



ESPAMMFL

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**TESIS PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
EN MEDIO AMBIENTE**

TEMA:

**EFICIENCIA DE CONSORCIOS BACTERIANO – MICROALGAL
PARA LA DISMINUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE
MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUALES DE LA ESPAM
MFL**

AUTOR:

CAMPOS XAVIER BERMÚDEZ DEMERA

TUTOR:

Q.F. PATRICIO JAVIER NOLES AGUILAR, M.Sc.

CALCETA, JULIO 2016

DERECHOS DE AUTORÍA

Campos Xavier Bermúdez Demera, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo los 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.

.....
CAMPOS X. BERMÚDEZ DEMERA

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

Patricio Javier Noles Aguilar certifica haber tutelado la tesis **EFICIENCIA DE CONSORCIOS BACTERIANO – MICROALGAL PARA LA DISMINUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUALES DE LA ESPAM MFL**, que ha sido desarrollada por Campos Xavier Bermúdez Demera, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

.....
Q.F. PATRICIO J. NOLES AGUILAR, M.Sc.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaran que han APROBADO la tesis **EFICIENCIA DE CONSORCIOS BACTERIANO – MICROALGAL PARA LA DISMINUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUALES DE LA ESPAM MFL**, que ha sido propuesta, desarrollada y sustentada por Campos Xavier Bermúdez Demera, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

.....

ING. JUAN C. LUQUE VERA, M. Sc.

MIEMBRO

.....

ING. SERGIO S. ALCÍVAR PINARGOTE, M. Sc.

MIEMBRO

.....

ING. AGUSTÍN LEIVA PÉREZ, Ph. D.

PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me dio la oportunidad de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día;

.....
CAMPOS X. BERMÚDEZ DEMERA

DEDICATORIA

Cada triunfo en nuestras vidas o metas cumplidas, así como el resultado obtenido de cada día vivido, será dedicado en primer lugar a Dios.

También quiero dedicar, y más que nada dejar plasmado en este documento, mi eterna gratitud por tantos esfuerzos y sacrificios, para darme la oportunidad de alcanzar un título profesional, a mis padres y en especial a mi madre, Jenny Demera, quien ha iluminado e inspirado cada día de mi vida. Guiándome cuando lo he necesitado y enseñándome con su ejemplo que cuando las metas se quieren alcanzar no existen impedimentos que nos detengan; que con constancia, trabajo, paciencia y buen humor se llega lejos en la vida. Por eso y mucho más le quedo eternamente agradecido.

.....
CAMPOS X. BERMÚDEZ DEMERA

CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	4
1.3. OBJETIVOS	6
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	6
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.4. HIPÓTESIS	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. EL AGUA.....	7
2.1.1. GENERALIDADES	7
2.1.2. AGUAS RESIDUALES	7
2.2. BIORREMEDIACIÓN	8
2.2.1. CONSORCIO MICROBIANO	9
2.2.2. MICROALGAS	10
2.3. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO	11
2.3.1. DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO ₅).....	11
2.3.3. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (ph).....	11
2.3.4. OXÍGENO DISUELTO (OD)	11
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	12
3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	12
3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO.....	12
3.3. FACTORES EN ESTUDIO	12
3.3.1. NIVELES	12
3.4. TRATAMIENTOS	13
3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	13
3.6. UNIDAD EXPERIMENTAL.....	13

3.7. VARIABLES A MEDIR.....	14
3.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	14
3.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE	14
3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	15
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
4.1. APLICACIÓN DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE CONSORCIOS BACTERIANO – MICROALGAL EN AGUAS RESIDUALES DE LA ESPAM MFL	16
4.2. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE DISMINUCIÓN DE LA DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	17
4.2.2.2. Prueba paramétrica (ANOVA) para el Potencial de Hidrógeno (ph)....	21
4.3. DISCUSIÓN	23
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	25
5.1. CONCLUSIONES.....	25
5.2. RECOMENDACIONES	25
BIBLIOGRAFÍA	26

CONTENIDO DE CUADROS Y FIGURAS

CUADRO 4. 1. CONSORCIOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN	16
CUADRO 4.2. DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL.....	17
CUADRO 4. 3. %SATURACIÓN DEL OD DEL DIAGNÓSTICO DEL AGUA RESIDUAL.....	17
CUADRO 4. 4. % SATURACIÓN DE OXÍGENO	18
CUADRO 4.5. SUPUESTOS DE NORMALIDAD.....	19
CUADRO 4.6. SUPUESTO DE HOMOGENEIDAD (LEVENE) PARA EL INDICADOR COMPLEMENTARIO OD.	19
CUADRO 4. 7. SUPUESTO DE HOMOGENEIDAD (LEVENE) PARA EL INDICADOR COMPLEMENTARIO PH	19
CUADRO 4. 8 ANOVA PARA LOS FACTORES AxB DEL INDICADOR COMPLEMENTARIO OD.....	19
CUADRO 4. 9 ANOVA PARA LOS FACTORES AxB DEL INDICADOR COMPLEMENTARIO PH.....	21
CUADRO 4.10. PRUEBA T STUDENT PARA LA VARIABLE DBO_5	22
GRÁFICO 4.1. CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO.	20
GRÁFICO 4.2. VARIACIÓN DEL PH).	21

RESUMEN

Esta investigación se la efectuó con el objetivo de evaluar la relación entre los consorcios bacterianos – microalgales y la concentración de DBO_5 en aguas residuales de la ESPAM MFL, desarrollada con dos factores en estudio: consorcio bacteriano (*Sccharomyce Cerevisiae*, *Bacillus acidolácticos*, *Lactobacillus acidófilos*) y consorcio microalgal (*Chlorella*, *Desmodemus*). Se formularon seis combinaciones con tres niveles de consorcio microbiano y dos niveles de consorcio microalgal, obteniendo los siguientes tratamientos T1 (270:270 μdm^3), T2 (270:410 μdm^3), T3 (410:270 μdm^3), T4 (410:410 μdm^3), T5 (540:270 μdm^3), T6 (540:410 μdm^3). La unidad experimental fue de 0,27 dm^3 de muestra de agua residual procedente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ESPAM MFL. Se determinaron los siguientes parámetros: Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5), Oxígeno Disuelto (OD) y Potencial de Hidrógeno (pH)). En base a los resultados se concluye que el uso de una mezcla de consorcios como el Bacteriano (*Sccharomyce Cerevisiae*, *Bacillus acidolácticos*, *Lactobacillus acidófilos*) y Microalgal (*Chlorella*, *Desmodemus*) favorece a la disminución de la concentración de materia orgánica en aguas residuales, ayudando en los procesos de biorremediación. La calidad del efluente proveniente de la PTAR presentó criterios no admisibles con ciertas normativas ambientales citadas en este documento, situación que mejoró notablemente con la aplicación de los consorcios propuestos. La eficiencia de los consorcios bacteriano – microalgal fue del 97,77%, demostrando una reducción de la DBO_5 de 45 veces menos que su valor inicial.

PALABRAS CLAVES

Microalgas, microorganismos, demanda biológica de oxígeno, oxígeno disuelto, pH.

ABSTRACT

This research was made with the objective of evaluating the relation between the consortium and the concentration of BOD₅ in wastewater of the ESPAM MFL, developed with two factors under study: bacterial consortium (*Sccharomyce cerevisiae*, *Bacillus acid lactic*, *Lactobacillus acidophilus*) and micro algae consortium (*Chorella*, *Desmodesmus*). Six combinations were formulated with three levels of microbial consortium and two levels of micro algae consortium, getting the following treatments: T1 (270:270 µdm³), T2 (270:410 µdm³), T3 (410:270 µdm³), T4 (410:410 µdm³), T5 (540:270 µdm³), T6 (540:410 µdm³). The experimental unit was 0.27 dm³ of waste water sample from the wastewater treatment plant of the ESPAM MFL. Biological Oxygen Demand (BOD₅), Dissolved Oxygen (DO) and Potential Hydrogen (pH). The following parameters were determined. Based on the results it is concluded that a mixture of consortia as bacterial (*Sccharomyce cerevisiae acid lactic Bacillus acidophilus Lactobacillus*) and micro algae (*Chlorella, Desmodemus*) favors the decrease of the concentration of organic matter in sewage, helping in bioremediation processes. The quality of the effluent from the WWTP presented inadmissible criteria with certain environmental regulations, situation improved significantly with the implementation of the proposed consortia. The efficiency of bacterial consortia - micro algae was 97.77%, showing a reduction of BOD₅ 45 times less than its initial value.

KEY WORDS

Microalgae, microorganisms, biological oxygen demand, dissolved oxygen, pH.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo a Agudelo, R. *et al.*, (2010) los riesgos por contaminación a los que se ven expuestos los seres vivos van en aumento significativo, ya sea por el uso incontrolado de compuestos químicos del sector agrícola y de la industria en general, o por la descomposición incompleta de material orgánico. La acumulación de residuos, las posibilidades de contacto o el comportamiento en el entorno después de su disposición final, incrementan los riesgos y afectan significativamente el ambiente en especial al recurso agua y suelo.

Córdoba *et al.*, (2010) señala que el agua es uno de los bienes más preciados para la vida en nuestro planeta. Es fundamental para satisfacer las necesidades humanas básicas, la salud, la producción de alimentos, el desarrollo industrial, la energía y el mantenimiento de los ecosistemas regionales y mundiales. Según García (2002) citado por Acurio y Arciniegas (2015) la presencia y acumulación de sustancias químicas orgánicas e inorgánicas dentro del agua altera su proceso biológico natural, provocando una acelerada eutrofización debido al exceso de fosfatos y nitratos dentro de los sistemas acuáticos, alterando la demanda de oxígeno disuelto (OD), la demanda biológica de oxígeno (DBO₅), el potencial de hidrógeno (pH) con fuertes procesos de anoxia causando afectaciones en las poblaciones acuáticas y en la salud humana.

Rincón (2011) citado por Acurio y Arciniegas (2015) indica que las aguas residuales generalmente muestran diferentes tipos de contaminantes como metales, compuestos orgánicos, sólidos, grasas entre otros, que generan un alto índice de contaminación en los depósitos hídricos como ríos, mares; y en suelos, afectando la salud humana y el ambiente en general; por lo que demandan un tratamiento previo, antes de ser reusadas o vertidas en un cuerpo de agua o en los suelos. Situación que también comparte Sorrequieta,

A. (2004), al estimar que las descargas de estas aguas residuales en especial sin ningún tratamiento, contaminan las playas de uso recreacional y de los productos hidrobiológicos que crecen en las áreas cercanas.

La composición de las aguas residuales es un reflejo de los estilos de vida y las tecnologías para la producción de la sociedad (Gray, 1989) citado por García *et al* (2015). El agua residual contiene sustancias indeseadas, como materia orgánica, sólidos en suspensión, compuestos inorgánicos (principalmente nitrógeno y fósforo) y/o compuestos xenobióticos.

La selección de una tecnología particular para la reducción del poder contaminante de las aguas residuales ya sean industriales o domésticas, dependerá de las características del efluente desde su origen. El tratamiento biológico de las aguas es una alternativa viable para depurar una amplia gama de residuos contaminantes, minimizando el impacto de estos sobre el ambiente (Marín *et al.* 2003) citado por Castillo-Borges *et al.*, (2012). El proceso de tratamiento biológico consiste en el control del medio ambiente de los microorganismos de modo que se consigan condiciones de crecimiento óptimas. Las principales aplicaciones de estos procesos son: la eliminación de la materia orgánica carbonosa del agua residual, medida como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Carbón Orgánico Total (COT) o Demanda Química de Oxígeno (DQO); la nitrificación, la desnitrificación, la eliminación de fósforo y la estabilización de lodos (Nodal 2001) citado por Castillo-Borges *et al.*, (2012).

Según manifiesta Calles (2012), Ecuador tiene una deuda muy alta en cuanto a los esfuerzos que se realizan para mejorar la calidad del agua, especialmente, del agua que se vierte producto de actividades industriales, domésticas, agropecuarias, etc. Esta contaminación provoca que muchos ríos a pesar de tener agua corriendo por su cauce, el agua no se pueda utilizar para riego, ganadería o generación eléctrica. Por tanto, se provoca una escasez de agua limitada por la calidad de la misma y no por la cantidad. Esto tiene consecuencias importantes en la gestión de los recursos hídricos ya que la falta

de agua en las zonas bajas aumenta la presión sobre los páramos y ecosistemas de altura para suplir de agua de buena calidad a las poblaciones locales, tal y como comparte Sánchez, I. *et al.*, (2013) al mencionar que La calidad del agua de un SRA se ve afectada por la presencia y acumulación de heces, alimento no digerido, parásitos, flocs bacterianos entre otras cosas.

Robles (2013) señala que la provincia de Manabí tiene dificultades en cumplir con calidad, continuidad y cobertura de la prestación del servicio de tratamiento de aguas residuales. Esta información se evidencia con las declaraciones de Palma, N. (2014) en una publicación de El Universo (2014) que informa que por contaminación en río que da agua al 70% de Manabí, se pide emergencia ya que los líquidos de la laguna de oxidación de la capital manabita que presuntamente no han recibido tratamiento, descienden al río.

En un informe del Laboratorio de Química Ambiental de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López (2011), señala que la planta de tratamiento de aguas residuales de la institución no está trabajando con niveles de eficiencia favorables, y que además no se cuenta con registros de datos relacionados con el monitoreo de las aguas del efluente obtenidas después de sus procesos.

De acuerdo a Cerón, V. *et al.*, (2015) se han propuesto muchos sistemas para la descontaminación de las aguas residuales domésticas, industriales y lixiviados. Actualmente se espera tratar las aguas residuales y derivar un beneficio económico-ambiental. Es en este contexto que los sistemas algales de alta tasa se propusieron inicialmente para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Sin embargo, la investigación realizada alrededor de esta tecnología ha mostrado ventajas y beneficios que no se tenían contemplados inicialmente. En la actualidad se están realizando implementaciones en el tratamiento de las aguas residuales, buscando la producción de biocombustibles, biomasa algal para alimento (animal y humano), la obtención de productos farmacéuticos y la bioprospección de las algas.

En base a lo expuesto, se puede plantear la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo se relacionan los consorcios bacterianos – microalgales con la concentración de DBO_5 en aguas residuales de la ESPAM MFL?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Rincón (2011) citado por Acurio y Arciniegas (2015) manifiesta que el agua es uno de los recursos más importantes y de mayor valor para la humanidad; constituyendo así uno de los elementos más importantes para el desarrollo de la vida en la Tierra, es por esto que día a día se buscan mecanismos que ayuden a mantener, cuidar y preservar este recurso. Las diferentes actividades que el ser humano realiza con el agua, la ponen como una de las principales fuentes de materia prima para su supervivencia.

El agua es requerida casi en la totalidad de las actividades que realiza el ser humano, sin embargo este recurso en la mayoría de ocasiones no recibe un tratamiento adecuado después de su uso.

De acuerdo a García, J. et al., (2006) citado por Cerón, V. et al., (2015) las microalgas se encuentran en los sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales municipales, agropecuarias e industriales, generando a través de la fotosíntesis un suplemento de oxígeno para los microorganismos heterótrofos que degradan los residuos orgánicos. Así mismo, los compuestos inorgánicos son controlados por varios procesos como la fotólisis y la sorción, entre otros. La implementación de esta clase de sistemas algales de alta tasa se generalizó en los años setenta en países como Israel, India, Tailandia y, posteriormente, fue retomada en los Estados Unidos de Norteamérica. El papel de las algas en el tratamiento de aguas residuales empezó a investigarse en Texas y California después de la Segunda Guerra Mundial, al implementar sistemas de este tipo

para pequeñas comunidades rurales, debido a su simplicidad en el funcionamiento en comparación con tecnologías como lodos activados.

Este proyecto de investigación tiene como propósito brindar una alternativa en el tratamiento de las aguas residuales que se recolectan en la PTAR de la ESPAM MFL para así asegurar un adecuado manejo del recurso hídrico después de su uso en las actividades diarias de esta institución; Por lo tanto desde el punto de vista práctico será la comunidad estudiantil, docente, operativa y administrativa las más beneficiadas con los resultados de esta investigación. Desde la perspectiva metodológica los métodos y técnicas utilizados aquí, podrán ser extrapolados o reutilizados en otros contextos y/o poblaciones. Desde el punto de vista teórico se estudiará el comportamiento de los consorcios, lo cual generará información que puede contribuir a nuevos proyectos de estas características.

En otro aspecto y considerando la legislación vigente del país, en la Constitución del Ecuador 2008, Título II, Capítulo Segundo, Sección Segunda, Artículo 14 “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*”, declarando de interés público la preservación del ambiente, la recuperación de espacios naturales degradados, la conservación de ecosistemas y la biodiversidad. A demás tomando en cuenta el Plan Nacional Para el Buen Vivir, en su Objetivo siete, se refiere a “Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global”.

Con estos argumentos se demuestra la importancia que existe de realizar un proyecto que sirva como documento referente a una posible alternativa del mejoramiento del tratamiento de las aguas residuales que actualmente se generan en la ESPAM MFL. Para el desarrollo de esta investigación se contará con el apoyo de la institución, la misma que está dispuesta a apoyar con la información y logística necesaria para realizar el presente trabajo.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la relación entre los consorcios bacterianos – microalgales y la concentración de DBO_5 en aguas residuales de la ESPAM MFL

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar diferentes concentraciones de consorcios bacterianos – microalgales en aguas residuales de la ESPAM MFL.
- Determinar la eficiencia de disminución de la demanda biológica de oxígeno.

1.4. HIPÓTESIS

Los consorcios bacterianos – microalgales influyen positivamente en la disminución de la concentración de la demanda biológica de oxígeno.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. EL AGUA

2.1.1. GENERALIDADES

El agua ocupa las tres cuartas partes de la superficie del planeta. Se compone de tres átomos, uno de oxígeno y dos de hidrogeno que unidos entre si forman una molécula de agua, H₂O (Toscano, 2014).

De acuerdo a González, M. y Chiroles, S. (2011) el agua dulce es un recurso vital pero cada día está más escaso debido al crecimiento demográfico, la urbanización y la industrialización, a lo que se suman los conflictos asociados a los cambios climáticos, que llevan a una degradación continua de este recurso natural.

2.1.2. AGUAS RESIDUALES

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en su calidad original (TULSMA, 2013).

Se denominan aguas residuales a aquellas que resultan del uso doméstico o industrial, se les llama también aguas servidas, aguas negras o aguas cloacales. El término residual se emplea ya que el agua luego de ser usada constituye un residuo que no se puede usar directamente, son negras por el color que habitualmente tienen. Algunas veces se hace una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales considerando la procedencia de las primeras sólo de uso doméstico mientras a las segundas correspondientes a la mezcla de aguas domésticas e industriales (Toscano, 2014).

2.1.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Según Crites *et al.*, (2000) los constituyentes de las aguas residuales pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. Para Lugardo, (2013) la característica física más importante es su contenido de sólidos totales, el cual está compuesto por materia flotante y materia en suspensión, en dispersión coloidal y en disolución. Mientras que las características químicas, que generalmente están presentes en las aguas residuales son: proteínas, carbohidratos, agentes tensoactivos, grasas animales, cloruros, pesticidas, fenoles, metales pesados, oxígeno disuelto, entre otras.

En términos un poco más descriptivos Crites *et al.*, (2000) señala que la materia orgánica en aguas residuales se constituyen básicamente de proteínas (40 a 60 por ciento), carbohidratos (25 a 50 por ciento), y grasas y aceites (8 a 12 por ciento). El mismo autor también indica que la urea, el mayor constituyente de la orina, es otro componente orgánico importante que hace parte de las aguas residuales frescas. Dada su rápida descomposición no es usual encontrarla en otros tipos de aguas.

Las características biológicas de las aguas residuales hacen referencia a los principales microorganismos que se encuentran en las mismas. Estos microorganismos pueden ser clasificados como eucariotas, eubacterias y arqueobacterias (Crites *et al.*, 2000).

2.2. BIORREMEDIACIÓN

Para Olguín *et al.*, (2007) la biorremediación es un proceso biológico en donde diversos microorganismos degradan diversos contaminantes hasta compuestos no tóxicos presentes en suelo, agua o aire, trabajando de manera individual o coordinadamente (mediante sinergias), dentro de un consorcio microbiano. Cortón y Viale (2006) también definen a la biorremediación como la utilización de seres vivos para solucionar un problema ambiental, tales como suelo o agua subterránea contaminados

La biorremediación de agua la realizan de manera natural comunidades autótrofas y heterótrofas con una diversidad de cianobacterias, bacterias (púrpuras, reductoras y no reductoras de sulfato) y diatomeas entre otros grupos taxonómicos, que forman una biopelícula o tapete microbiano (Bender *et al.*, 2004; Robertson *et al.*, 2009) citados por Jiménez-Montealegre, R. *et al.*, (2015). Estas comunidades actúan simultánea y sinérgicamente sobre cada uno de los contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el agua.

2.2.1. CONSORCIO MICROBIANO

López *et al.* (2007) citado por Ochoa *et al.* (2010) manifiesta que un Consorcio Microbiano es una asociación natural de dos o más poblaciones microbianas, de diferentes especies, que actúan conjuntamente como una comunidad en un sistema complejo, donde todos se benefician de las actividades de los demás. La asociación refleja estilos de vida sinérgicos o sintróficos (que significa “comiendo juntos”) en el que el crecimiento y el flujo cíclico de nutrientes se conduce más efectiva y eficientemente que en poblaciones individuales.

Para Cerón, V. *et al.*, (2015) teniendo en cuenta la termodinámica de estos sistemas, se estima que cerca de 300 unidades bacterianas se necesitan para suplir el carbono necesario en forma de dióxido de carbono (CO₂) por unidad algal, esta cifra hace referencia a condiciones ideales. Sin embargo, en condiciones prácticas, la relación alga/bacteria es de aproximadamente 1:250, y una fuente alternativa de CO₂ tiene que considerarse para mantener el sistema termodinámicamente en equilibrio.

No obstante, Oron *et al.*, s.f., reportaron que, para condiciones favorables de explotación de algas con alta productividad, la relación alga/bacteria puede estar en el orden de 1:100 o incluso superiores, y que esta relación puede ser un criterio de funcionamiento de la laguna, el cual puede ser utilizado como guía para generar cambios necesarios para aumentar el crecimiento de algas y mejorar la calidad del efluente o su productividad.

2.2.1.1. *SCCHAROMYCE CEREVISIAE*

La levadura *Saccharomyces cerevisiae* es un hongo ascomiceto que ha sido ampliamente estudiado dada su importancia en la industria panadera y vitivinícola, así como por su capacidad de producir etanol. Además de esto la levadura *Sccharomyce cerevisiae* ha sido ampliamente investigada en función de rentabilidad y aplicabilidad para la descontaminación de aguas residuales. Mostrando tres importantes ventajas: primero que las levaduras son fácilmente cultivadas a grandes escalas con alto rendimiento sin necesidad de equipos de fermentación sofisticados y sólo requieren medios de cultivo convencionales; segundo: *Sccharomyce cerevisiae* también puede ser obtenido de las industrias de alimentos y bebidas, obtenida como subproducto y finalmente, al igual que las algas, las levaduras son consideradas inocuas y fácilmente aceptadas por el público y entidades ambientales para su uso biotecnológico, ya que no crea subproductos tóxicos o de difícil eliminación como la precipitación o filtración (Cuizanoa *et al.*, 2007).

2.2.2. MICROALGAS

Bajo el término de microalga se incluyen aquellos microorganismos unicelulares capaces de llevar a cabo la fotosíntesis. En esta categoría quedan agrupadas tanto las cianobacterias (conocidas tradicionalmente como algas verdeazuladas) como las algas eucariotas (tradicionalmente algas verdes, rojas y doradas). Las microalgas son generalmente organismos fotoautótrofos, es decir, organismos que obtienen la energía proveniente del Sol y se desarrollan a partir de materia inorgánica. Sin embargo, algunas especies de microalgas son capaces de crecer empleando la materia orgánica como fuente de energía o de carbono (AST Ingeniería, 2013).

2.3. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

2.3.1. DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO₅)

También conocida como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) se define usualmente como la cantidad de oxígeno que requieren las bacterias durante la estabilización de la materia orgánica susceptible de descomposición, en condiciones aeróbicas. Al decir “susceptible de descomposición”, se hace referencia a que la materia orgánica puede servir de alimento a las bacterias y que su oxidación genera energía (Sawyer *et al.*, 2000).

Ofrece una medida de la fortaleza contaminante de los distintos residuales, en términos del oxígeno que ellos necesitarían si se descargan dentro del curso de aguas receptoras, en las cuales existen condiciones aerobias. Su determinación se realiza, normalmente, mediante la medición del Oxígeno Disuelto de una muestra antes y después de un periodo de incubación que generalmente es de cinco días, condiciones definidas para la oxidación biológica de las materias orgánicas (Mayari, R. *et al.*, 2005).

2.3.3. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

El pH es un término de uso general para expresar la magnitud de acidez o alcalinidad. Es una forma de expresar la concentración de los iones hidrógeno o, más exactamente, la actividad del ión hidrógeno. Es importante en casi todos los aspectos de la práctica de la ingeniería ambiental (Sawyer *et al.*, 2000).

2.3.4. OXÍGENO DISUELTO (OD)

Para Sawyer *et al.*, (2000) el oxígeno disuelto en el agua o en los desechos líquidos, es el factor que determina que los cambios biológicos sean producidos por organismos aeróbicos. Los cuales usan oxígeno libre para la oxidación de la materia orgánica e inorgánica y forman productos finales inocuos.

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El agua residual fue tomada de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la ESPAM MFL. La investigación, se la desarrolló en los laboratorios de Microbiología y de Química Ambiental, y sus alrededores, de las áreas Agropecuaria y Agroindustrial respectivamente, las mismas que se encuentran ubicadas en el Sitio El Limón en la Ciudad de Calceta, Manabí, Ecuador. Situada geográficamente entre las coordenadas 0°49' 27,9" latitud Sur; 80° 10' 47,2" longitud oeste y una altitud de 15,5 m.s.n.m. (Departamento de Meteorología de la Politécnica de Manabí, 2012).

3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO

La investigación tuvo una duración de nueve meses a partir de la aprobación del proyecto de tesis, la cual se obtuvo en agosto del 2015.

3.3. FACTORES EN ESTUDIO

Los factores que se manejaron para este estudio son:

- Factor A: Consorcio Bacteriano (*Sccharomyce Cerevisiae*, *Bacillus acidolácticos*, *Lactobacillus acidófilos*).
- Factor B: Consorcio Microalgal (*Chlorella*, *Desmodemus*).

3.3.1. NIVELES

Para el factor del Consorcio Bacteriano se utilizaron los siguientes niveles para 270 cm³ de muestra (Fajardo, 2015).

- $a_1 = 270 \mu\text{dm}^3$ de producto
- $a_2 = 410 \mu\text{dm}^3$ de producto

Fajardo, P. y Navarrete, J. 2015. Aplicación in vitro de Consorcios Microbianos y Microalgales (entrevista). Calceta-Manabí, EC. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

- $a_3 = 540 \mu\text{dm}^3$ de producto

Para el factor del Consorcio Microalgal se utilizaron los siguientes niveles para 270 cm^3 de muestra (Navarrete, 2015):

- $b_1 = 270 \mu\text{dm}^3$ de producto
- $b_2 = 410 \mu\text{dm}^3$ de producto

3.4. TRATAMIENTOS

De la combinación de los diferentes niveles de cada factor se obtuvo como resultado los siguientes tratamientos:

Cuadro 3.1. Detalle de los tratamientos

Tratamientos	Códigos	Descripción	
		Consorcio Bacteriano (μdm^3 de producto)	Consorcio Microalgal (μdm^3 de producto)
T ₁	a ₁ b ₁	270	270
T ₂	a ₁ b ₂	270	410
T ₃	a ₂ b ₁	410	270
T ₄	a ₂ b ₂	410	410
T ₅	a ₃ b ₁	540	270
T ₆	a ₃ b ₂	540	410

3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

En relación con el principio único o múltiple de los diseños, esta investigación fue de diseño experimental y estuvo sujeto a un Diseño Completamente al Azar (DCA) en arreglo Bifactorial y para cada tratamiento se realizaron tres réplicas.

3.6. UNIDAD EXPERIMENTAL

De acuerdo a las características de la unidad experimental, la muestra a estudiar fue el agua residual procedente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ESPAM MFL, considerando que se formaron 6 tratamientos

con 3 réplicas cada uno, obteniendo un total de 18 unidades experimentales. Se utilizaron 0,27 dm³ de muestra de agua residual y (270, 410, 540) µdm³ de los diferentes consorcios, dando un total de aproximadamente 0,27 dm³ por cada unidad experimental.

3.7. VARIABLES A MEDIR

3.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Consortios bacterianos – microalgales.

3.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅).

ESQUEMA DE ANOVA

El esquema de ANOVA Bifactorial (A*B) para los factores en estudio se detalla a continuación:

Cuadro 3.2. Esquema de ANOVA Bifactorial A*B

FUENTE DE VARIACIÓN	gL
Total	17
Factor_A	2
Factor_B	1
A *B	2
Error	12

En donde exista diferencia significativa entre los factores, se realizará un análisis de los tratamientos, el mismo que se detalla a continuación:

Cuadro 3. 3. Esquema de ANOVA para los tratamientos

FUENTE DE VARIACIÓN	gl
Total	17
Tratamientos	5
Error	12

3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico de las variables en estudio se realizaron las siguientes pruebas:

- a) A las variables en estudio se les efectuó el supuesto de normalidad (Shapiro-Wilk) aplicado solo para un número de muestras menores a 50, las variables que cumplieron este supuesto se les efectuó el de homogeneidad (Levene) y se procedió a realizar las pruebas que se indica en el literal b.
- b) Análisis de varianza (ANOVA): Se lo efectuó con el propósito de establecer la diferencia significativa estadística tanto para los factores (AxB) de las variables en estudios como para los tratamientos.
- c) T student: se la aplicó a la variable DBO_5 para comprobar la significancia del antes y después de esta variable.

TRATAMIENTOS DE DATOS

El análisis de los datos se los efectuó por medio del programa de Microsoft Office Excel 2010 y SPSS 21 Versión Libre.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. APLICACIÓN DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE CONSORCIOS BACTERIANO – MICROALGAL EN AGUAS RESIDUALES DE LA ESPAM MFL

Para la aplicación de los consorcios bacteriano – microalgal se basó en información bibliográfica de autores como Garza, *et al.*, 2010. Quienes concuerdan que las microalgas como *Chlorella* y *Desmodesmus* han sido aplicadas en tratamiento de aguas residuales. Por otro lado la levadura *Saccharomyces cerevisiae* ha sido ampliamente investigada en función de rentabilidad y aplicabilidad para la descontaminación de aguas residuales (Cuizanoa *et al.*, 2007). Mientras que en prácticas realizadas por parte del personal del laboratorio de microbiología (Fajardo y Navarrete, 2015) del área Agropecuaria, sugirieron utilizar ésta levadura junto a *Lactobacillus acidófilos* y *Bacillus acidolácticos*, ya que estas combinaciones las han utilizado en ensayos anteriores. En base a estas experiencias se realizó la aplicación de los consorcios.

Cuadro 4. 1. Consorcios utilizados en la investigación

CONFORMACIÓN DE CONSORCIO BACTERIANOS - MICROALGALES			
Microorganismos	Cantidades utilizadas	Microalgas	Cantidades utilizadas
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	270 μdm^3 ; 410 μdm^3 ; 540 μdm^3	<i>Chlorella</i>	270 μdm^3 ; 410 μdm^3
<i>Lactobacillus acidófilos</i>		<i>Desmodesmus</i>	
<i>Bacillus acidolácticos</i>			

4.2. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE DISMINUCIÓN DE LA DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO

4.2.1. DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL

Para la determinación de la eficiencia de disminución de la demanda biológica de oxígeno fue necesario un diagnóstico previo de la calidad del agua residual, donde los resultados se muestran a continuación:

Cuadro 4.2. Diagnóstico de la calidad del agua residual

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DEL DIAGNOSTICO DEL AGUA RESIDUAL		
PARÁMETROS	RESULTADOS	UNIDAD
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	900	mg/dm ³
Oxígeno Disuelto (OD)	1,1	mg/dm ³
Potencial de Hidrógeno (pH)	7,72	---

La normativa nacional ecuatoriana, resumida en el TULSMA (2013) establece varios criterios de permisibilidad respecto a los niveles de DBO₅ en aguas residuales, dependiendo del destino a la que está destinada el agua sus valores pueden oscilar entre 100 a 250 mg/ dm³; valores que se sitúan muy por debajo del obtenido en el efluente después del tratamiento en la PTAR que fue de 900 mg/ dm³, lo que da la señal de contaminación.

Cuadro 4. 3. %Saturación del OD del diagnóstico del agua residual

OD (mg/ dm ³)	Temp. °C	Factor conversión	%Saturación
1,10	30	7,67	8,44

Para determinar el grado de saturación del oxígeno disuelto del agua residual en el diagnóstico fue necesario establecer la relación entre su valor obtenido en los resultados y el factor de conversión propuesto en la tabla de Porcentaje de Capacidad de Oxígeno Disuelto (mg/dm³) en la que interviene la presión atmosférica y la temperatura. El análisis se realizó a una temperatura de 30°C y una atmósfera (760mm), lo que da el valor de 7,67. El producto obtenido del resultado del oxígeno disuelto y el factor de conversión de calculado de la tabla es lo que da el grado de saturación, que en este caso fue de 8,44%.

Cuadro 4. 4. % Saturación de oxígeno

Calidad	% Saturación de Oxígeno (a la temperatura y salinidad prevalecientes en el ambiente)
Buena	90
Regular	89 - 75
Dudosa	74 - 50
Contaminada	< 50

Lynch, *et al.*, (1979) citado por Fuentes y Massol-Deyá (2002)

De acuerdo a Lynch, *et al.*, (1979) citado por Fuentes y Massol-Deyá (2002), para que una agua tratada sea de buena calidad debe presentar un grado de saturación mayor a noventa por ciento. En el caso de los análisis cuyo valor de saturación es de 8,44%, y según el Cuadro 4.4 se evidencia que el efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ESPAM MFL se encuentra contaminada, debido a que su valor es inferior al 50% de saturación de oxígeno.

En el agua natural el pH oscila entre un rango de 5 a 9 según los criterios de permisibilidad de las tablas 8, 11 y 12 dispuestos en el libro VI, Anexo 1 del TULSMA (2013) y el valor de este parámetro en el análisis del efluente de la PTAR de la ESPAM MFL se encuentra en el rango establecido ya que el pH resultó en 7,72.

4.2.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

Con el propósito de comprobar la distribución normal de los datos se procedió a realizar los supuestos del ANOVA (Normalidad y homogeneidad). Las variables en estudio que cumplieron el supuesto de normalidad ($>0,05$) mediante la prueba de Shapiro Wilk (Cuadro 4.5.) fueron las de OD y pH a las cuales, se les efectuó el supuesto de homogeneidad por medio de la prueba de Levene ($>0,05$) (Cuadro 4.6. y 4.7.) para luego efectuar una prueba paramétrica (ANOVA); mientras que la que no cumplió dichos supuestos se les realizó la prueba T student, esto debido a que los datos después del tratamiento, en la variable DBO_5 se comportaron de una manera en la que el análisis estadístico de prueba no paramétrica (Kruskal Wallis) no mostraba pertinencia.

Cuadro 4.5. Supuestos de normalidad

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gL	Sig.
pH	,902	18	,062
OD	,939	18	,278

Fuente: Bermúdez, C. 2015.

Cuadro 4.6. Supuesto de Homogeneidad (Levene) para el indicador complementario OD.

F	gl1	gl2	Sig.
0,339	5	12	0,880

Fuente: Bermúdez, C. 2015.

Cuadro 4.7. Supuesto de homogeneidad (Levene) para el indicador complementario pH

F	gl1	gl2	Sig.
0,288	5	12	0,911

Fuente: Bermúdez, C. 2015.

4.2.2.1. Prueba paramétrica (ANOVA) para Oxígeno Disuelto.

Cuadro 4.8 ANOVA para los factores AxB del indicador complementario OD

Origen	gl	Suma de cuadrados tipo III	Media cuadrática	F	Sig.
Total corregida	17	185,050			
Factor_A	2	5,706	2,853	0,226	0,801 ^{NS}
Factor_B	1	1,296	1,296	0,103	0,754 ^{NS}
Factor_A * Factor_B	2	26,508	13,254	1,050	0,380 ^{NS}
Error	12	151,540	12,628		

NS: No significativo

* Significativo al 5%

** Altamente significativo al 1%

Fuente: Bermúdez, C. 2015.

El análisis de varianza para la variable OD (Cuadro 4.8) muestra que no existe diferencia estadística significativa ni para los factores en estudio ni para su interacción por lo cual, no es necesario efectuar un ANOVA para los tratamientos debido a que todos serán estadísticamente iguales.

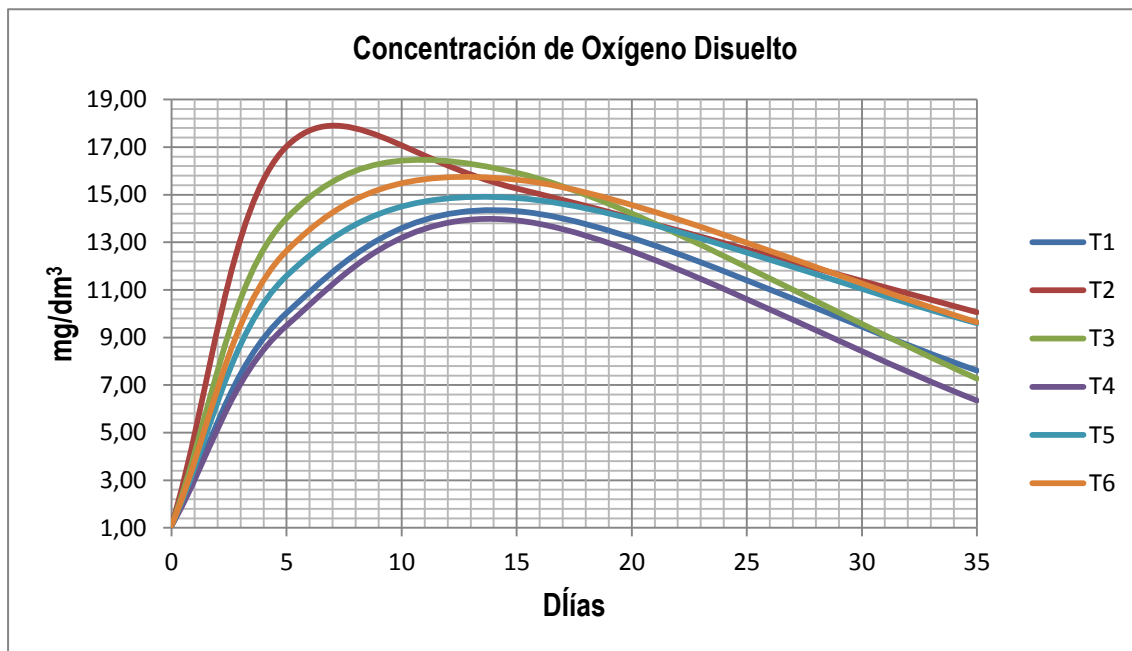


Gráfico 4.1. Concentración de Oxígeno Disuelto (Bermúdez, 2015).

Según Goyenola, G. (2007) el proceso de fotosíntesis es debido a la presencia de microalgas en los cuerpos naturales de agua. El oxígeno derivado del proceso de fotosíntesis se produce como resultado de la fotólisis del agua. Las diferencias en la concentración de oxígeno disuelto varían por la entrada de grandes cantidades de materia orgánica oxidable.

4.2.2.2. Prueba paramétrica (ANOVA) para el Potencial de Hidrógeno (pH).

Cuadro 4. 9 ANOVA para los factores AxB del indicador complementario pH

Origen	gl	Suma de cuadrados tipo III	Media cuadrática	F	Sig.
Total corregida	17	3,298			
Factor_A	2	0,058	0,029	0,112	0,895 ^{NS}
Factor_B	1	0,001	0,001	0,004	0,953 ^{NS}
Factor_A * Factor_B	2	0,108	0,054	0,207	0,816 ^{NS}
Error	12	3,130	0,261		

NS: No significativo

* Significativo al 5%

** Altamente significativo al 1%

Fuente: Bermúdez, C. 2015.

Como se aprecia en el cuadro 4.9 no existe diferencia estadística significativa ni para los factores en estudio en esta investigación ni para los tratamientos, lo anterior expresa que dichos factores no producen un efecto en el indicador complementario pH.

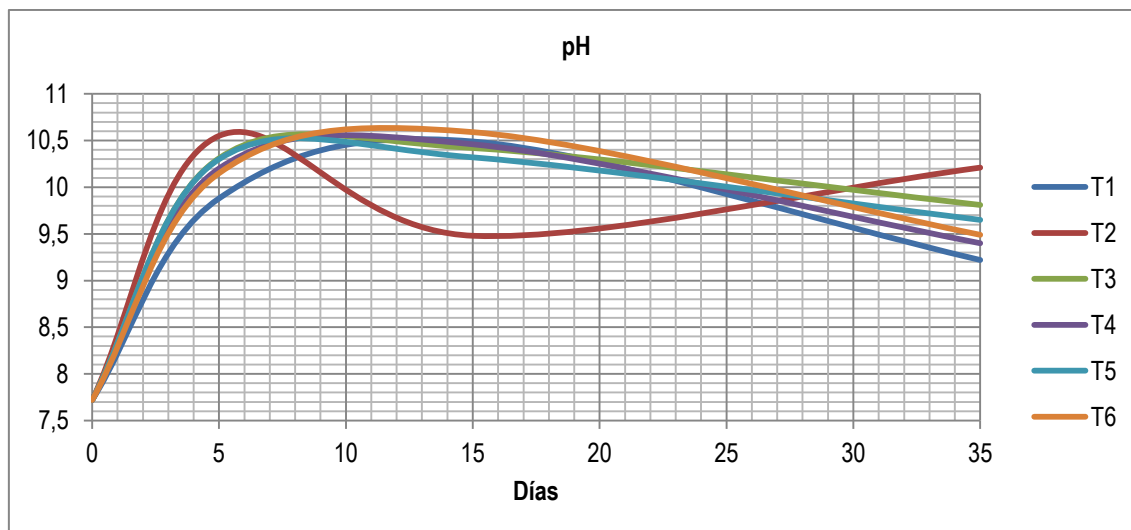


Gráfico 4.2. Variación del pH (Bermúdez. 2015).

García *et al.*, (2015) afirma que la actividad fotosintética de las microalgas en un medio de cultivo de aguas residuales conduce a un aumento gradual en el pH debido al efecto sobre el equilibrio de especies carbonatadas en el agua. El mismo autor expresa que el aumento de pH ocurre por dos motivos; por el

consumo de CO₂ por parte de las microalgas y debido a que los cultivos se encuentran en fase exponencial de crecimiento.

4.2.2.3 Análisis mediante la T student para el parámetro DBO₅

Cuadro 4.10. Prueba T student para la variable DBO₅

Prueba de muestras relacionadas									
Diferencias relacionadas									
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)	
				Inferior	Superior				
Par 1	DBO ₅ Antes – DBO ₅ Después	-880,00056	,00236	,00056	-880,00173	-879,99938	-1584001,000	17	,000

Fuente: Bermúdez, C. 2015.

Como se aprecia en el análisis estadístico, sí existe una diferencia estadística (<0,05) en la variable Demanda Biológica de Oxígeno en relación a los valores iniciales y a los valores después del tratamiento.

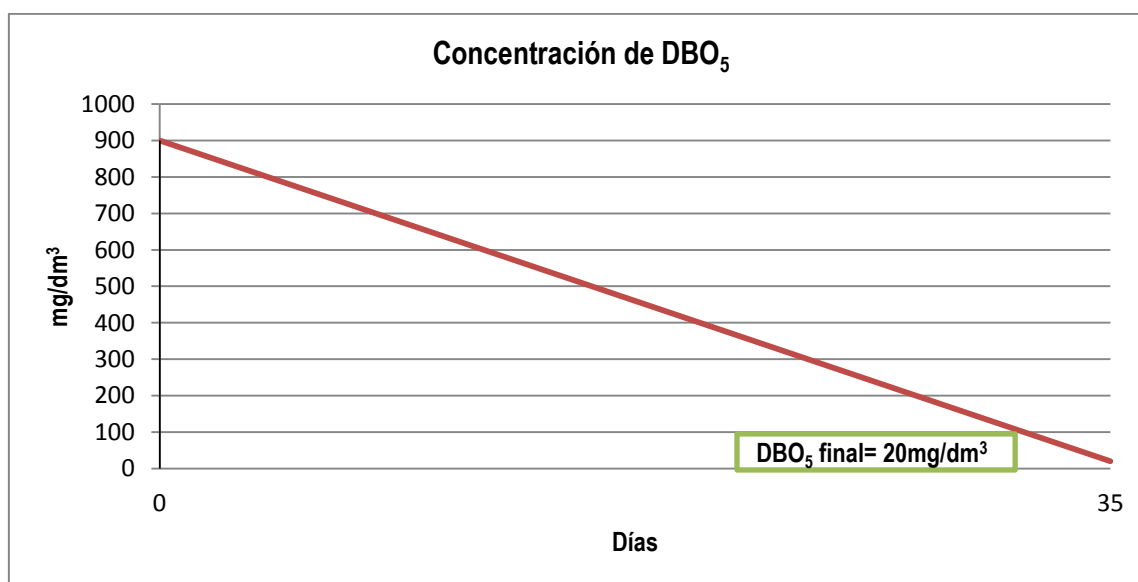


Gráfico. 4.3. Concentración de DBO₅

Como se aprecia en el gráfico 4.3., el valor de la DBO₅ disminuyó de 900 mg/dm³ al inicio del tratamiento con el consorcio bacteriano – microalgal a 20

mg/dm³ después de la aplicación del mismo, validándose así la remoción de la materia orgánica.

4.2.3. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS CONSORCIOS EN LA DISMINUCIÓN DE DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO

$$\% \text{eficiencia} = \frac{DBO5i - DBO5f}{DBO5i} \times 100$$

$$\% \text{eficiencia} = \frac{900 \text{mg/L} - 20 \text{mg/L}}{900 \text{mg/L}} \times 100$$

$$\% \text{eficiencia} = 97,77\%$$

Con este resultado se demuestra una alta eficiencia de los consorcios bacterianos – microalgales en la disminución de la demanda biológica de oxígeno en el agua residual de la ESPAM MFL., considerando las variaciones en los resultados de los parámetros analizados.

4.3. DISCUSIÓN

Los efluentes provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ESPAM MFL tienen como destino final ocasionalmente el ser destinadas para el riego de cultivos y para bebedero del ganado, situación que algunos casos acarrea un sinnúmero de problemas ambientales tal y como se reglamenta en el Libro VI, Anexo 1 del TULSMA (2013), en el que se prohíbe el uso de aguas servidas para riego y como se refleja en un informe de un Grupo de Científicos de la OMS (1989) en donde se menciona que la contaminación del agua subterránea es un problema ambiental que se podría derivar del uso de aguas residuales para riego. Para determinar entonces si un efluente cumple o no con características de calidad adecuadas, es necesario realizar

periódicamente un análisis físico – químico de las aguas; situación que se realizó en esta investigación, al estudiar tres parámetros tales como la demanda biológica de oxígeno, el oxígeno disuelto y el pH para la estabilización de la concentración de la materia orgánica, de ahí surge la necesidad de establecer consorcios o complejos mixtos para estabilizarla, partiendo biológicamente de la utilidad de ciertas bacterias y algas como la *Chlorella* en la remoción de metales pesados y materia orgánica como lo mencionan Infante, G. *et al.*, (2012) para quienes su capacidad de retener variados contaminantes ambientales presentes en cuerpos de agua en su pared celular contribuye enormemente en los procesos de biorremediación. Al tener entonces valores elevados del efluente de la PTAR de la ESPAM MFL, que demuestran contaminación según la normativa del TULSMA (2013) tabla 8 respecto al pH y el O.D.; tabla 11 y 12 en cuanto a DBO₅ y el pH, del libro VI, Anexo 1; al presentar una DBO₅ de 900 mg/dm³, y un porcentaje de saturación de oxígeno disuelto de 8,44% antes de la aplicación de los tratamientos propuestos en esta investigación, fue necesario recurrir a una estrategia de remoción biológica como lo establece Serrano, P. (2014) para reducir los niveles de materia orgánica aplicando los consorcios bacteriano – microalgal, el cual demostró una eficiencia del 97,77% al disminuir la DBO₅ de 900 mg/dm³ a 20 mg/ dm³, ajustándose así a lo expuesto en los diversos criterios y directrices nacionales e internacionales.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

La investigación permite concluir que:

- El uso de una mezcla de consorcios como el Bacteriano (*Sccharomyce Cerevisiae*, *Bacillus acidolácticos*, *Lactobacillus acidófilos*) y Microalgal (*Chlorella*, *Desmodemus*) favorece a la disminución de la concentración materia orgánica en aguas residuales, ayudando en los procesos de biorremediación.
- La calidad del efluente proveniente de la PTAR presentó criterios no admisibles con ciertas normativas ambientales citadas en este documento, situación que mejoró notablemente con la aplicación de los consorcios propuestos.
- La eficiencia de los consorcios bacteriano – microalgal fue del 97,77%, demostrando una reducción de la DBO_5 de 45 veces menos que su valor inicial.

5.2. RECOMENDACIONES

- Al momento de realizar los trabajos en el laboratorio, tomar todas las medidas de seguridad que sean necesarias, con el fin de obtener resultados altamente confiables en la aplicación de los tratamientos.
- Aplicar los consorcios utilizados en esta investigación, en un tratamiento terciario para las aguas residuales de la PTAR de la ESPAM MFL y realizar un monitoreo de los parámetros físico – químicos necesarios en las aguas residuales para asegurar la eficiencia de los consorcios con respecto a la disminución de la materia orgánica.
- Realizar un monitoreo de la proliferación de microorganismo patógenos como por ejemplo coliformes fecales en el efluente de la PTAR.

BIBLIOGRAFÍA

- Agudelo, R.; Betancur, J.; Jaramillo, C. (2010). Biotratamiento de residuos cianurados y su relación con la salud pública Revista Facultad Nacional de Salud Pública, vol. 28, núm. 1. pp. 7-20 Universidad de Antioquia.png, Colombia. Disponible en <http://www.redalyc.ec/>
- Acurio, S. y Arciniegas, K. 2015. Evaluación de la remoción de nitritos y nitratos en muestras de agua del río San Pedro Cantón Rumiñahui por microalgas clorofitas. Tesis. Ing. Biotecnología de los Recursos Naturales. UPS. Quito, EC. p 1.
- AST Ingeniería S.L. (Advanced Simulation Technologies). Aplicaciones de las microalgas: estado de la técnica. (En línea). Asturias, ES. Consultado, 25 de jul. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://www.ast-ingenieria.com>
- Calles, J. 2012. El agua en el Ecuador. (En línea). EC. Consultado 21 de jul. 2015. Disponible en <http://www.agua-ecuador.blogspot.com/2012/04/la-contaminacion-del-agua-en-ecuador.html>
- Castillo-Borges, E.; Bolio, A.; Méndez, R.; Osorio, J.; Pat, C. (2012). Remoción de materia orgánica en aguas residuales de rastro por el proceso de Contactor Biológico Rotacional. Revista Ingeniería, vol. 16, núm. 2. pp. 83-91. Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, México. Formato PDF. Disponible en <http://www.redalyc.com/>
- Cerón, V.; Madera, C.; Peña M. 2015. Uso de lagunas algales de alta tasa para tratamiento de aguas residuales Ingeniería y Desarrollo, vol. 33, núm. 1. pp. 98-125. Universidad del Norte Barranquilla, Colombia. Formato PDF. Disponible en <http://www.redalyc.com/>
- Córdoba, M; Del Coco, V; Basualdo, J. 2010. Agua y salud humana. Buenos Aires, AR. Química Viva. Vol. 9. No. 3. p 3.
- Cortón, E. y Viale, A. 2006. Solucionando grandes problemas ambientales con la ayuda de pequeños amigos: las técnicas de biorremediación. Buenos Aires, AR. Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente. Vol. 15. No. 3. p 148.
- Crites, R. y Tchobanoglous, G. 2000. Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Tomo 1. Santafé de Bogotá, CO. McGraw-Hill. p 21, 57, 74.
- Cuizanoa, N. y Navarro, A. 2007. Biosorción de metales pesados por algas marinas: posible solución a la contaminación a bajas concentraciones. Madrid, ES. Anales de Química. Vol. 104. No. 2. p 123.

- Fuentes, F. y Massol-Deyá, A. 2002. Manual de Laboratorios Ecología de Microorganismos. (En línea). Puerto Rico. Consultado, 07 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en <http://www.uprm.edu>
- García, C; Arbib, Z, Perales, J. 2015. Cinéticas de crecimiento y consumo de nutrientes de microalgas en aguas residuales urbanas con diferentes niveles de tratamiento. Morelos, ME. Tecnología y Ciencias del Agua, Vol. 5. No. 1. p 49-68
- Garza, M; Almaguer, V; Rivera, J; Loredo, J. 2010. Bioingeniería ambiental aplicada a una columna empacada con *Chlorella sp* inmovilizada para la remoción de metales pesados. México. Ciencia UANL. Vol. 8. No. 2. P 174.
- González, M. y Chiroles, S. 2011. Uso seguro y riesgos microbiológicos del agua residual para la agricultura. Revista Cubana de Salud Pública, vol. 37, núm. 1. pp. 61-73. Sociedad Cubana de Administración de Salud. La Habana, Cuba. Disponible en <http://www.redalyc.com>
- Goyenola, G. 2007. Guía para la utilización de las Valijas Viajeras. Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos. RED MAPSA. Formato PDF. (En línea).
- Infante, C. Angulo, E.; Zárate, A.; Florez, J.Z.; Barrios, F.; Zapata, C. 2012. Propagación de la microalga *Chlorella sp.* en cultivo por lote: cinética del crecimiento celular. Colombia. Avances en Ciencias e Ingeniería. Vol. 5 No. 3. p. 159-164.
- Jiménez-Montealegre, R.; Zamora-Castro, J.; Zúñiga-Calero. G. 2015. Determinación del flujo de agua para la biorremediación en sistemas recirculados acuaculturales utilizando tapetes microbianos construidos Latin American Journal of Aquatic Research, vol. 43, núm. 1, pp. 234-247. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso Valparaíso, Chile.
- Laboratorio de Química Ambiental. 2011. Determinación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales <ESPAM MFL>. Calceta-Manabí, EC.
- Lugardo, C. 2013. Caracterización fisicoquímica de lactosuero en municipios de la región central del Estado de Veracruz. (En línea). Xalapa-Veracruz, MÉ. Consultado, 16 de ago. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://148.226.12.104/bitstream/123456789/35129/1/lugardogonzalezdaniel.pdf>
- Mayari, R.; Espinosa, Ma. C.; Gutiérrez, J. 2005. Validación de La Determinación de Oxígeno Disuelto y Demanda Bioquímica de Oxígeno en Aguas y Aguas Residuales. Revista CENIC. Ciencias Químicas, vol. 36. Centro Nacional de Investigaciones Científicas La Habana, Cuba. Disponible en <http://www.redalyc.com>

- Ochoa, D. y Montoya, A. 2010. Consorcios microbianos: una metáfora biológica aplicada a la asociatividad Empresarial en cadenas productivas agropecuarias. Bogotá, CO. Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión. Vol. 18. No. 2. p 60.
- Olgúin, E; Hernández, M. y Galván, G. 2007. Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. MÉ. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Vol. 23. No 3. p 144.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 1989. Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura: informe de un Grupo de Científicos de la OMS. Ginebra, Sui. p 19.
- Palma, N. 2014. Por contaminación en río que da agua al 70% de Manabí, se pide emergencia. El Universo. Portoviejo, EC. abr, 10.
- Robles, J. 2013. Desarrollo de nuevos modelos de gestión en Empresas de agua potable y alcantarillado. Tesis. Mg. Sc. en Gerencia de Empresas De servicios públicos domiciliarios. UCE. Quito, EC. p 31.
- Sánchez, I.; Revelo, D.; Burbano, A.; García, R.; Guerrero, C. 2013. Eficiencia de consorcios microbianos para tratamiento de aguas residuales en un sistema de recirculación acuícola. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Vol 11 No. 1 p 245 – 254.
- Sawyer, C; McCarty, P. y Parkin, G. 2000. Química para ingeniería ambiental. 4 ed. Bogotá, CO. McGraw-Hill. p 494, 558, 569.
- Serrano, P. 2014. Obtención del consorcio bacteriano nativo del sedimento de La laguna de Colta del cantón Colta. Tesis. Ing. Biotecnología Ambiental. ESPOCH. Riobamba-EC. p 1-115.
- Sorrequieta, A. 2004. Aguas Residuales: Reuso y Tratamiento. Lagunas de estabilización: una opción para Latinoamérica. CO. Consultado, 12 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en <http://www.redalyc.com/>
- Toscano, J. 2014. Diseño de lagunas de oxidación para tratamiento de aguas Residuales generadas en el campamento El Coca de la empresa Triboilgas. Tesis. Ing. Ambiental. UCE. Quito, EC. p 4, 14.
- TULSMA (Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria). 2013. Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Quito, EC.

ANEXOS

Anexo 1. Preparación del material a utilizar en la aplicación de los consorcios.



Anexo 2. Toma de muestra para el diagnóstico del agua residual de la PTAR, y aplicación de los consorcios,



Anexo 3 Determinación de la eficiencia de los consorcios en la disminución de materia orgánica y monitoreo de parámetros a medir

