseudomona spp*) en concentraciones de: 0,75%, 1,25% y 2,00%, respectivamente (anexo 6). Estas tres concentraciones fueron elegidas a partir de las 11 concentraciones utilizadas por Ching y Redzwan (2017) en un estudio similar. El tratamiento tuvo una duración de 7 días.

Actividad 9. Análisis físico-químicos y microbiológicos post-tratamiento

Se desarrolló el mismo procedimiento de la actividad cinco para cada unidad experimental (nueve muestras en total) y de esta manera conocer los niveles de concentración para cada parámetro de calidad post-tratamiento. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio siguiendo los estándares y procedimientos de calidad para evitar errores o alteraciones en los resultados, como lo propone el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN, 2018).

Actividad 10. Análisis de la eficiencia de los microorganismos para reducir los niveles de carga orgánica

Se realizó el análisis de eficiencia de remoción de carga orgánica a través de la ecuación 2.1 aplicada por Rasool *et al.* (2017) en un estudio similar que evaluó la DQO y DBO₅.

Actividad 11. Contraste de los análisis de parámetros de calidad post tratamiento con la normativa ambiental aplicable

Para identificar si los tratamientos aplicados se ajustan a los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en el Libro VI del TULSMA (2015) se compararon según los criterios definidos en esta normativa, con las siguientes tablas:

- Tabla 3. Criterios de calidad de aguas para riego agrícola
- Tabla 5. Criterios de calidad de aguas para uso pecuario
- Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Actividad 12. Análisis estadístico para comprobar las diferencias entre los tratamientos del estudio

El análisis estadístico se realizó a través del software SPSS versión 23.0. Se aplicó un análisis de varianza de un factor (ANOVA) para determinar si hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los tratamientos desarrollados.

3.10.3. FASE III: REALIZAR UN ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS TRATAMIENTOS ESTUDIADOS

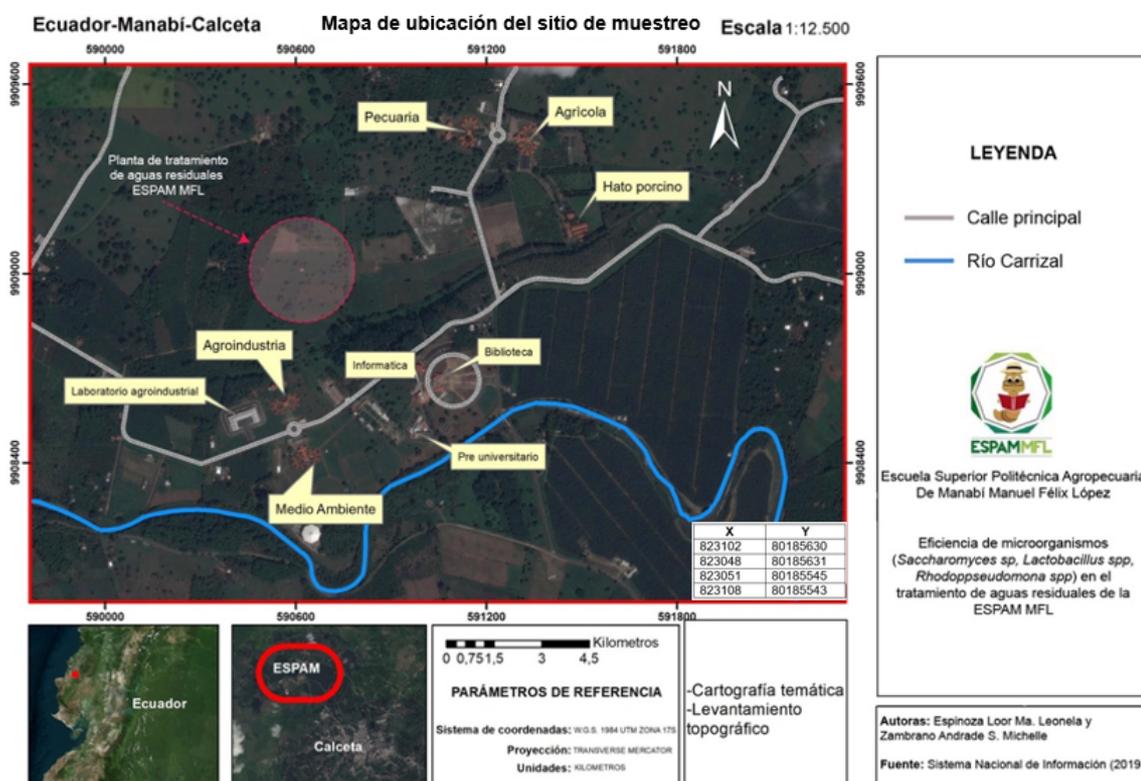
Actividad 13. Análisis económico

Se utilizó el cálculo de los costos asociados al tratamiento de 1m³ de agua residual. En el desarrollo de este proceso, se determinó los costos por cada tratamiento, posteriormente se desarrolló un análisis de dominancia, mediante el cual se eliminaron a los tratamientos con beneficios menores. En la selección del mejor tratamiento, de acuerdo a su viabilidad económica, se consideró a aquellos que su beneficio neto supere el 85% (Mete, 2014). Para el análisis económico de los tratamientos, se consideró el costo de los EM equivalente a \$20 y se realizó una regla de 3 simple que permitiera estimar el costo de los EM para el tratamiento de 1m³ de agua residual, según la dosis requerida por tratamiento.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA INICIAL DEL AGUA RESIDUAL DE LA ESPAM MFL

En el mapa 4.1 se muestra georreferenciado el sitio de muestreo con sus respectivas coordenadas, UTM X: 590600 Y: 9909000, además se muestran las áreas administrativas que están conectadas a la planta de tratamiento de la ESPAM MFL.



Mapa 4. 1. Georreferenciación del sitio de estudio.

Fuente: Espinoza y Zambrano (2019)

La planta de tratamiento no descarga aguas residuales en niveles constantes, sino intermitentes, debido a que los operadores de la planta esperan hasta que las cisternas alcancen su nivel máximo, para proceder a descargar (los días martes y jueves).

Se realizó el aforo en el punto de salida de la planta de agua residual de la ESPAM MFL, obteniendo un caudal promedio de 1,21 L/s. Los caudales de los efluentes residuales varían entre 0,05 y 0,39 L/s. En el gráfico 4.1 se aprecia que,

durante los diez días monitoreados, el caudal de descarga de aguas residuales no superó los 1,40 L/s; registrándose este caudal máximo para el día 1; mientras que el caudal medio (1,19 L/s) se registró el día 10 y finalmente, el caudal mínimo fue registrado el día 2 (1,01) (anexo 7).

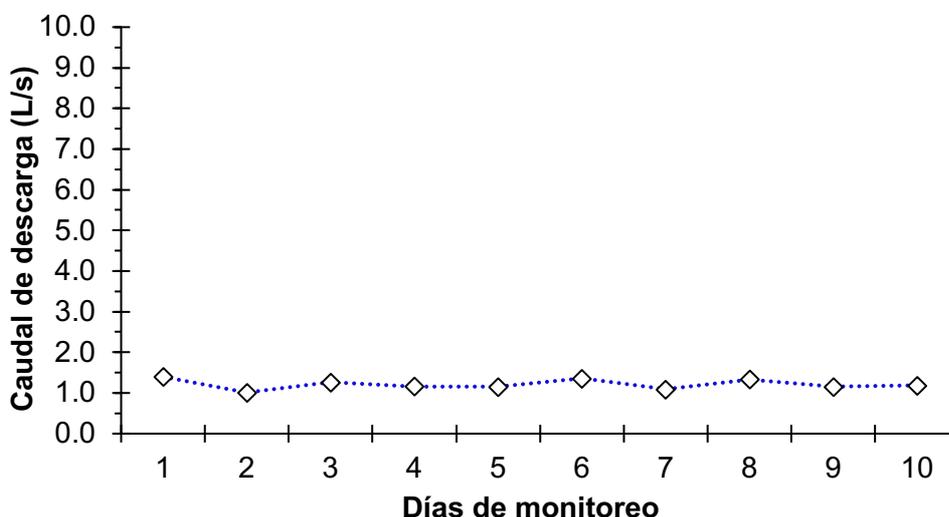


Gráfico 4.1. Caudales en el punto de aforo durante los días de monitoreo.

Fuente: Espinoza y Zambrano (2019)

A través de los análisis físico-químicos y microbiológicos (anexo 8a y 8b), se comprobó que las aguas residuales de la ESPAM cumplen los límites máximos permisibles en los parámetros de agua para uso agrícola y pecuario establecidos en el Libro VI de la Calidad Ambiental (TULSMA, 2015), sin embargo, los parámetros de DBO y DQO no se ajustan a los LMP establecidos en la tabla 9 de descarga a un cuerpo de agua dulce (Cuadro 4.1).

Cuadro 4.1. Parámetros físico-químicos y microbiológicos analizados a la muestra inicial.

Parámetros analizados	Unidad	Resultado	Uso agrícola		Uso pecuario		Descarga a un cuerpo de Agua Dulce	
			LMP	Nivel de cumplimiento	LMP	Nivel de cumplimiento	LMP	Nivel de cumplimiento
pH	---	8,23	6-9	Cumple	N/A	N/A	6-9	Cumple
Sólidos totales	mg/l	1056,00	N/A	N/A	N/A	N/A	1600	Cumple
Sólidos disueltos	mg/l	580,00	N/A	N/A	3000	Cumple	N/A	N/A
Nitritos	mg/l	0,036	N/A	N/A	0,2	Cumple	N/A	N/A
Nitratos	mg/l	47,00	N/A	N/A	50	Cumple	N/A	N/A
Sulfatos	mg/l	71,00	250	Cumple	N/A	N/A	1000	Cumple
Cloro residual	mg/l	0,75	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
DBO ₅	mg/l	736,00	N/A	N/A	N/A	N/A	100	No cumple
DQO	mg/l	918,00	N/A	N/A	N/A	N/A	200	No cumple
Coliformes fecales (<i>Escherichia coli</i>)	NMP	230,00	1000	Cumple	1000	Cumple	2000	Cumple

Fuente: Espinoza y Zambrano (2019)

Los niveles de sólidos totales son considerables (1056,00 mg/l); asociado a presencia de elementos o compuestos ajenos al medio. El parámetro cloro residual registró niveles de 0,7 mg/l en el agua residual, esto se relaciona a que el agua analizada en este estudio proviene también de las actividades asociadas con la limpieza y desinfección de las áreas de la ESPAM MFL.

Los parámetros microbiológicos estudiados, coliformes fecales se presentaron en niveles de 230 NMP (anexo 8c), respectivamente; vinculándolo directamente con el origen del agua residual. Estos niveles, a pesar que no son tan extremos, indican que el agua procedente de la planta de tratamiento, aún es vulnerable a la contaminación por microorganismos más dañinos para la salud como el *Escherichia coli* que también es un indicador de contaminación fecal reciente.

4.2. DETERMINAR LA EFICIENCIA DE LA DOSIS DE LOS MICROORGANISMOS (*saccharomyces sp*, *lactobacillus spp*, *rhodospseudomona spp*) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA ESPAM MFL

En la mayoría de parámetros, los niveles están en rangos parecidos a la muestra inicial, aunque con mínimos cambios durante los 7 días de tratamiento (Anexo 9).

En el cuadro 4.2 se presentan las comparaciones de los resultados obtenidos con el Libro VI de la Calidad Ambiental (TULSMA, 2015) con la Tabla 3 para riego agrícola; Tabla 5 para uso pecuario y la Tabla 9 para descargas cuerpos de agua dulce.

Cuadro 4.2. Comparación de los resultados obtenidos en el estudio con los criterios de calidad de aguas para uso agrícola, pecuario, y límites de descarga a un cuerpo de agua dulce (TULSMA)

Tratamientos	Parámetros	Unidad	Resultado	Uso agrícola		Uso pecuario		Descarga a un cuerpo de Agua Dulce	
				LMP	Nivel de cumplimiento	LMP	Nivel de cumplimiento	LMP	Nivel de cumplimiento
T ₁ (0,75% EM)	pH	----	7,42	6-9	Cumple	N/A	N/A	6-9	Cumple
	Sólidos disueltos	mg/l	598	N/A	N/A	3000	Cumple	N/A	N/A
	Nitritos	mg/l	0,036	N/A	N/A	0,2	Cumple	N/A	N/A
	Nitratos	mg/l	43	N/A	N/A	50	Cumple	N/A	N/A
	Sulfatos	mg/l	71,00	250	Cumple	N/A	N/A	1000	Cumple

	Coliformes fecales	NMP	226	1000	Cumple	1000	Cumple	2000	Cumple
	DBO	mg/l	628,00	N/A	N/A	N/A	N/A	100	No cumple
	DQO	mg/l	743,00	N/A	N/A	N/A	N/A	200	No cumple
	pH	----	7,52	6-9	Cumple	N/A	N/A	6-9	Cumple
	Sólidos disueltos	mg/l	617	N/A	N/A	3000	Cumple	N/A	N/A
	Nitritos	mg/l	0,033	N/A	N/A	0,2	Cumple	N/A	N/A
	Nitratos	mg/l	38	N/A	N/A	50	Cumple	N/A	N/A
	Sulfatos	mg/l	71,00	250	Cumple	N/A	N/A	1000	Cumple
T ₂ (1,25% EM)	Coliformes fecales	NMP	221	1000	Cumple	1000	Cumple	2000	Cumple
	DBO	mg/l	517,00	N/A	N/A	N/A	N/A	100	No cumple
	DQO	mg/l	562,00	N/A	N/A	N/A	N/A	200	No cumple
	pH	----	7,77	6-9	Cumple	N/A	N/A	6-9	Cumple
	Sólidos disueltos	mg/l	647	3000	Cumple	3000	Cumple	N/A	N/A
	Nitritos	mg/l	0,032	0,2	Cumple	0,2	Cumple	N/A	N/A
	Nitratos	mg/l	33	50	Cumple	50	Cumple	N/A	N/A
	Sulfatos	mg/l	71,00	250	Cumple	N/A	N/A	1000	Cumple
T ₃ (2,00% EM)	Coliformes fecales	NMP	214	1000	Cumple	1000	Cumple	2000	Cumple
	DBO	mg/l	304,00	N/A	N/A	N/A	N/A	100	No cumple
	DQO	mg/l	395,00	N/A	N/A	N/A	N/A	200	No cumple

Fuente: Espinoza y Zambrano (2019)

En el caso para riego agrícola, los tres tratamientos con EM permitieron que el pH, Sulfatos y coliformes fecales se presenten en niveles que se ajustan o enmarcan dentro de lo establecido por el TULSMA como criterio para riego agrícola. En ambos casos, los niveles están dentro del marco de la ley, e incluso muy distantes de LMP que corresponde a 250 mg/l para Sulfatos y 1000 NMP para coliformes fecales.

En el caso para uso pecuario, se obtuvo como resultado que los EM permitieron que los cuatro parámetros cumplan con los criterios definidos en la Tabla 5 del Libro VI de la Calidad Ambiental (TULSMA, 2015). Los sólidos disueltos se ajustaron a niveles de: 598 mg/l (0,75% EM), 617 mg/l (1,25% EM) y 647 mg/l (2,00% EM) que son aproximadamente el 20 y 22% del LMP que equivale a 3000 mg/l. Es importante mencionar que los niveles de este parámetro son superiores a los niveles de la muestra inicial y va incrementando a medida que aumenta la dosis del tratamiento. Esto se debe a que mientras mayor es la dosis de EM, hay mayor presencia de otros compuestos como la melaza que forma parte del biopreparado ya que se aplicó en la actividad de inoculación, como fuente de alimento para los EM.

Los parámetros analizados mostraron que existen variaciones entre los tres tratamientos. Los niveles de DBO₅, oscilan de 298 a 634 mg/l, dando un valor promedio de: 628 mg/l para T₁ (0,75% EM), 517 mg/l para T₂ (1,25% EM) y 304 mg/l para T₃ (2,00% EM). Por otra parte, los niveles de DQO se presentan desde 391 hasta 801 mg/l que corresponde a T₁ (1,25% EM) el mínimo y a T₃ (2,00% EM) el máximo. En ambos parámetros hay una relación proporcional que: a mayor dosis de EM, menor concentración en niveles (Cuadro 4.3 y anexo 10).

Cuadro 4.3. Análisis de DBO₅ y DQO para cada una de las unidades experimentales.

Tratamientos	Unidad Experimental	DBO ₅ mg/L	DQO mg/L
T ₁ (0,75% EM)	T ₁ R ₁	634,00	710,00
	T ₁ R ₂	618,00	801,00
	T ₁ R ₃	632,00	718,00
T ₂ (1,25% EM)	T ₂ R ₁	496,00	558,00
	T ₂ R ₂	528,00	561,00
	T ₂ R ₃	527,00	567,00
T ₃ (2,00% EM)	T ₃ R ₁	313,00	401,00
	T ₃ R ₂	298,00	393,00
	T ₃ R ₃	301,00	391,00

Fuente: Espinoza y Zambrano (2019)

En el gráfico 4.2 se muestran las concentraciones promedio de DBO₅ en los tres tratamientos. El tratamiento 3 presentó el mayor porcentaje de remoción de DBO₅ (58,70%) y DQO (56,97%). Luego, el tratamiento 2 con una remoción de 29,76% para la DBO₅ y 38,75% para la DQO. Finalmente el tratamiento 1 se presentó con la remoción más baja para DBO₅ (14,67%) y DQO (19,06%). En el anexo 11 se detalla el proceso de estimaciones de niveles de remoción para ambos parámetros de carga orgánica (DBO₅ y DQO). En ambos parámetros hay una relación proporcional que: a mayor dosis de EM, menor concentración en niveles

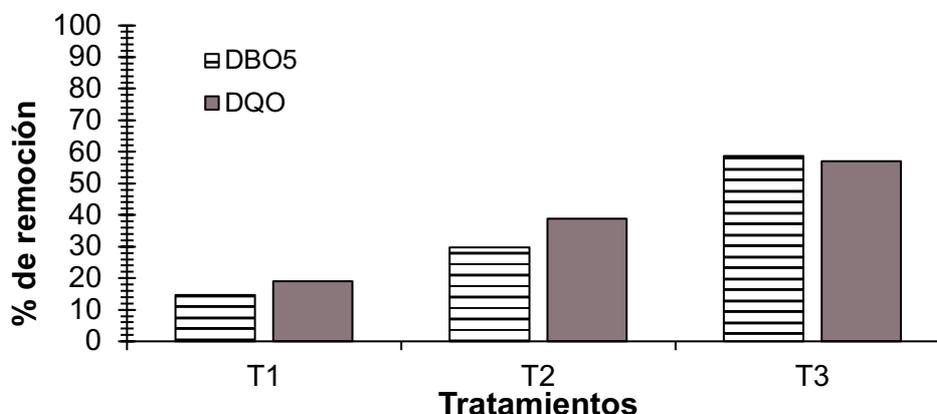


Gráfico 4.2. Remoción de carga orgánica en función de los tratamientos analizados.

Fuente: Espinoza y Zambrano (2019)

Estos hallazgos se asocian a los encontrados por Ngurah (2005) quien en 10 días obtuvo una reducción significativa de DQO y DBO₅ mediante la aplicación de EM al 4%. Sin embargo, las tasas de remoción para el mejor tratamiento fueron de entre 76,00-80,3% de DQO. Aunque este autor asocia que el mejor nivel de remoción se obtiene en el día 11 y que días previos o días posteriores, la eficiencia en el nivel de remoción se reduce hasta 31%.

La importancia de cada coeficiente se determinó a través de una prueba de valor de p, considerando un 95% de confianza, en la que los valores de p bajos ($p < 0,05$) indican una importancia alta del coeficiente correspondiente. En el ANOVA se muestra el efecto estadísticamente relevante de cada factor en la respuesta; siendo un modo práctico para ver los resultados (cuadro 4.4). Ambas variables (DBO₅ y DQO) presentan un valor de $p < 0,05$ (anexo 12a); lo que considera estadísticamente significativos. Por lo tanto, se acepta la hipótesis establecida en el estudio donde los EM causan un efecto significativo en la remoción de carga orgánica del agua residual de la planta de tratamiento de la ESPAM MFL.

Cuadro 4. 4. Prueba ANOVA para comprobación de hipótesis

Unidad Experimental		Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	F	Sig
DBO ₅	Entre grupos	162666,00	2	81333,000	519,147	0,000
	Dentro de los grupos	940,00	6	156,667		
	Total	163606,00	8			
DQO	Entre grupos	181754,00	2	90877,000	105,344	0,000
	Dentro de los grupos	5176,00	6	862,667		
	Total	186930.000	8			

Fuente: Espinoza y Zambrano (2019)

En cuadro 4.5 se detalla los resultados obtenidos a través de la prueba Tukey, donde se comprueba que los tres tratamientos presentan diferencia significativa entre sí, al ser comprados de manera múltiple con los distintos niveles (ver anexo 12b).

Cuadro 4.5. Prueba Tukey para comparación múltiples entre tratamientos

Dependent Variable	(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
DBO ₅	T ₃	T ₂	111,00000*	10,21981	0,000
		T ₃	324,00000*	10,21981	0,000
	T ₂	T ₁	-111,00000*	10,21981	0,000
		T ₃	213,00000*	10,21981	0,000
	T ₃	T ₁	-324,00000*	10,21981	0,000
		T ₂	-213,00000*	10,21981	0,000

DQO	T ₁	T ₂	181,00000*	23,98147	0,001
		T ₃	348,00000*	23,98147	0,000
	T ₂	T ₁	-181,00000*	23,98147	0,001
		T ₃	167,00000*	23,98147	0,001
	T ₃	T ₁	-348,00000*	23,98147	0,000
		T ₂	-167,00000*	23,98147	0,001

*. The mean difference is significant at the 0,05 level.

Fuente: Espinoza y Zambrano (2019)

A pesar que en este estudio se encontró diferencia significativa entre los tres tratamientos de EM aplicados, existe una clara diferencia con lo que Roldan *et al.* (2007) concluyen en su estudio similar (Evaluación del efecto de los EM–EMRO en el tratamiento de aguas residuales doméstica) manifestando que su tratamiento no genera una remoción significativa en las concentraciones de carga orgánica. Aunque dicho hallazgo, en este estudio se lo enmarca a que el tiempo que los autores mencionados utilizaron fue de 30 a 45 días, mientras que en esta investigación se empleó el tratamiento durante 7 días; ajustado más a lo expresado por Ngurah (2005) quien encuentra oportuno y eficiente un tratamiento con EM no superior a 11 días. Por lo tanto, en esta investigación se comprueba que en un tiempo de 7 días se obtiene una eficiencia significativa del tratamiento de aguas residuales a través de la aplicación de EM.

4.3. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS TRATAMIENTOS ESTUDIADOS

En el cuadro 4.6 se presenta la estimación económica para tratar 1m³ de aguas residuales en la planta de tratamiento de la ESPAM MFL, según las dosis aplicadas. El T₃ requiere un costo de \$0,25 para el tratamiento de 1m³ de agua residual con los EM, mientras que los T₁ y T₂ requieren un valor menor de \$0,16 y \$0,21, respectivamente. Estos valores se obtuvieron de la estimación de la cantidad de dosis de EM proyectada para 1 m³. La dosis de EM se cuantificó.

Se encontró que el T₃ (2,00% EM) tiene una mayor viabilidad económica porque el costo beneficio (1,75 \$/m³) es superior a los otros tratamientos (T₁= 0,32 \$/m³ y T₂= 0,84 \$/m³). Adicionalmente, este fue el tratamiento que obtuvo un % de remoción de DBO₅ y DQO más alto.

Cuadro 4.6. Resumen de la estimación de costos por cada tratamiento.

Tratamiento	EM	Dosis (ml)	Costo (m ³)	Total costos que varían	Beneficio neto \$/m ³
T ₁ (0,75% EM)	<u>Saccharomyces sp. Lactobacillus spp, Rhodopseudomona spp</u>	3	0,16	0,48	0,32
T ₂ (1,25% EM)	<u>Saccharomyces sp. Lactobacillus spp, Rhodopseudomona spp</u>	5	0,21	1,05	0,84
T ₃ (2,00% EM)	<u>Saccharomyces sp. Lactobacillus spp, Rhodopseudomona spp</u>	8	0,25	2,00	1,75

Fuente: Espinoza y Zambrano (2019)

Con estos resultados se demuestra que el tratamiento de aguas residuales con EM es viable económicamente; coincidiendo con Mete (2014) quien establece que cuando el beneficio es mayor a 85%, la viabilidad es positiva; siendo viable en el tiempo.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- A través de los análisis físico-químicos y microbiológicos se comprobó que las aguas residuales de la ESPAM requieren someterse a tratamientos adicionales para poder descargarse a cuerpos de agua dulce.
- Los microorganismos (*Saccharomyces sp.*, *Lactobacillus spp.*, *Rhodospseudomona spp*) son eficientes en la remoción de carga orgánica presente en aguas residuales, sin embargo, es necesario considerar que los sólidos disueltos, a mayor concentración de EM también aumenta; asociándolo al uso de melaza.
- El tratamiento con EM es viable económicamente; siendo el T₃ el que presenta un mayor beneficio neto, en comparación con T₁ y T₂.

5.2. RECOMENDACIONES

- Incluir un tratamiento secundario para la remoción de carga orgánica contaminante en las aguas residuales de la ESPAM MFL.
- Aplicar dosis de microorganismos eficientes más elevadas para obtener una mayor remoción de carga orgánica; ya que en este estudio se comprobó que a mayor dosis mayor eficiencia.
- Implementar la dosis del T₃ como tratamiento a las aguas residuales de la ESPAM debido que el beneficio neto es mayor al 85%.

BIBLIOGRAFÍA

- ACARA (Asociación de Cerveceros Artesanales de la República de Argentina). (2006). Las levaduras, algo sobre ellas. (En línea). EC. Consultado, 28 de jul. 2018. Formato PDF. Disponible en: <http://www.cervezasargentinas.com.ar>.
- American Water Works Association. (1992). Standard methods. Edited by A. W.W.A. E.U.A. 45-800p.
- Atlas, R. y Bartha, R. (1998). Ecología microbiana y microbiología ambiental. Tercera Edición. Editorial Addison Wesley. Madrid. España. 677 pp.
- Bejarano y Escobar. (2015). Eficiencia del uso de microorganismos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en una planta de tratamiento de agua residual. (En línea). Consultado, 22 de may. 2018. Formato PDF. Disponible en: <http://repository.lasalle.edu.com>.
- Blanch, H. W., Drew, S., & Daniel, I. (1985). The practice of biotechnology: current commodity products. Pergamon Press.
- Blundi, C. (1998). Aplicación de métodos alternativos para la determinación de materia orgánica en aguas residuales. Doctorado en Hidráulica y saneamiento. Universidad de San Carlos. Brasil. 329 pp.
- Boari, G., Mancini, I., Trulli, E. (1997). Technologies for wáter wastewater treatment. Options Méditerranéennes. 31: 261-287.
- Braille, P. y Cavalcanti, E. (1980). Manual de tratamiento de aguas residuales. Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental, Sao Paulo, Brasil. 139 p.
- Briones, 2010. Metodología de la investigación cuantitativa en las ciencias sociales. (En línea). Consultado, 22 de may. 2018. Formato PDF. Disponible en: <http://ipes.anep.edu.uy>.
- Cabrera, M; Pulla, M. (2014). Línea base para el aprovechamiento de microalgas de sistemas de tratamiento de agua residual. (En línea). EC. Consultado, 28 de jul. 2018. Formato PDF. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec>.

- Cárdenas, J. (2012). Modelación dinámica de las lagunas de oxidación de Portoviejo. (En línea). EC. Consultado, 07 de jul. 2018. Formato PDF. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec>.
- Cardona, J. y García L. (2008). Evaluación del efecto de los microorganismos eficaces sobre la calidad de un agua residual doméstica. Obtenido de <http://repository.javeriana.edu.co>.
- Carillo, D; y Huacollo, M. (2011). Tratamiento de las aguas residuales del comité de regantes de Arunta. BIOEM Tacna, (Perú) pp. 17.
- Carvajal, 2014. Método deductivo de investigación. (En línea). EC. Consultado, 07 de jul. 2018. Formato PDF. Disponible en: <http://www.lizardo-carvajal.com>.
- Chain, N. (2011). Proyectos de inversión de formulación y evaluación. Segunda edición Pearson educación. Chile. 26 pp.
- Ching, Y., y Redzwan, G. (2017). Biological treatment of fish processing saline wastewater for reuse as liquid fertilizer. *Sustainability*, 9(7), 1062.
- Clesceri, L., Greenberg, A. y Eaton, A. (1999). *Standard Methods for Examination of water y Wastewater*, 20th Edition. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Environment Federation (WEF). Washington, DC.USA. 1325 pp.
- Darbi, A., Viraraghavan, T., Jin, Y. C., Braul, L., & Corkal, D. (2003). Sulfate removal from water. *Water Quality Research Journal*, 38(1), 169-182.
- Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. (1976). Manual de tratamiento de aguas negras. Ed. Limusa Wiley, S.A. México D.F. p 123-345.
- Diehl, S. y Jeppsson, U. 1998. A model of the settler coupled to the biological reactor. *Water research*. 32(2): 331-342.
- Eckenfelder, W. 2000. *Industrial Water Pollution Control*. Third Edition. Editorial McGraw Hill. USA. 102 pp.
- Eckenfelder, W. y Grau, P. 1992. *Activated Sludge Process Design y Control: Theory y Practice*. First Edition. Editorial Technomic Pub. Co. USA. 317 pp.

- EMPROTEC. 2016. Guía de la Tecnología EM. (En línea). CR. Consultado, 26 de jul. 2018. Formato PDF. Disponible en: <http://www.infoagro.go.cr>.
- Espigares y Pérez, (s.f).Aguas residuales domésticas. Consultado, 28 de jul. 2018. (En Línea).Formato PDF.Disponible en: <http://cidta.usal.es>.
- Estrella, A., Amett, Y., & Batista Núñez, J. C. (2016). Tratamiento de Aguas Residuales por medio de Sistemas de Humedales Artificiales en el Café de Herrera.
- Flores-Gómez, S., Cesar, J. S., Aures, E. T., Becerra, T. C., & Castro, Á. (2018). Parámetros de calidad del agua y estado trófico de humedal artificial costero: caso de laguna “La Mansión”–Lima (Perú). *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 4(1).
- Gaudy, J. y Gaudy, E. (1971). *Biological Concepts for design y Operation of the Activated Sludge Process*. Report No. 17090, FQJ, 09/71. US EPA. Washington, D.C: U.S. Environmental Protection.
- Gómez, (2011). Planta de tratamiento de aguas residuales. (En línea). EC. Consultado, 28 de jul. 2018. Formato PDF. Disponible en: <http://www.aguascalientes.gob.mx>.
- Gómez, J. C., y Galindo, L. A. (2008). Evaluación del Efecto de los Microorganismos Eficaces (EM) sobre la calidad de un agua residual doméstica. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C: Facultad de Ciencias.
- Hecht, D. S., Heintz, A. M., Lee, R., Hu, L., Moore, B., Cucksey, C., & Risser, S. (2011). High conductivity transparent carbon nanotube films deposited from superacid. *Nanotechnology*, 22(7), 075201.
- Herrera, O; Corpas, E. (2013). Reducción de la contaminación en agua residual industrial láctea utilizando microorganismos benéficos. (En línea).CO. Consultado, 26 de jul. 2018. Formato PDF. Disponible en: <http://www.scielo.org.co>.
- Higa, T. (2009). Manual Práctico de Uso de EM. (En línea). Formato PDF. Consultado, 30 de Jul. 2018. Disponible en: www.emuruguay.org.

- Higa, T. y Chien, N. (1998). EM Treatments of odor, Waste water, y Environmental Problems. College of Agriculture, University of Ryukyus, Okinawa, Japan.
- Higa, T. y Parr, J. (1994). Beneficial and Effective Microorganisms for a Sustainable Agriculture and Environment. International Nature Farming Research Center, (Atami - Japan) pp. 7.
- Holt, J. (2000). Bergey's manual of determinative bacteriology. 9^a ed. Philadelphia: Lippincott Williams y Wilkins Eds, pp. 787.
- Kampli, S., Singa, M., y Virupakshi, A. S. (2015). Characterization of Bellary nala and its impacts on soil and crops. International Research Journal of Engineering and Technology, 2, 1085-1088.
- La Mota, D. (1982). Tratamiento de aguas residuales. Tecnología convencional y tecnología apropiada. IX Jornadas de Ingeniería, Quinta etapa, Tomo I. Guayaquil, Ecuador, p 26-32.
- Li, J., Li, F., Liu, Q., & Suzuki, Y. (2014). Nitrate pollution and its transfer in surface water and groundwater in irrigated areas: a case study of the Piedmont of South Taihang Mountains, China. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 16(12), 2764-2773.
- Li, S. L., Liu, C. Q., Li, J., Xue, Z., Guan, J., Lang, Y., ... & Li, L. (2013). Evaluation of nitrate source in surface water of southwestern China based on stable isotopes. *Environmental earth sciences*, 68(1), 219-228.
- López, (2011). Tratamiento de aguas residuales – escala laboratorio. (En línea). EC. Consultado, 22 de may. 2018. Formato PDF. Disponible en repositorio.usfq.edu.ec.
- López. (1981). Tratamiento biológico de aguas residuales en perspectiva de la biotecnología en México. México: CONACYT.
- Luby, S. P., Rahman, M., Arnold, B. F., Unicomb, L., Ashraf, S., Winch, P. J., ... & Leontsini, E. (2018). Effects of water quality, sanitation, handwashing, and nutritional interventions on diarrhoea and child growth in rural Bangladesh: a cluster randomised controlled trial. *The Lancet Global Health*, 6(3), e302-e315.

- Mayoral, F., & Niyeth, C. (2019). Análisis De La Calidad Del Agua Del Embalse Del Muña Para Su Posible Tratamiento.
- Mendoza, Á. C., Vidal, L. L., Hurtado, E., Maestre, R. B., y Acuña, R. S. (2018). Sistema de tratamiento de aguas superficiales para consumo humano en la Microcuenca del río Carrizal, Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, 11(28), 76-87.
- Metcalf y Eddy. (2003). *Wastewater engineering. Treatment y reuse*. Fourth Edition. Editorial Mc Graw Hill. Boston, Massashuttes. 1819 pp.
- Mete, M. R. (2014). Valor actual neto y tasa de retorno: su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión. *Fides et Ratio-Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 7(7), 67-85.
- Mores, R., Treichel, H., Zakrzewski, C. A., Kunz, A., Steffens, J., & Dallago, R. M. (2016). Remove of phosphorous and turbidity of swine wastewater using electrocoagulation under continuous flow. *Separation and Purification Technology*, 171, 112-117.
- Murillo, J. (2011). Métodos de investigación de enfoque experimental. Uso los recur. Didácticos por parte los maest. *Maest. Prim. Cuarto año básico las esc. Parroquia*, 5.
- Nagarajan, P., Sruthy, K. S., Lal, V. P., Devan, V. P., Krishna, A., Lakshman, A., ... y Pal, S. (2017). Biological treatment of domestic wastewater by selected aquatic plants. In *2017 International Conference on Technological Advancements in Power and Energy (TAP Energy)* (pp. 1-4). IEEE.
- Ngurah, G. (2005). Preliminary experiment of EM. Technology on wastewater tratment. *Indonesian Kyusei Nature Farming Society.*, Saraburi, Thaily 1-6.
- Okuda, A. y Higa, T. 2005. Purification of wastewater with effective microorganisms y its utilization on agricultura. *APNAN, Thaily*. 246-253.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2013). *Tratado del agua*. (En línea). Consultado el 22 de mayo del 2018. Formato PDF. Disponible en: <http://www.who.int/topics/water/es>.

- ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2013). Objetivos de Desarrollo Sostenible. (En línea). Consultado, 22 de jul. 2018. Formato HTML. Disponible en: <https://www.un.org>.
- Orozco, A. y, A. (1989). Tratamiento biológico de las aguas residuales. Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería. Medellín. Colombia. 467 pp.
- Ramalho, R. (1983). Introduction to wastewater treatment processes. Second Edition. Editorial. Academic Press. USA. 1519 pp.
- Rasool, K., Mahmoud, K. A., Johnson, D. J., Helal, M., Berdiyrov, G. R., y Gogotsi, Y. (2017). Efficient antibacterial membrane based on two-dimensional Ti₃C₂T_x (MXene) nanosheets. Scientific reports, 7(1), 1598.
- Rodríguez, (2013). Tratamiento de aguas residuales. (En línea). Consultado, 28 de jul. 2018. (En Línea). Formato PDF. Disponible en: <http://asesorias.cuautitlan2.unam.mx>.
- Rodríguez, J., Sierra, M., León, J., Medina, F., Lizardo, N., & Montiel, A. (2009). Fraccionamiento de la materia orgánica de un agua residual de la industria avícola para la remoción biológica de nutrientes. Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas, 43(2).
- Roldan, F., Guevara, C. y Puerto, R. (2007). Evaluación del efecto de los microorganismos eficaces EM – EMRO en el tratamiento de aguas residuales doméstica. Unidad de saneamiento y biotecnología ambiental (USBA). Departamento de Biología. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 27 pp.
- Romero, T. d., y Vargas, D. (2017). Uso de microorganismos eficientes para tratar aguas contaminadas. Ingeniería Hidráulica y Ambiental , 38 (3), 88-100.
- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. Ingeniería e Investigación; Vol. 27, núm. 3 (2007); 172-181 Ingeniería e Investigación; Vol. 27, núm. 3 (2007); 172-181 2248-8723 0120-5609.

- Sangakkara. (2002). "The technology of Effective Microorganisms - Case studies of application". Royal Agricultural College, (Peradeniya) p. 1.
- SENPLADES (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo). (2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 Toda una vida. Quito, ECU. (En Línea). Consultado 10 de Octubre del 2017. Formato PDF. Disponible en: <http://www.cancilleria.gob.ec>.
- Seoanez, M. (1996). Aguas residuales urbanas, tratamientos naturales, de bajo costo y aprovechamiento, bajo costo de instalación, producción agraria y rentabilidad de uso. Mundi-Prensa, Madrid.España. 251p.
- Silva, A. y Silva, R. (1995). Utilización de microorganismos eficaces, para el tratamiento de aguas negras domésticas por el método de lodos activados. Fundación Mokichi Okada.25-30.
- Simanca, M. M., Álvarez, B. E., & Paternina, R. (2017). Calidad física, química y bacteriológica del agua envasada en el municipio de Montería.
- Szymansky, N. y Patterson, R. (2003). Effective Microorganisms (EM) y Wastewater Systems. University of New Engly. Lanfaz Laboratories Armidale. 347-354.
- Trujillo-González, J., Mahecha-Pulido, J., Torres-Mora, M., Brevik, E., Keesstra, S., y Jiménez-Ballesta, R. (2017). Impact of potentially contaminated river water on agricultural irrigated soils in an equatorial climate. *Agriculture*, 7(7), 52.
- TULSMA (Texto Unificado Legislación Secundaria del Medio Ambiente). (2015). Acuerdo N° 97-A Anexo 1, Libro VI de la Calidad Ambiental. Quito, EC. (En Línea). Consultado, 10 de Octubre del 2017. Formato PDF. Disponible en: <http://www.industrias.ec>.
- U.S. EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos). (1994). Estándares de calidad del agua. Consultado, 10 de Octubre del 2017. Formato PDF. Disponible en: <https://espanol.epa.gov/espanol/agua>
- Vitousek, P. M., Aber, J. D., Howarth, R. W., Likens, G. E., Matson, P. A., Schindler, D. W., ... & Tilman, D. G. (1997). Human alteration of the global

nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecological applications*, 7(3), 737-750.

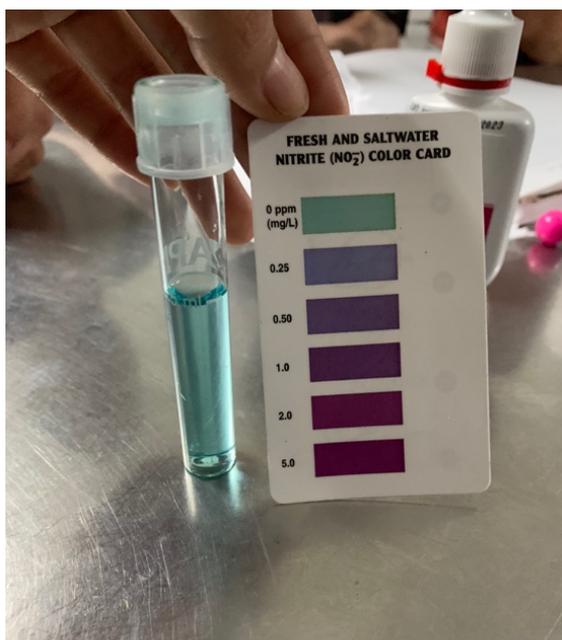
Xue, Y., Song, J., Zhang, Y., Kong, F., Wen, M., & Zhang, G. (2016). Nitrate pollution and preliminary source identification of surface water in a semi-arid river basin, using isotopic and hydrochemical approaches. *Water*, 8(8), 328.

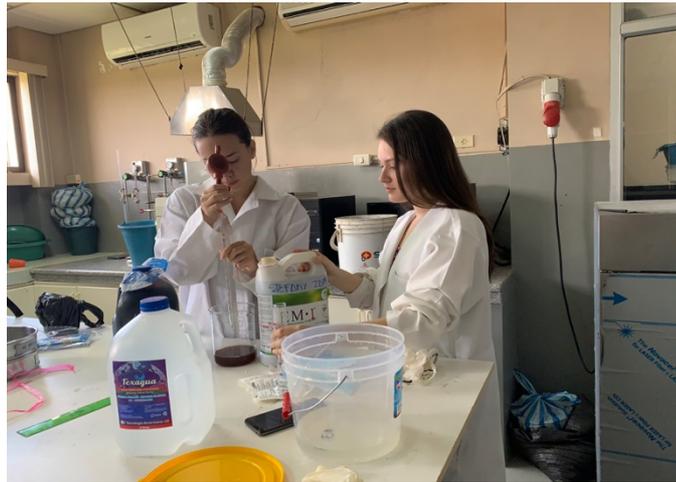
Zakaria, Z., Gairola, S., y Shariff, N. M. (2010). Effective Microorganisms (EM) Technology for Water Quality Restoration and Potential for Sustainable Water Resources and Management.

Zurita, F., Castellanos, O., y Rodríguez, A. (2011). El Tratamiento de las Aguas Residuales Municipales en las Comunidades Rurales de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (1), 139-150.

ANEXOS

Anexo 1. Medición de caudales en punto de aforo.**Anexo 2. Agua residual tratada en la planta de la ESPAM MFL****Anexo 2a. Punto de muestreo****Anexo 2b. Muestra de agua residual**

Anexo 3. Análisis físico-químico y microbiológicos en la caracterización del agua residual.**Anexo 3a. Análisis de DBO_5 de la muestra de agua****Anexo 3b. Análisis de nitritos****Anexo 3c. Análisis de pH al agua**

Anexo 4. Preparación de las unidades experimentales Inoculación y activación de (EM)**Anexo 5.** Montaje de los bioensayos con sus respectivas unidades experimentales**Anexo 6.** Desarrollo del experimento

Anexo 7. Caudales en el punto de aforo durante los días de monitoreo.

Repeticiones	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10
1	0,17	0,50	0,50	1,00	0,50	1,00	0,50	1,00	1,50	0,60
2	0,50	0,50	1,00	1,50	0,75	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
3	1,50	1,00	0,25	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
4	1,50	0,60	1,00	0,75	0,75	0,60	1,00	1,50	3,00	1,00
5	1,00	0,50	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6	1,50	1,50	3,00	1,50	0,75	1,50	1,50	1,50	0,50	1,50
7	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	0,60	1,50	1,50
8	3,00	0,75	3,00	0,75	1,50	3,00	0,43	3,00	0,75	1,50
9	1,50	1,50	1,50	0,50	1,50	1,50	1,00	1,50	1,00	1,50
10	1,50	0,30	0,38	1,50	1,50	1,50	1,50	0,75	1,50	1,50
11	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	0,33	0,33
12	1,50	1,50	0,50	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,43	1,50
13	1,50	1,50	1,50	0,60	0,75	1,50	0,75	1,50	1,50	1,50
Promedio	1,40	1,01	1,26	1,16	1,15	1,35	1,09	1,33	1,15	1,19

Anexo 8. Análisis físico-químico en la caracterización del agua residual.

Parámetros analizados	Unidad	Resultados por semana			Promedio
		1	2	3	
pH	----	8.26	8.23	8.21	8,23
Sólidos totales	mg/L	1052	1065	1051	1056,00
Sólidos disueltos	mg/L	577	582	581	580,00
Nitritos	mg/L	0,036	0,033	0,031	0,033
Nitratos	mg/L	47	47	47	47,00
Cloro libre residual	mg/L	0.65	0.83	0.76	0,75
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	739	737	735	736,00
Demanda química de Oxígeno (DQO)	mg/L	921	916	917	918,00

Anexo 8a. Resultados de análisis físico-químico del agua residual, durante las tres semanas de muestreo

**CERTIFICACIÓN**

Por medio de la presente certifico **ESPINOZA LOOR MARÍA LEONELA** con CI 1316874153 y **ZAMBRANO ANDRADE STEFANY MICHELLE** con CI 1313796201 egresadas de la carrera de Ing. Ambiental de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "MFL", realizaron análisis físicos químicos para llevar a cabo el proyecto de titulación "**EFICIENCIA DE LOS MICROORGANISMOS *SACCHAROMYCES SP, LACTOBACILLUS SPP, RHODOSPIRILLUM SPP* EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA ESPAM MFL**"

Prácticas que estuvieron supervisadas bajo el personal del laboratorio Química Ambiental y Suelos

Particular que me suscribe a usted para los fines legales pertinentes.

Atentamente


ING. FABIÁN PEÑARRIETA MAÑAS, MG
TÉCNICO

Anexo 8b. Certificación: resultados de análisis físico-químico del agua residual, durante las tres semanas de muestreo

REPÚBLICA DEL ECUADOR




ESPAMMFL
 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
 AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ
 Ley 2006 - 49 Suplemento R.O. 298 - 23 - 06 - 2006
 CALCETA - ECUADOR

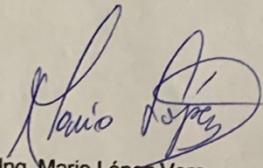


LMA
 Laboratorio de Microbiología Ambiental

REPORTE DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO		Página 1 de 1	
CLIENTES:	Leonela Espinoza Loor Michelle Zambrano Andrade	Nº DE ANÁLISIS:	2
DIRECCIÓN:	CAMPUS POLITÉCNICO		
TELEFONO:	0960157538	Fecha de recibido:	22/05/2019
NOMBRE DE LA MUESTRA:	"Agua Residual"	Fecha de análisis:	22/05/2019
CANTIDAD RECIBIDA:	1	Fecha de reporte:	27/05/2019
TIPO DE ENVASE:	Recipiente de vidrio de 250 ml de capacidad	Fecha de muestreo:	22/05/2019
OBSERVACIONES:	El laboratorio no se responsabiliza por la recolección y el traslado de las muestras.	Método de muestreo:	NTE INEN 1529-2
OBJETIVO DEL MUESTREO:	Control de calidad	Responsables del muestreo:	Investigadores

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PRUEBAS SOLICITADAS	UNIDAD	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO
AGUA RESIDUAL (CARACTERIZACIÓN)	Determinación de Coliformes totales	NMP/100mL	800	Método estándar de fermentación en tubos múltiple "9221 B"
	Determinación de <i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	230	Método estándar para coliformes fecales "9221 C"

Nota:
 Resultados validos únicamente para las muestras analizadas y, no para otros productos de la misma procedencia.
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe.



Ing. Mario López Vera.
 COORDINADOR (E) LAB. DE MICROBIOLOGÍA AMBIENTAL ÁREA AGROINDUSTRIA



ESPAMMFL
 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
 AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ

Carrera de
AGROINDUSTRIA

LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA
 AMBIENTAL ÁREA AGROINDUSTRIA

Anexo 8c. Certificación: resultados de análisis microbiológicos del agua residual.

Anexo 9. Análisis de variación de los resultados en los datos obtenidos de los parámetros analizados con los distintos tratamientos.

Parámetros	Unidad	Resultado por tratamientos			
		T ₁ (0,75% EM)	T ₂ (1,25% EM)	T ₃ (2,00% EM)	
	pH	---	7,47	7,52	7,77
	Sólidos totales	mg/L	1075,00	1098,00	1136,00
	Sólidos disueltos	mg/L	598,00	617,00	647,00
Físico-químicos	Nitritos	mg/L	0,036	0,033	0,031
	Nitratos	mg/L	43,00	38,00	33,00
	Sulfatos	mg/L	71,00	71,00	71,00
	Cloro libre residual	mg/L	0,70	0,70	0,70
	DBO ₅	mg/L	628,00	517,00	304,00
	DQO	mg/L	743,00	562,00	395,00
	Microbiológicos	Coliformes fecales	NMP	226,00	221,00
Coliformes totales		NMP	800,00	800,00	800,00

Anexo 10. Eficiencia de los microorganismos para reducir los niveles de carga orgánica (DBO₅ y DQO)

Unidad Experimental	DBO ₅ mg/L	DQO mg/L
T ₁ R ₁	634,00	710,00
T ₁ R ₂	618,00	801,00
T ₁ R ₃	632,00	718,00
T ₂ R ₁	496,00	558,00
T ₂ R ₂	528,00	561,00
T ₂ R ₃	527,00	567,00
T ₃ R ₁	313,00	401,00
T ₃ R ₂	298,00	393,00
T ₃ R ₃	301,00	391,00

Anexo 11. Cuantificación de los % de remoción de carga orgánica de acuerdo a los valores promedio de las concentraciones de DQO y DBO₅

		DBO₅	DQO
	Inicial	736,00	918,00
Muestra de aguas residuales inicial	Promedio T ₁	628,00	743,00
	Promedio T ₂	517,00	562,00
	Promedio T ₃	304,00	395,00
	<hr/>		
T₁ (0,75% EM)	%remoción	108,00	175,00
	%remoción	0,15	0,19
	%remoción	14,67	19,06
<hr/>			
T₂ (1,25% EM)	%remoción	219,00	356,00
	%remoción	0,30	0,39
	%remoción	29,76	38,78
<hr/>			
T₃ (2,00% EM)	%remoción	432,00	523,00
	%remoción	0,59	0,57
	%remoción	58,70	56,97
<hr/>			

Anexo 12. Captura de pruebas ANOVA y Tukey

Anexo 12a. Captura de prueba ANOVA para la comprobación de hipótesis en SPSS

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DBO5	Between Groups	162666.000	2	81333.000	519.147	.000
	Within Groups	940.000	6	156.667		
	Total	163606.000	8			
DQO	Between Groups	181754.000	2	90877.000	105.344	.000
	Within Groups	5176.000	6	862.667		
	Total	186930.000	8			

Anexo 13b. Captura de prueba Tukey para la comparación múltiple

Post Hoc Tests

Dependent Variable	(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
DBO5	Tratamiento 1	Tratamiento 2	111.00000*	10.21981	.000	79.6428	142.3572
		Tratamiento 3	324.00000*	10.21981	.000	292.6428	355.3572
	Tratamiento 2	Tratamiento 1	-111.00000*	10.21981	.000	-142.3572	-79.6428
		Tratamiento 3	213.00000*	10.21981	.000	181.6428	244.3572
	Tratamiento 3	Tratamiento 1	-324.00000*	10.21981	.000	-355.3572	-292.6428
		Tratamiento 2	-213.00000*	10.21981	.000	-244.3572	-181.6428
DQO	Tratamiento 1	Tratamiento 2	181.00000*	23.98147	.001	107.4183	254.5817
		Tratamiento 3	348.00000*	23.98147	.000	274.4183	421.5817
	Tratamiento 2	Tratamiento 1	-181.00000*	23.98147	.001	-254.5817	-107.4183
		Tratamiento 3	167.00000*	23.98147	.001	93.4183	240.5817
	Tratamiento 3	Tratamiento 1	-348.00000*	23.98147	.000	-421.5817	-274.4183
		Tratamiento 2	-167.00000*	23.98147	.001	-240.5817	-93.4183

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.