UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS MICROORGANISMOS EFICACES (EM™) SOBRE LA CALIDAD DE AGUAS MIELES DEL BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ (*Coffea arábiga* L.)

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por:

JUNIORS JAVIER ANGULO GAMERO

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 26 de Abril de 2018, a horas 7:00 p.m. en la Sala de Sesiones del Departamento Académico de Ciencias en Conservación de Suelos y Agua, para calificar la Tesis titulada:

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS MICROORGANISMOS EFICACES (EM™) SOBRE LA CALIDAD DE AGUAS MIELES DEL BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ *(Coffea arábica L.)*

Presentado por el Bachiller, **ANGULO GAMERO, Juniors Javier**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara APROBADA con el calificativo de **"MUY BUENO"**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO AMBIENTAL**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del Título correspondiente.

Tingo María, 23 de Abril de 2019

Ing. MSc. JOSÉ LEVANO CRISOSTOMO
PRESIDENTE

Ing. MSc. CASIANO AGUIRRE ESCALANTE
MIEMBRO

Ing. ERLE OTTO BUSTAMANTE SCAGLIONI
MIEMBRO

Ing. MSc. JOSÉ LUIS PAREDES SALAZAR
ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS MICROORGANISMOS EFICACES (EM™) SOBRE LA CALIDAD DE AGUAS MIELES DEL BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ (*Coffea arábiga* L.)

Autor	: ANGULO GAMERO, Juniors Javier
Asesor de tesis	: Ing. MSc. José Luis Paredes Salazar

Programa de Investigación	:Tratamiento de Aguas
Línea (s) de investigación	: Ciencia y Tecnologías Ambientales
Eje Temático de Investigación	: Tratamientos secundarios
Lugar de Ejecución	: Cooperativa Agraria de Frutos Ecológicos (C.A.F.E.) Sanchirio Palomar – San Luis de Shuaro – Chanchamayo
Duración	: Fecha de inicio : 18 – 11 - 2016 Fecha de término:18 – 04 - 2017
Financiamiento	: Monto s/. 2,332.00
Propio	: Si

2018

DEDICATORIA

A Dios porque ha estado conmigo a
cada paso que doy segundo a
segundo; cuidándome y guiándome y
brindándome la fortaleza para
continuar siempre adelante en
armonía e integridad familiar.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables que contribuyó en mi formación profesional.

A los miembros integrantes del jurado de tesis: Ing. M.Sc. José Lévano Crisóstomo; Ing. MSc. Nelino Florida Rofner; Ing. M.Sc. Casiano Aguirre Escalante; Ing. Erle Bustamante Scaglioni.

Al Ing. MSc. José Luis Paredes Salazar, docente de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, asesor del presente trabajo, por su labor como formador, su amistad, su apoyo desinteresado y supervisión de la presente tesis.

A todas aquellas personas que en forma directa o indirecta colaboraron en la realización del presente trabajo.

ÍNDICE

Página

I. INTRODUCCIÓN 1

II. REVISIÓN DE LITERATURA 4

2.1. Microorganismos del EM 4

2.1.1. Bacterias fotosintéticas (*Rhodopseudomonas palustris*) 4

2.1.2. Bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus spp*.) 6

2.1.3. Levaduras (*Saccharomyces sp.*) 7

2.2. Cultivo de café (*Coffea arábica*) 9

2.2.1. Fisiología de la producción de café 10

2.2.2. Beneficios 11

2.3. Caracterización de aguas mieles (Beneficio húmedo de café) 12

2.3.1. Tratamiento físico – químico de las aguas mieles 14

2.3.2. Lagunas de oxidación 15

2.3.3. Parámetros fisicoquímicos de los residuos líquidos (aguas mieles) del beneficio húmedo de café 19

2.4. Reglamento Legal 22

2.4.1. Reglamento del vertimiento de agua residual 22

2.5. Estudios realizados 24

III. MATERIALES Y MÉTODOS 27

3.1. Lugar de ejecución 27

3.1.1. Antecedentes de la cooperativa 27

3.2. Materiales y equipos 29

3.2.1. Material y equipo de campo 29

3.2.2. Hardware y software 29

3.3. Metodología 29

3.3.1. Origen de las muestras de aguas mieles 29

3.3.2. Caracterización inicial de las muestras de aguas mieles 29

3.3.3. Montaje de las unidades experimentales (UEs) 30

3.3.4. Evaluación de la dosis de microorganismos eficaces (EM) . 31

3.3.5. Evaluación del efecto de la profundidad 31

3.3.6. Muestreos 32

3.4. Tipo de investigación 32

3.4.1. Variables independientes 32

3.4.2. Variables dependientes 32

3.5. Análisis estadístico 33

IV. RESULTADOS 35

4.1. Evaluación del efecto de la profundidad sobre los parámetros fisicoquímicos en el tratamiento de aguas mieles 35

4.2. Caracterización de parámetros fisicoquímicos al aplicar diferentes dosis de microorganismos eficaces en el tratamiento de aguas mieles 35

4.2.1. pH 35

4.2.2. Demanda bioquímica de oxígeno 37

4.2.3. Demanda química de oxígeno 39

4.2.4. Solidos totales 41

V. DISCUSIÓN 43

VI. CONCLUSIONES 45

VII. RECOMENDACIONES 46

VIII. ABSTRACT 47

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....48

ANEXO 53

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro Página

1. Caracterización de agua miel.....13

2. Límite Máximo Permisibles para los efluentes de PTAR. 23

3. Parámetros fisicoquímicos monitoreados durante el estudio.....30

4. Comparación de los valores medios obtenidos para pH, teniendo en cuenta los tratamientos aplicados.....36

5. Valores medios obtenidos para demanda bioquímica de oxígeno, teniendo en cuenta los días de análisis y tratamientos aplicados 38

6. Comparación de los valores medios obtenidos para demanda química de oxígeno, teniendo en cuenta los días de análisis y tratamientos aplicados 40

7. Comparación de los valores medios obtenidos para solidos totales, teniendo en cuenta los días de análisis y tratamientos aplicados 41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Página

1. Mapa de ubicación del distrito San Luis de Shuaro 28

2. Comparación de los valores medios obtenidos para pH, teniendo en cuenta los días de análisis y tratamientos aplicados 37

3. Valores medios obtenidos para demanda bioquímica de oxígeno, teniendo en cuenta los días de análisis y tratamientos aplicados 39

4. Comparación de los valores medios obtenidos para demanda química de oxígeno, teniendo en cuenta los días de análisis y tratamientos 40

5. Valores medios obtenidos para demanda química de oxígeno, teniendo en cuenta los días de análisis y tratamientos aplicados 42

6. Agregando agua al cilindro de plástico.....54

7. Producto EM Agua (Microorganismos Eficaces) 54

8. Agregando EM Agua en el cilindro de plastico 55

9. Producto Melaza para la activación de microorganismos.....55

10. Agregando melaza en el cilindro de plástico 56

11. Vertiendo los productos para su homogenización. 56

12. Formación de espumas por la mezcla de productos 57

13. Mezcla homogénea para la activación de los microorganismos 57

14. Rotulado del Cilindro de plástico 58

15. Infraestructura de la Planta de Beneficio Húmedo de Café de la Cooperativa 58

RESUMEN

La investigación se realizó en los ambientes de la Cooperativa Agraria de Frutos Ecológicos (C.A.F.E.); situada en el sector Sanchirio Palomar, distrito de San Luis de Shuaro, provincia Chanchamayo - Junín. Con la finalidad de evaluar el efecto de diferentes dosis de microorganismos eficaces en el tratamiento de aguas mieles. La metodología empleada consistió en la aplicación de tres dosis: 1/3000, 1/5000 y 1/10000 (volumen de EM / volumen de aguas mieles). Tanto las dosis a evaluar, como el control (sin adición de EM) contaron con tres UEs. Se tomaron muestras a los 20 cm de la base de cada UE, con el fin de determinar si existen diferencias significativas en cuanto a los parámetros analizados. Los muestreos se efectuaron a los 0, 10, 30 y 45 d. Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos en estudio, estos se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF), de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

De los resultados no se observaron diferencias significativas entre las profundidades evaluadas (0 – 20 cm; 20 – 40 cm) para ninguno de los parámetros (pH, OD, demanda bioquímica de oxigeno – DBO5, demanda química de oxígeno - DQO, solidos totales - ST), y tiempos de muestreo en los diferentes tratamientos de control. Se concluye que a mayor dosis de EM, el pH tiende a acercarse a la neutralidad. Asimismo, para los valores de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxigeno existe un efecto de la aplicación de microorganismos eficaces (EM) sobre estos parámetros.

I. INTRODUCCIÓN

El café es el principal producto agrícola de exportación en el país, en el año 2011 el Perú exportó 5´600,000 qq; producto que se distingue de los demás cafés por tener mejores cualidades físicas y organolépticas), con una creciente demanda del mercado internacional. Sin embargo, los desechos de los procesos agroindustriales constituyen un elemento importante que puede alterar el equilibrio ambiental y poner en peligro la calidad de vida del ser humano, generando problemas de contaminación de agua, aire y suelo.

La industria cafetalera está considerada como una de las más sucias con alteraciones ambientales negativas. En el Perù esta problemática es similar a otros países productores de café donde se utiliza como proceso de beneficio la vía húmeda, y no se cuenta con un sistema de tratamiento eficiente en todos los casos. Esta situación se agrava si tenemos en cuenta que los centros de despulpe de café se encuentran ubicados en zonas de montañas donde están los ecosistemas más frágiles, y que el proceso de beneficio se realiza en los meses de sequía, durante los cuales los ríos disminuyen el caudal aumentando la concentración de las sustancias contaminantes.

El café maduro presenta una composición en la cual el grano, que es la parte aprovechable para el proceso, representa el 20% del volumen total

de la fruta, de manera tal que, el procesamiento de extracción del fruto (beneficiado) genera un 80% del volumen procesado en calidad de desechos, cada uno en un grado diferente constituyendo un riesgo para el medio ambiente si no se reutiliza de una manera inteligente para otros propósitos utilizando los principios de producción más limpia.

En la selva alta del Perú, y en particular la selva central este cultivo es la principal fuente de empleo, sin embargo en los ultimos años, este cultivo ha experimentado significativos cambios debido a la implementación de nuevas tecnologías, generando numerosas experiencias exitosas y en algunos otros casos, resultados poco eficaces como consecuencia de la aplicación de malas prácticas en su manejo agronómico, causando efectos negativos respecto a la crecimiento y rendimiento del cultivo. Asi mismo, para la mayoria de los agricultores , el beneficiado húmedo contribuyó a mejorar la calidad del producto, tanto en la apariencia del grano como en las características organolépticas, lo que condujo a buenas cotizaciones en los mercados. Sin embargo, la producción de un buen café tiene su costo social y ambiental.

Para ello se tuvo como problema de investigación ¿El tratamiento de aguas mieles (beneficiado húmedo del café) con microorganismos eficaces ejerce un efecto significativo en la calidad del agua?; a la vez planteándose la siguiente hipótesis: La aplicación de microorganismos eficaces reduce significativamente la concentración de materias contaminantes de las aguas mieles provenientes del beneficio húmedo del café.

La presente investigación contribuyó con la generación de datos y análisis específicos sobre el índice de la calidad de aguas mieles. Concluyendose que existe un efecto positivo del tratamiento de aguas mieles (beneficiado húmedo del café) con microorganismos eficaces sobre la calidad del agua.

Respecto a este contexto se trabajó en base a los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar el efecto de diferentes dosis de microorganismos eficaces en el tratamiento de aguas mieles (beneficiado húmedo del café) en la Cooperativa Agraria de Frutos Ecológicos (C.A.F.E.), sector Sanchirio Palomar, distrito de San Luis de Shuaro, provincia Chanchamayo, región Junín

Objetivos específicos

- Evaluar el comportamiento de parámetros fisicoquímicos por profundidades de 0 – 20 cm; 20 – 40 cm., en el tratamiento de aguas mieles (beneficiado húmedo del café) con diferentes dosis de microorganismos eficaces.

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos al aplicar diferentes dosis de microorganismos eficaces en el tratamiento de aguas mieles.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Microorganismos del EM

2.1.1. Bacterias fotosintéticas (*Rhodopseudomonas palustris*)

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). Son microorganismos capaces de producir aminoácidos, ácidos orgánicos y sustancias bioactivas como hormonas, vitaminas y azúcares empleados por otros microorganismos, heterótrofos en general, como sustratos para incrementar sus poblaciones (VIVANCO, 2003).

R. palustris es encontrada comúnmente en suelo y aguas y posee un metabolismo muy versátil al degradar y reciclar gran variedad de compuestos aromáticos, como bencénicos de varios tipos encontrados en el petróleo, lignina y sus compuestos constituyentes y por lo tanto está implicado en el manejo y reciclaje de compuestos carbonados. No sólo puede convertir CO_2 en material celular, sino también N_2 en amonio y producir H_2 gaseoso. Crece tanto en ausencia como en presencia de oxígeno (JGI, 2005).

En ausencia de oxígeno, prefiere obtener toda su energía de la luz por medio de la fotosíntesis, crece y aumenta su biomasa absorbiendo CO_2, pero también puede crecer degradando compuestos carbonados tóxicos y no tóxicos cuyo el oxígeno está presente llevando a cabo respiración (JGI, 2005).

Este microorganismo presenta un crecimiento fototautotrófico con H_2, sulfuro y tiosulfato como donadores de electrones en presencia de pequeñas cantidades de extracto de levadura. Su crecimiento fotoheterótrofico es posible con varios sustratos orgánicos como azúcares simples y complejos. El sulfato puede ser usado como la única fuente de azufre, mientras que el amonio, dinitrogeno, algunos aminoácidos, y en algunas cepas el nitrato, pueden ser usados como fuente de nitrógeno. Como factores de crecimiento requiere de p-aminobenzoato y, algunas cepas biotina. Su crecimiento óptimo ocurre a una temperatura de 30 - 37°C y pH 6.9 (rango 5.5 - 8.5) (HOLT, 2000).

En ocasiones no se hace uso de *Rhodopseudomonas* porque no se conoce detalladamente su metabolismo. Sin embargo, estas bacterias se han utilizado tanto en cultivos puros como mixtos para evaluar su actividad metabólica. Debido a la gran variedad de rutas metabólicas que puede llegar a tomar este microorganismo según sus necesidades y condiciones ambientales, como parte del mismo produce una serie de enzimas y coenzimas según sea el caso, dentro de las que se encuentran amilasas, hidrolasas y proteasas, así como ubiquinonas y la coenzima Q10, las cuales participan directamente en los procesos de remoción de sulfuro de hidrógeno, nitratos, sulfatos, sulfitos, hidrocarburos, halógenos y nitratos reduciendo de esta forma la demanda

biológica de oxígeno (CETINKAYA Y OSTÜRK, 1999) Teniendo en cuenta las condiciones de crecimiento para la bacteria fototrófica R. palustris, así como los estudios reportados por HONDA *et al*., (2006), en donde se optimiza el crecimiento de estos microorganismos bajo condiciones de anaerobiosis para el tratamiento de AR, se considera que las poblaciones de estos microorganismos pueden llegar a adaptarse de forma exitosa a las condiciones que presentan las ARD.

2.1.2. Bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus spp*.)

Dentro de los microorganismos que conforman el multicultivo EM los más abundantes son las bacterias ácido lácticas. Estos producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos generados por bacterias fotosintéticas y levaduras, como parte de su metabolismo. El ácido láctico es un componente con propiedades bactericidas que puede suprimir a los microorganismos patógenos, mientras ayuda a la descomposición de la materia orgánica, incluso en el caso de compuestos recalcitrantes como la lignina o la celulosa, ayudando a evitar los efectos negativos de la materia orgánica que no puede ser descompuesta (SUSTAINABLE COMMUNITY DEVELOPMENT, 2001).

No se tiene gran información precisa acerca de la forma en la cual actúan las bacterias acido 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 (EARLY, 1998). Sin embargo, no sólo el ácido láctico es responsable de los efectos antimicrobianos generados por los lactobacilos.

KELLY *et al*. (1998) determinó que parte del comportamiento antagónico frente a 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.

2.1.3. Levaduras (*Saccharomyces sp.*)

El tercer grupo dentro de los gremios de microorganismos presentes en EM® son las levaduras. Todos los miembros de Saccharomyces emplean diversas fuentes de carbono y energía. En primer lugar se encuentran la glucosa y la sacarosa, aunque también pueden emplearse fructuosa, galactosa, maltosa y suero hidrolizado, ya que Saccharomyces no puede asimilar lactosa. También puede utilizarse etanol como fuente de carbono. El nitrógeno asimilable debe administrarse en forma de amoníaco, urea o sales de amonio, aunque también se pueden emplear mezclas de aminoácidos. Ni el nitrato ni el nitrito pueden ser asimilados (HARVEY *et al*., 1985).

Aparte de carbono y el nitrógeno los macroelementos indispensables son el fósforo que se emplea comúnmente en forma de ácido fosfórico y el Mg^{+2} como sulfato de magnesio, que también provee azufre. Finalmente son también necesarios el Ca^{+2}, Fe^{+2}, Cu^{+2} y Zn^{+2} como elementos menores. Un requerimiento esencial está constituido por las vitaminas del grupo B como biotina, ácido pantoténico, inositol, tiamina, piridoxina y niacina (HARVEY *et al*., 1985). Estos microorganismos sintetizan sustancias antimicrobianas a partir 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 presentes en el EM (ACARA, 2006).

Como parte de su metabolismo fermentativo, las levaduras producen etanol en relativamente altas concentraciones, que es también reconocida como sustancia antimicrobiana (MLIKOTA *et al*., 2004). Se asume por lo tanto que al degradar los carbohidratos presentes en AR, se producirá etanol, el cual puede funcionar como sustancia antagónica frente a microorganismos patógenos (SUSTAINABLE COMMUNITY DEVELOPMENT, 2001).

Los requerimientos anteriormente mencionados cambian según las condiciones de cultivo, ya que el aumento de la aerobiosis disminuye los requerimientos de esa vitamina y el uso de urea como fuente de nitrógeno los aumenta por la necesidad de biosíntesis de 3 sistemas enzimáticos que contienen biotina. En el caso de la tiamina, se ha demostrado que aumenta la actividad fermentativa de la levadura (HARVEY *et al*., 1985).Teniendo en cuenta que durante el presente estudio, las condiciones fueron anaeróbicas, los requerimientos de estas vitaminas y sus efectos sobre las poblaciones pudieron variar, a pesar de que las ARD, se caracterizan por ser una muy buen fuente de compuestos vitamínicos.

Finalmente debe mencionarse al O_2 como otro requerimiento para la producción de levadura, puesto que se necesita 1 g de O_2 para la producción de 1 g de levadura seca en el caso de crecimiento en condiciones óptimas. Si existe limitación de O_2 no se puede alcanzar los rendimientos óptimos, lo cual genera que los valores normales de la velocidad específica de crecimiento para

levaduras, que se encuentran en el orden de 0.45 a 0.6 h como máximo, sean mucho menores (ADAMS, 1986).

Es así como *S. cereviceae*, puede encontrar condiciones óptimas en un rango relativamente amplio de condiciones de oxígeno, puesto que a pesar de requerir este factor para su crecimiento, sus exigencias no son altas y con bajas concentraciones, puede realizar normalmente su metabolismo fermentativo, aunque es probable que lo haga en una forma un poco menos eficiente (ADAMS, 1986).

Para las poblaciones de levaduras, la temperatura óptima se ha establecido en 28.5 °C, dado que a mayores temperaturas disminuye el rendimiento, probablemente debido al aumento de energía de mantenimiento (ADAMS, 1986). El rendimiento celular puede también afectarse por la presencia de inhibidores como SO_2, ácido aconítico y metales pesados o restos de herbicidas o bactericidas que pueden estar presentes en las melazas (SUSTAINABLE COMMUNITY DEVELOPMENT, 2001).

2.2. Cultivo de café (*Coffea arábica*)

El cultivo de café es un sistema productivo que ha sido objeto de muchas investigaciones, y esta tendencia continúa en la búsqueda de mejores alternativas para una producción sostenible a largo plazo. El café bajo sombra es una práctica común principalmente en Centro América, Colombia y México (CARVAJAL, 1985). Estos agroecosistemas, en las últimas décadas, han perdido mucha de su diversidad biológica, como resultado de la implementación

del uso de fertilizantes, control intensivo de malezas con herbicidas y eliminación de los árboles de sombra para elevar la productividad. No obstante, en los últimos años, los bajos precios del café, junto con los altos costos de producción del modelo y la demanda cada vez mayor de café orgánico, están revirtiendo esta situación (MUSCHLER Y BONNEMANN, 1997).

El ICAFE (1998) considera como condiciones climáticas ideales para este cultivo, zonas con temperaturas medias anuales entre 17 ºC y 23 ºC precipitaciones medias anuales entre 1600 y 2800 mm año-1, con una distribución anual mínima entre 145 y 245 días; aunque dichas condiciones, parecen no ser limitantes para la producción en zonas como Turrialba, donde se localizan plantaciones de café bajo condiciones más cálidas y con mayor precipitación, con resultados favorables.

2.2.1. Fisiología de la producción de café

CANNELL (1976) indica que las plantas de café convierten el CO_2 y la energía solar en carbohidratos, los cuales son utilizados para la producción de frutos; es por tanto, que los factores que determinan la producción de café, son los que afectan el área foliar disponible para la absorción del CO_2 y la luz por unidad de área y la distribución de la materia seca en los frutos y otras partes de la planta. Además, considera que una manera de aumentar la productividad del cafeto, es incrementando el área de follaje iluminada adecuadamente por unidad de área cultivada; esto aumentaría el número de nudos y por tanto, el número de unidades florales. De igual manera, indica que las plantas de café tienen el potencial para producir un dosel grande y bien estructurado y que las plantas

jóvenes invierten del 40 al 45% de su materia seca por año en la producción de nuevas hojas.

La productividad depende fundamentalmente de la fotosíntesis y por ende, requiere un suministro óptimo de agua, luz, temperatura y sales minerales, además de un adecuado funcionamiento del resto de los procesos fisiológicos de la planta, tales como: respiración, transpiración, síntesis de proteínas, absorción y traslado de agua, sales minerales y sustancias metabólicas, crecimiento y diferenciación, entre otros (FOURNIER, 1988).

2.2.2. Beneficios

La época de la cosecha dura aproximadamente 90 días. Durante este tiempo, los trabajadores

- **Beneficio seco**

En el procesado con el método seco, se deja que los granos se sequen al sol y luego se muelen para eliminar el mucilago ya deshidratado, la capa exterior y el pergamino.

- **Beneficio húmedo**

El proceso se da por terminado cuando se comienza a lavar los granos para quitarle los últimos remanentes de mucilago descompuesto. Luego los granos son guardados en sacos para ser llevados al beneficio seco. El café en pergamino es llevado a este beneficio para ser secado al sol. Este proceso

puede tomar de 8 a 10 días dependiendo del clima de la región. Luego el pergamino es quitado manualmente o mecánicamente. Después el café oro (café verde) es guardado en silos y está listo para la exportación.

El primer lugar donde se usa agua es en el tanque de recolección, que, de acuerdo a su diseño, usa mucha agua o poca agua. El agua que se utiliza aquí conduce a las cerezas a los despulpadores y luego tras quitarle la pulpa a la cereza se combina con parte del mucilago y la pulpa de la cereza por lo que se genera el primer flujo de aguas residuales: el agua del despulpado. Anteriormente este flujo de agua se iba directamente a las fuentes de agua superficiales sin ningún tratamiento afectando de esta manera enormemente a las fincas y pueblos aguas abajo.

2.3. Caracterización de aguas mieles (Beneficio húmedo de café)

Las aguas mieles del café contienen altas concentraciones de azucares, celulosa, cafeínas y sustancias péptidas. Estas sustancias introducen características en las aguas mieles que son perjudiciales para aguas receptoras. Algunas de estas características, como se puede medir en la demanda biológica de oxigeno (DBO_5) y la demanda química de oxigeno (DQO).

Cuadro 1. Caracterización de agua miel

Parámetro	Promedio total (mg/L)	Agua de despulpado (mg/L)	Agua de lavado (mg/L)
Sólidos suspendidos totales	7 000 – 10 900[a]	13 200[b] 6 200 – 11 000 [c1] 3 600 – 5 000 [c2]	2 900[b] 1 950 – 4 800[c1] 2 200 – 4 600 [c2]
pH		4[d,e]	4[d,e]
Conductividad	771[d1] (µS/cm)	728[d1] (µS/cm)	814[d1] (µS/cm)
Demanda biológica oxígeno	10 000 – 13 000[a]	1 800 – 2 900 [b] 900 - 2400 [c1]	1 300 – 2 200 [b] 1 400 – 3900 [c2]
(DBO)		2950 – 14600 [c1] 1400 – 3900 [c2]	1650 – 2800 [c1] 860 – 1750 [c2]
Demanda química oxígeno	18 000 – 23 000[a]	13 900 – 28 000[b]	3 000 – 10 000[b]
(DQO)		2 950 – 14 600[c] 1 400 – 3 900[c2]	1 1 650 – 2 800 [c1] 850 – 1 750[c2]
BOD : COD ratio	0.5 – 0.6[a] 0.9[f]		
N : COD ratio	0.08[a]		
P : COD ratio	0.02[a]		

Fuente: Parámetro promedio total (Agua de despulpado) Adams, M.A. y DOUGAN (1981).L) Agua de: 1 – con recirculación; 2 – sin recirculación

La DBO_5, muestra la cantidad de oxigeno necesario para descomponer la materia orgánica, por medio de bacterias, presente en una muestra de agua dentro de 5 días y a una temperatura de 20 °C. Por otro lado la DQO representa la manera química de descomponer la materia orgánica. Con este último método el valor que se requiere se obtiene relativamente rápido (2 horas) al compararse con el DBO_5. DQO siempre es mayor a DBOT, siendo que toda la materia orgánica es biodegradable.

El efecto perjudicial que la falta de oxígeno causa en el agua es diverso y se refleja en la muerte de vida acuática, en malos olores y hasta problemas de salud por condiciones anaeróbicas en el agua. Los valores de pH muy bajos indican que el agua tiene un contenido acido que también perjudica en gran manera la actividad biológica natural en ecosistemas. Un agua neutral tiene un pH de 7. La conductividad refleja la corriente que se puede transmitir por el agua y es dependiente de la cantidad y tipo de minerales que contiene el agua. Agua de ríos limpios suele tener una conductividad de 250 a 500 µS/cm, mientras que aguas residuales industriales pueden tener valores de hasta 10 mS/cm o más (DINÁMICA AMBIENTAL, 2012).

2.3.1. Tratamiento físico – químico de las aguas mieles

El tratamiento fisicoquímico para aguas mieles se ha empleado en pocas ocasiones. El principio se basa en aprovechar ciertos productos (como la cal y el sulfato de aluminio) que al reaccionar con sustancias presentes en la pulpa y el mucilago de café, como las pectinas, forman flóculos que pueden precipitar en una zona donde la velocidad del agua es reducida, o en un así

llamado sedimentador. El tratamiento físico se basa principalmente en dejar que el agua residual pase por zonas donde la velocidad del agua sea tan reducida que las partículas más pesadas puedan precipitarse. Luego le sigue un filtro de grava y arena donde otra parte de la materia contaminante queda atrapada.

2.3.2. Lagunas de oxidación

Los sistemas de lagunas de oxidación se utilizan generalmente en las zonas rurales, es el método más simple de tratamiento de aguas residuales que existe. Donde se necesita controlarse adecuadamente la biomasa del mismo, de manera que pueda lograr el objetivo primordial de sanear el efluente para ser volcado a los cuerpos receptores sin contaminar (DINÁMICA AMBIENTAL, 2012).

Los tipos de laguna de oxidación son:

- **Lagunas aerobias**

Las lagunas aeróbicas que han sido también referidas como fotosintéticas son estanques de profundidad reducida y diseñadas para una máxima productividad de algas. En estas lagunas se mantiene condiciones aeróbicas a todo nivel y tiempo, y la reducción de materia orgánica es efectuada por acción de organismos aeróbicos. En ellas se produce la degradación de la materia orgánica mediante la actividad de bacterias aerobias que consumen oxigeno producido fotosintéticamente por las algas (DINÁMICA AMBIENTAL, 2012).

Las lagunas aerobias se pueden clasificar, según el método de aireación sea natural o mecánico, en aerobias y aireadas.

a) Métodos aerobios: la aireación es natural, siendo el oxígeno suministrado por intercambio a través de la inter fase aire-agua y fundamentalmente por la actividad fotosintética de las algas.
b) Métodos aireados: en ellas la cantidad de oxígeno suministrada por medios naturales es insuficiente para llevar a cabo la oxidación de la materia orgánica, necesitándose un suministro adicional de oxígeno por medios mecánicos.

- **Lagunas anaerobias**

El tratamiento se lleva a cabo por la acción de bacterias anaerobias. Como consecuencia de la elevada carga orgánica y el corto periodo de retención del agua residual, el contenido de oxígeno disuelto se mantiene muy bajo o nulo durante todo el año. El objetivo es retener la mayor parte posible de los sólidos en suspensión, que pasan a incorporarse a la capa de fangos acumulados en el fondo y eliminar parte de la carga orgánica (ROMERO, 1999).

Durante la degradación de la materia orgánica en su etapa anaeróbica, cuando el oxígeno se agota las necesidades de oxígeno son satisfechas por el oxígeno contenido en los nitratos (NO_{3-}) y los sulfatos (SO_{4-}) presentes, dando como resultado, en las últimas etapas de transformación química, la formación de compuestos, como el bisulfuro de hidrógeno (SH_2), el cual es el responsable del mal olor (ROMERO, 1999).

La estabilización en estas lagunas de oxidación tiene lugar mediante las etapas siguientes:

a) Hidrólisis: los compuestos orgánicos complejos e insolubles en otros compuestos más sencillos y solubles en agua.
b) Formación de ácidos: los compuestos orgánicos sencillos generados en la etapa anterior son utilizados por las bacterias generadoras de ácidos. Produciéndose su conversión en ácidos orgánicos volátiles.
c) Formación de metano: una vez que se han formado los ácidos orgánicos, una nueva categoría de bacterias actúa y los utiliza para convertirlos finalmente en metano y dióxido de carbono.

Las lagunas anaerobias suelen tener profundidad entre 2 y 5 m, el parámetro más utilizado para el diseño de lagunas anaerobias es la carga volumétrica que por su alto valor lleva a que sean habituales tiempos de retención con valores comprendidos entre 2-5 días (ROMERO, 1999).

- **Lagunas facultativas**

Son aquellas que poseen una zona aerobia y una anaerobia, siendo respectivamente en superficie y fondo. La finalidad de estas lagunas es la estabilización de la materia orgánica en un medio oxigenado proporcionando principalmente por las algas presentes. En este tipo de lagunas se puede encontrar cualquier tipo de microorganismos, desde anaerobios estrictos, en el fango del fondo, hasta aerobios estrictos en la zona inmediatamente adyacente a la superficie. Además de las bacterias y protozoarios, en las lagunas

facultativas es esencial la presencia de algas, que son los principales suministradoras de oxígeno disuelto. La profundidad de las lagunas facultativas suele estar comprendida entre 1 y 2 m para facilitar así un ambiente oxigenado en la mayor parte del perfil vertical (ROLIM, 1999).

Las bacterias y algas actúan en forma simbiótica, con el resultado global de la degradación de la materia orgánica. Las bacterias utilizan el oxígeno suministrado por las algas para metabolizar en forma aeróbica los compuestos orgánicos. En este proceso se liberan nutrientes solubles (nitratos, fosfatos) y dióxido de carbono en grandes cantidades, estos son utilizados por las algas en su crecimiento. De esta forma, la actividad de ambas es mutuamente beneficiosa (ROLIM, 1999). En una laguna facultativa existen tres zonas:

- Superficial: en la que existen bacterias aerobias y algas en una relación simbiótica, como se ha descrito anteriormente.

- Inferior anaerobia: en la que se descomponen activamente los sólidos acumulados por acción de las bacterias anaerobias.

- Intermedia: que es parcialmente aerobia y anaerobia, en la que la descomposición de los residuos orgánicos la llevan a cabo las bacterias facultativas. Los sólidos de gran tamaño se sedimentan para formar una capa de fango anaerobio. Los materiales orgánicos sólidos y coloidales se oxidan por la acción de las bacterias aerobias y facultativas empleando el oxígeno generado por las algas presentes cerca de la superficie. El dióxido de carbono, que se

produce en el proceso de oxidación orgánica, sirve como fuente de carbono por las algas (ROLIM, 1999).

- **Lagunas de maduración**

Este tipo de laguna tiene como objetivo fundamental la eliminación de bacterias patógenas. Además de su efecto desinfectante, las lagunas de maduración cumplen otros objetivos, como son la nitrificación del nitrógeno amoniacal, cierta eliminación de nutrientes, clarificación del efluente y consecución de un efluente bien oxigenado (CEPIS, 1985). Las lagunas de maduración se construyen generalmente con tiempo de retención de 3 a 10 días cada una, mínimo 5 días cuando se usa una sola y profundidades de 1 a 1.5 metros. En la práctica el número de lagunas de maduración lo determina el tiempo de retención necesario para proveer una remoción requerida de coliformes fecales (ROLIM, 1999).

Las lagunas de maduración suelen constituir la última etapa del tratamiento, por medio de una laguna facultativa primaria o secundaria o de una planta de tratamiento convencional, debido a la eliminación de agentes patógenos (ROLIM, 1999).

2.3.3. Parámetros fisicoquímicos de los residuos líquidos (aguas mieles) del beneficio húmedo de café

- **Demanda bioquímica de oxigeno**

Representa la cantidad de oxigeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en el agua, en un

tiempo determinado. Este parámetro es de mucha importancia ya que se relaciona indirectamente con la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en los biosólidos (MONTANGERO Y STRAUSS, 2000).

Para análisis de laboratorio se utiliza la DBO, que consiste en la determinación del oxígeno consumido por los microorganismos en un intervalo de tiempo de cinco días a 20°C. Generalmente se reporta en miligramos por litro (mg/l) (DELOYA, 1989).

- **Demanda química de oxigeno**

Es la cantidad de oxigeno que se requiere para oxidar la materia orgánica presente en el agua mediante químico. Debido a que los oxidantes químicos son más rápidos y fuertes que la oxidación biológica, este parámetro siempre va a ser mayor que la DBO (PÉREZ Y ESPIGARES, 1999).

El ensayo debe hacerse a elevadas temperaturas. Para facilitar la oxidación de determinados tipos de compuestos orgánicos es preciso emplear un catalizador (por ejemplo el sulfato de plata) puesto que algunos compuestos orgánicos interfieren con el normal desarrollo del ensayo. También se reporta en (mg/l.) (VALERÍN, 2002).

- **Potencial de hidrogeno**

Se refiere al grado de acidez o alcalinidad de una sustancia. La escala del pH tiene un rango de 0 a 14, siendo 7 un pH neutro. El agua en su estado natural tiene un pH alrededor de 7 en su escala.

La característica determinante del pH afecta la actividad biológica de las aguas (sobrevivencia de microorganismos patógenos). El pH óptimo para la digestión anaeróbica se encuentra entre 6.8 - 7.5. En condiciones más ácidas el proceso se detiene (ULLOA, 1993). Un valor de pH inferior a 6.0 inhibe el crecimiento y actividad de las bacterias metano génico. Por otra parte las bacterias fermentativas son aún activas hasta un pH, de 4.5. Si no se añade u factor alcalino para neutralizar los ácidos, el sistema se convertirá en un sistema de acidificación, obteniéndose un pH en el efluente próximo a 4.5 - 5.0 (WASSER, 1995).

- **Sólidos**

Las partículas orgánicas e inorgánicas en las aguas residuales son sólidos sedimentados, flotantes y en suspensión capaces de formar depósitos de aspectos desagradable y bancos de lodo olorosos y de reducir la penetración de luz en el agua. Los sólidos también conocidos como biosólidos, estos son indicadores para evaluar el nivel de contaminación existente en las aguas residuales, de igual forma, sirven para determinar la eficiencia de un sistema de tratamientos (VALERÍN, 2002).

Los sólidos suspendidos son las partículas con un tamaño superior a 1 um de diámetro y la cantidad presente en los lodos sépticos es de aproximadamente 120 mg/l. Los sólidos sedimentables son la fracción de los sólidos suspendidos que se decantan en el fondo de un cilindro de altura específica durante una hora (PÉREZ Y ESPIGARES, 1999).

Se denomina también como sólidos no filtrantes. Este tipo de sólidos son los que quedan retenidos en el papel filtro después de filtrar la muestra y secar el papel a 103°C por un periodo aproximado de 12 a 15 horas. Los sólidos suspendidos pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fangos y de condiciones anaeróbicas cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático (VALERÍN, 2002).

2.4. Reglamento Legal

La legislación peruana vigente en los recursos hídricos, es reciente y reemplaza a la anterior que tenía más de tres décadas (1969) la cual tenía un enfoque netamente al tema de irrigación, no recoge los conceptos de manejo sostenible del recurso, estando bastante alejada a las tendencias políticas y legislativas modernas. El Perú, la actual Ley de Recursos Hídricos. Ley N° 29338 (Junio del 2009) regulando el uso, protección, conservación y gestión integral de los recursos hídricos.

2.4.1. Reglamento del vertimiento de agua residual

En el Título V. La Protección del agua, del Artículo 79°. Vertimiento de agua residual.- La Autoridad Nacional autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambientales y de Salud sobre el cumplimientos de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y Límites Máximos Permisibles (LMP). En caso de que el vertimiento del agua residual tratada pueda afectar la calidad del cuerpo receptor, la vida acuática asociada a este o sus bienes

asociados, según los estándares establecidos y sustentados técnicamente, a la Autoridad Nacional debe disponer las medidas adicionales que hagan desaparecer o disminuir el riesgo de la calidad del agua.

Por otro lado, el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, del artículo 32° de la Ley General del Ambiente, define el Límite Máximo Permisible – LMP, como la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, bienestar humano y ambiente. Su cumplimiento corresponde al Ministerio del Ambiente.

Cuadro 2. Límite Máximo Permisibles para los efluentes de PTAR.

Parámetro	Unidad	Valores LMP
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda de Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6,5 – 8,5
Sólidos totales en Suspensión	mg/L	150

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM

2.5. Estudios realizados

MARTINEZ (2013) al evaluar el efecto del tratamiento de residuos líquidos (aguas mieles) del beneficio húmedo del café (*Coffea arabica* L.) con microorganismos eficientes en la reducción de materias contaminantes. Determino que las concentraciones de microorganismos eficientes (EM) en el tratamiento de residuos líquidos del beneficio de café, no se observaron diferencia estadística en la reducción de los parámetros fisicoquímicos DBO, DQO y pH; a excepción de Sólidos Suspendidos (SS) que si existió diferencia estadística, donde el tratamiento T5 demostró mayor reducción con 190.25 mg/L con que corresponde a una concentración de EMa 1/3,000 litros, con una frecuencia de agitación de 3 horas. Aun qué en la mayoría los promedios evaluados no existe diferencia estadística, pero a comparación del testigo donde se recolecto la muestra fisicoquímica del residuo líquido (agua miel), se hace referencia una ligera disminución en los parámetros DBO y DQO:

- En el valor de DBO lo tuvo T10 con 2,120 mg/L., seguido de T7 con 2,320 mg/L. correspondiendo a (Dilución 1: 5 + sin agitación) y (Dilución 1: 4 + sin agitación) sucesivamente, con respecto a la muestra testigo reportando 4,800 mg/L. de DBO.

- Igual forma el valor de DQO lo tuvo T11 con 3,718 mg/L., seguido de T8 con 4,327 mg/L. correspondiendo a (Dilución 1:5 + agitación c/3 horas) y (Dilución 1:4 + agitación c/3 horas) sucesivamente, con respecto a la muestra testigo reportando 5,517 mg/L. de DQO.

Respecto a parámetro del potencial de hidrógeno (pH) se obtuvo pésimos resultados con valores de acidez que se considera como extremadamente ácidos con una escala de 4.22 a 4.51 de pH.

Los resultados evaluados demuestran que existe una ligera disminución en la carga orgánica de los residuos líquidos, pero todavía no se alcanzó los valores establecido por MINAN *et al*. (2013) los Limites máximo permisibles - LMP para los afluentes de las Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Segundo ensayo, con incremento en la concentración de los Microorganismos eficientes (EM) en el tratamiento de residuos líquidos del beneficio húmedo de café. Se observaron que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones de Microorganismos eficientes (EM) evaluadas; pero, si existieron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos de frecuencia de agitación. A excepción del parámetro de Potencial hidrógeno (pH) que no existió diferencia significativa en entre los factores evaluados, es decir en los microorganismos eficientes y en la frecuencia de agitación. Según la prueba de Duncan, entre los tratamientos de frecuencia de agitación se observó en los parámetros de DBO, DBO y SS. El mejor tratamiento con mayor eficiencia lo obtuvo la frecuencia sin agitación, se debe a que el coctel de microbiano conviven en su mayoría microorganismos anaeróbicos (bacterias en ausencia de oxigeno), es decir cuando los residuos líquidos permanecen estáticos.

Estudios realizados por SILVA Y SILVA (1995) emplearon EM para el tratamiento de aguas residuales domesticas utilizo el sistema de lodos

activados. Los resultados mostraron que el consumo de oxígeno en el sistema de tratamiento disminuyó al igual que la producción de lodos, la DQO y los malos olores. CLESCERI *et al*. (1999), realizaron un estudio para determinar el efecto de EM en la estabilización de lodos sépticos, mostrando disminución de olor, pH y coliformes.

De igual forma, 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 aguas residuales, se evaluaron alcalinidad, pH, conductividad, ST, SS y SD, presentando significativas mejoras en estos parámetros.

Por su parte, NGURAH (2005) realizó una investigación en el cual se probó EM, a escala de laboratorio (2 L de AR), con 2 pH diferentes (4 y 7) en aireación constante durante 10 d; los datos obtenidos mostraron disminución en las concentraciones de los parámetros DBO_5, DQO y SS.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se realizó en los ambientes de la Cooperativa Agraria de Frutos Ecológicos (C.A.F.E.); situada en el sector Sanchirio Palomar, distrito de San Luis de Shuaro, provincia Chanchamayo, región Junín. Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos en estudio, estos se realizaron en el Laboratorio de Análisis Agua, Suelo y Medio Ambiente, (LAASMA), del Departamento de Recursos Hídricos DRH, de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.1.1. Antecedentes de la cooperativa

La Cooperativa Agraria de Frutos Ecológicos (C.A.F.E.) es una organización sin fines de lucro, fue fundada el 01 de enero del año 2005, con RUC Nº 20486299895; Se encuentra ubicada en la carretera principal S.N. en el centro poblado Sanchirio Palomar. En la actualidad viene produciendo café a través de sus 500 socios, desde la etapa de cultivo, habiendo mejorado en la producción de los cafetales a través de la asistencia técnica sus productores. Sus socios son migrantes de la zona alto andina de las regiones de Huancavelica, Junín, Huánuco, y Ayacucho. Asimismo, nativos de las etnias Yaneshas y Ashanikas. Políticamente, inmerso a la jurisdicción de la

cooperativa, sus fincas se encuentran ubicadas en ambas márgenes del rio Perene, distrito de Perene, provincia Chanchamayo.

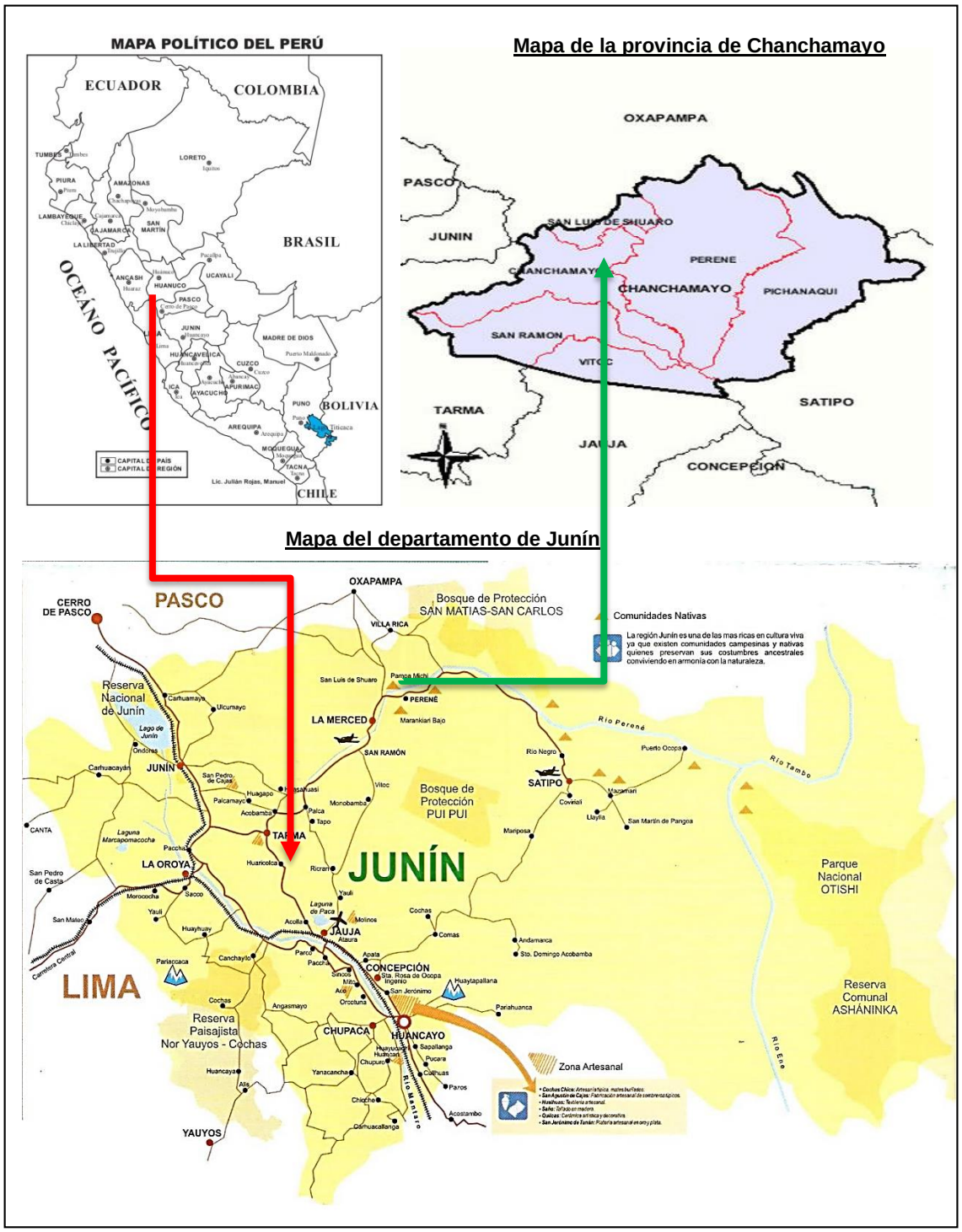

Figura 1. Mapa de ubicación del distrito San Luis de Shuaro

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Material y equipo de campo

GPS (Sistema de Posicionamiento Global) marca Garmin, botas de jebe, capa impermeable, libreta de apuntes, fichas, cámara digital marca Kodak, flexómetro de 5 m., 12 (doce) bidones de 250 L (110 m x 0.56 m x 7 mm), 24 (veinticuatro) válvulas de PBC de 1”, frascos (2 L.).

3.2.2. Hardware y software

Laptop CANON 435ZT, Software Office 2010 (Word, Excel), Software estadístico Infostad, impresora CANON 320.

3.3. Metodología

3.3.1. Origen de las muestras de aguas mieles

Las aguas mieles se obtuvo del beneficiado húmedo del café, residuos líquidos del procesado de la producción de los agricultores del periodo marzo – junio del 2016. Para la obtención de los microorganismos eficaces, estos se obtendrán de la Tecnología de Microorganismos Eficaces (EM^{tm}).

3.3.2. Caracterización inicial de las muestras de aguas mieles

Se realizó la caracterización fisicoquímica inicial de las aguas mieles para identificar en qué estado se encontraba según los parámetros de para la calidad del agua residual para vertimiento, según Ley N° 29338 (Cuadro 3).

Así como para determinar los rangos en los que se encontraban los parámetros buscando establecer las diluciones a emplear en la medición de cada parámetro para garantizar una buena lectura según el alcance de cada técnica.

Se utilizó las metodologías establecidas en los planes operacionales estándar (POEs) de los laboratorios de Microbiología y de Química de Aguas de Fundases, para cada una de las técnicas.

Cuadro 3. Parámetros fisicoquímicos monitoreados durante el estudio

Parámetro	Método
Demanda química de oxígeno (DQO)	Reflujo cerrado por método colorimétrico 5220D. (Merck y Styard Methods, 1999)
Demanda biológica de oxígeno (DBO_5)	Método oximétrico, 5210. (Styard Methods, 1999). Método sin filtración.
Sólidos totales (ST)	Método gravimétrico 2540B a 103-105°C. (Styard Methods, 1999).
Oxígeno disuelto (OD)	Método potenciométrico, 4500-O G (Styard Methods, 1999).
pH	Método potenciométrico 4500-H. (Styard Methods, 1999).

3.3.3. Montaje de las unidades experimentales (UEs)

Las dimensiones de cada UE fueron: 1.10 x 0.56 m y 7 mm de espesor con una capacidad total de 250 L. En cada UE, se adaptaron una llave de plástico instaladas a 0.20 m de la base las cuales se utilizaron como puertos

de muestreo. Las UEs se ubicaron en las instalaciones de la Cooperativa Agraria de Frutos Ecologicos (C.A.F.E.). Las UEs fueron llenadas con 110 L de aguas mieles provenientes de la poza de almacenamiento del beneficio húmedo del café. Una vez realizado el proceso de llenado, a cada UE se le asigno aleatoriamente como control o tratamiento.

3.3.4. Evaluación de la dosis de microorganismos eficaces (EM)

Para evaluar el efecto de la concentración de EM en el tratamiento de aguas mieles, se seleccionaron tres dosis: 1/3000, 1/5000 y 1/10000 (volumen de EM / volumen de aguas mieles). Tanto las dosis a evaluar, como el control (sin adición de EM) contaron con tres UEs cada uno, para un total de 12 UEs.

Para garantizar que la dosis fuera la correspondiente a cada tratamiento, el volumen de cada UE se recalculo luego de cada muestreo teniendo en cuenta el volumen de agua extraído. Al inicio del estudio (día 0) se realizó una adición de EM con una proporción de 1/1000 (dosis de choque) a todos los tratamientos y se homogenizo manualmente con la ayuda de un tubo de PVC. Las aplicaciones de EM posteriores, correspondientes a los días 15 y 30 a partir del inicio del estudio se realizaron de igual manera pero empleando la dosis de EM específicas para cada tratamiento.

3.3.5. Evaluación del efecto de la profundidad

Se tomaron muestras a los 20 cm de la base de cada UE, con el fin de determinar si existen diferencias significativas en cuanto a los parámetros analizados.

3.3.6. Muestreos

Los muestreos se efectuaron a los 0, 10, 30 y 45 d. En cada uno de ellos se tomó 1.5 L de agua en cada puerto de muestreo en recipientes plásticos estériles. Durante el estudio se tomó el 11% del volumen total del agua miel en la UE, para garantizar que las UEs y los muestreos sean representativos.

Los recipientes se transportaron desde el vivero hasta el laboratorio a una temperatura de 4ºC y fueron preservados hasta su análisis, según el POE de cada parámetro. Los muestreos correspondientes al día 0 y 30 que coincidieran con los eventos de aplicación de EM, se realizaron antes de agregar las respectivas dosis.

3.4. Tipo de investigación

El trabajo de investigación correspondió al tipo de diseño de experimental.

3.4.1. Variables independientes

Las variables independientes fueron las tres dosis de microorganismos eficaces: 1/3000, 1/5000 y 1/10000 (volumen de EM / volumen de aguas mieles).

3.4.2. Variables dependientes

Las variables dependientes en el presente trabajo de investigación fueron:

- Parámetros fisicoquímicos del agua residual

  Demanda química de oxígeno (DQO)

  Demanda biológica de oxígeno (DBO5)

  Sólidos totales (ST)

  Oxígeno disuelto (OD)

  pH

3.5. Análisis estadístico

Para la presente investigación se utilizó el diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 3x2.

Dónde:

Factor (A) = Dosis de microorganismos eficaces, con 3 niveles.

a1= Dosis de microorganismos eficaces de 1/3000 (volumen de EM / volumen de aguas mieles).

a2 = Dosis de microorganismos eficaces de 1/5000 (volumen de EM / volumen de aguas mieles).

A3 = Dosis de microorganismos eficaces de 1/10000 (volumen de EM / volumen de aguas mieles).

Factor (B) = Estratos (E), con 2 niveles de profundidad.

- b1= 0-20 cm de profundidad (E1)
- b2 = 20- 40 cm de profundidad (E2)

El modelo estadístico a empleado es la siguiente:

$$Yij = u + A_i + B_j + A_i*B_j + E_{ij}$$

Dónde:

U = Media muestral

Ai = Efecto de las dosis de tratamiento (1, 2 y 3)

B_j = Efecto de los estratos (j = 1 y 2)

A_i*B_j = efecto de la interacción de usos de la tierra y estratos.

E_{ij} = Error experimental

El análisis de varianza (ANVA) a emplear es:

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos se utilizó el paquete estadístico INFOSTAT Versión 2013, se realizó el análisis de varianza, con un nivel de significancia del 5% y un comparador de medias de Fisher. Asimismo, se incorporaron figuras y gráficos que expliquen mejor el comportamiento y diferencias entre los tres sistemas de uso de la tierra.

IV. RESULTADOS

4.1. Evaluación del efecto de la profundidad sobre los parámetros fisicoquímicos en el tratamiento de aguas mieles

A un 95% de nivel de significación no se observaron diferencias significativas entre las profundidades evaluadas (0 – 20 cm; 20 – 40 cm) para ninguno de los parámetros (pH, OD, demanda bioquímica de oxigeno – DBO_5, demanda química de oxígeno - DQO, solidos totales - ST), y tiempos de muestreo en los diferentes tratamientos de control. Consecuentemente al no existir diferencia significativa en las profundidades para ninguno de los parámetros fisicoquímicos en estudio en las unidades experimentales, se tomó la decisión de emplear los datos obtenidos como repeticiones de cada tratamiento o control para el análisis de los parámetros a evaluar durante el estudio.

4.2. Caracterización de parámetros fisicoquímicos al aplicar diferentes dosis de microorganismos eficaces en el tratamiento de aguas mieles

4.2.1. pH

En el Cuadro 4, se detalla el comportamiento de los valores medios de pH obtenidos durante el tiempo de evaluación de la presente investigación. Para el comparador de medias, en las evaluaciones registradas durante el

periodo de la investigación se encontró diferencias significativas entre los tratamientos, ya que el valor calculado de F es mayor que el valor tabular de F al nivel de significación del 0.05 % por lo que se puede asegurar con un 95 % de certeza que existen diferencias entre los tratamientos con lo que respecta al comportamiento de la variable pH. Asimismo, para la prueba estadística, el coeficiente de variación de la altura de las plantas es de 1.21% a 2.32% indicando que los datos son confiables, por estar por debajo del 30%, el cual es el límite de confiabilidad.

Cuadro 4. Comparación de los valores medios obtenidos para pH, teniendo en cuenta los tratamientos aplicados

Tratamiento	Tiempo (días)			
	0	10	30	45
Testigo	5.14±0.03a	5.27±0.02a	5.43±0.02a	5.63±0.07a
1/3,000	5.18±0.02a	5.40±0.02b	5.70±0.06b	5.91±0.03b
1/5,000	5.18±0.03a	5.69±0.02c	5.82±0.03b	5.98±0.03b
1/10,000	5.15±0.02a	5.75±0.07c	6.11±0.08c	6.62±0.05c
p_valor	0.5549	<0.0001	<0.0001	<0.0001
C.V (%)	1.21	1.73±	2.32	1.98

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p> 0.05)

Uno de los parámetros con mayor influencia sobre los indicadores evaluados en este estudio, fue el pH. Durante el tiempo de monitoreo, este se mantuvo relativamente cambiante, observándose diferencia estadística

significativa de este parámetro entre los tratamientos. Los valores obtenidos al finalizar la evaluación (45 d) presentaron diferencia significativa por lo que se observó un efecto de la aplicación de microorganismos eficaces (EM) sobre este parámetro. Determinándose que a mayor dosis de EM, el pH tiende a acercarse a la neutralidad, con valores promedios de 5.15±0.02 a 6.62±0.05 (Figura 2).

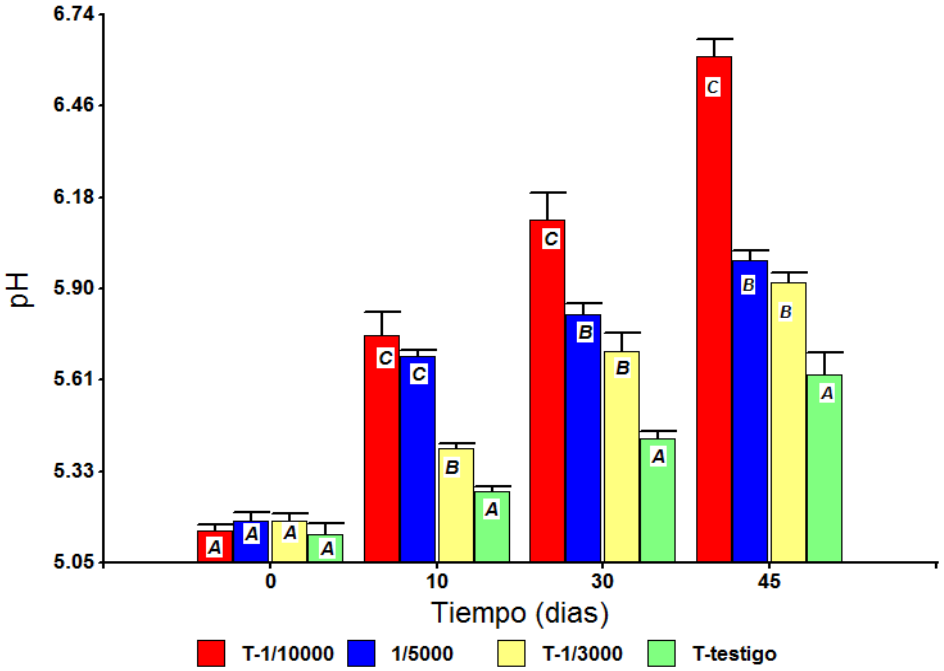

Figura 2. Comparación de los valores medios obtenidos para pH, teniendo en cuenta los días de análisis y tratamientos aplicados

4.2.2. Demanda bioquímica de oxígeno

En el Cuadro 5, se detalla el comportamiento de los valores medios para demanda bioquímica de oxígeno obtenidos durante el tiempo de evaluación de la presente investigación. De ello, aun 95% para la prueba de medias existió diferencia significativa al finalizar el periodo de evaluación, por lo que con una

certeza del 95% se puede asegurar que existen diferencias entre los tratamientos con lo que respecta al comportamiento de la variable demanda bioquimica de oxigeno en estudio. Asimismo, El coeficiente de variación de la altura de las plantas es de 1.78% a 2.94% indicando que los datos son confiables, por estar por debajo del 30%, el cual es el límite de confiabilidad.

Cuadro 5. Valores medios obtenidos para demanda bioquímica de oxígeno, teniendo en cuenta los días de análisis y tratamientos aplicados

Trat.	Tiempo (días)			
	0	10	30	45
Testigo	7631.67±21.7a	7309.67±29.8a	5728.33±32.7a	5490.33±71.29a
1/3,000	7598.83±29.9a	5829.67±99.4b	4918.0±33.62b	3540.17±36.04b
1/5,000	7353.83±3.89b	3650.0±26.14c	2550.17±16.8c	115.83±3.78c
1/10,000	7400.33±20.8b	2612.67±45.8d	540.17±2.1d	93.17±1.89c
p_valor	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
C.V (%)	0.69	2.94	1.78	4.24

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p> 0.05)

En la Figura 3, se observa los valores medios obtenidos para demanda bioquímica de oxígeno, teniendo en cuenta los días de análisis y tratamientos aplicados. De ello se aprecia que los valores obtenidos al finalizar la evaluación (45 d) presentaron diferencia significativa por lo que se observó un efecto de la aplicación de microorganismos eficaces (EM) sobre este parámetro. Determinándose que a mayor dosis de EM, la demanda bioquímica de oxígeno tiende a decrecer.

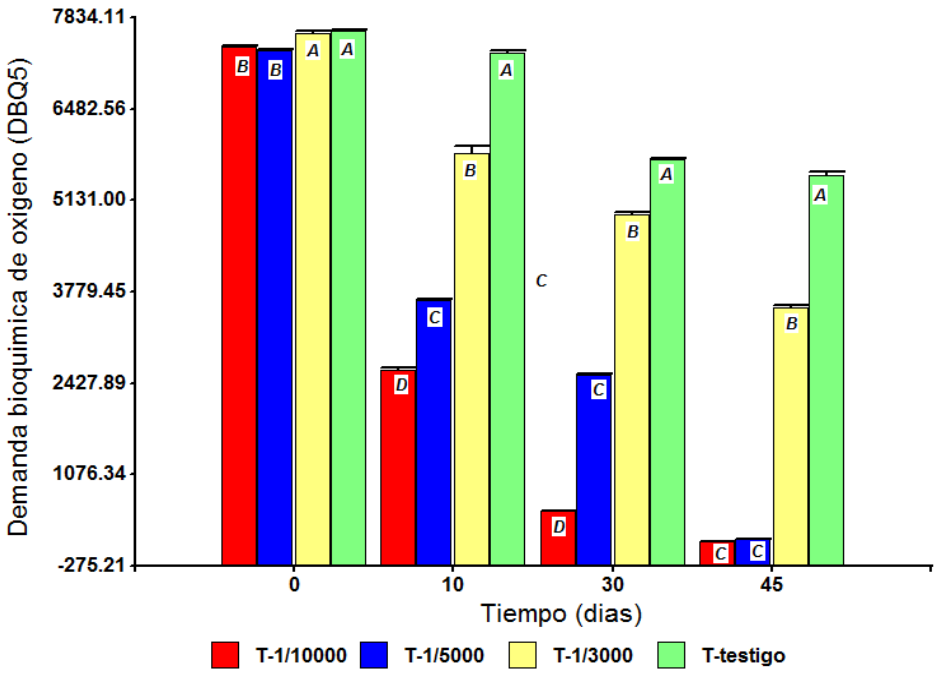

Figura 3. Valores medios obtenidos para demanda bioquímica de oxígeno, teniendo en cuenta los días de análisis y tratamientos aplicados

4.2.3. Demanda química de oxígeno

En el Cuadro 6, se detalla el comportamiento de los valores medios de demanda química de oxígeno obtenidos durante el tiempo de evaluación de la presente investigación.

A un nivel de significacacion del 0.05% se encontró diferencia significativa a los 10, 30 y 45 dias de evaluacion, por lo que con una certeza del 95% se puede asegurar que existen diferencias entre los tratamientos con lo que respecta al comportamiento de la variable demanda quimica de oxigeno en estudio. Asimismo, El coeficiente de variación de la altura de las plantas es de 1.54% a 3.65% indicando que los datos son confiables, por estar por debajo del 30%, el cual es el límite de confiabilidad.

Cuadro 6. Comparación de los valores medios obtenidos para demanda química de oxígeno, teniendo en cuenta los días de análisis y tratamientos aplicados

Tratamiento	Tiempo (días)			
	0	10	30	45
Testigo	12875.83±39.1a	11833.0±145a	10951.0±18a	9873.83±10a
1/3,000	12606.83±66.2a	11456.0±39.9a	8663.17±96.6b	6639.33±51b
1/5,000	12875.83±343a	6423.50±191b	4917.17±34.5c	210.50±6.4c
1/10,000	12510.00±37.5a	5355.83±94.7c	1239.67±24.01d	190.33±2.26c
p_valor	0.4422	<0.0001	<0.0001	<0.0001
C.V (%)	3.43	3.65	2.04	1.54

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p> 0.05)

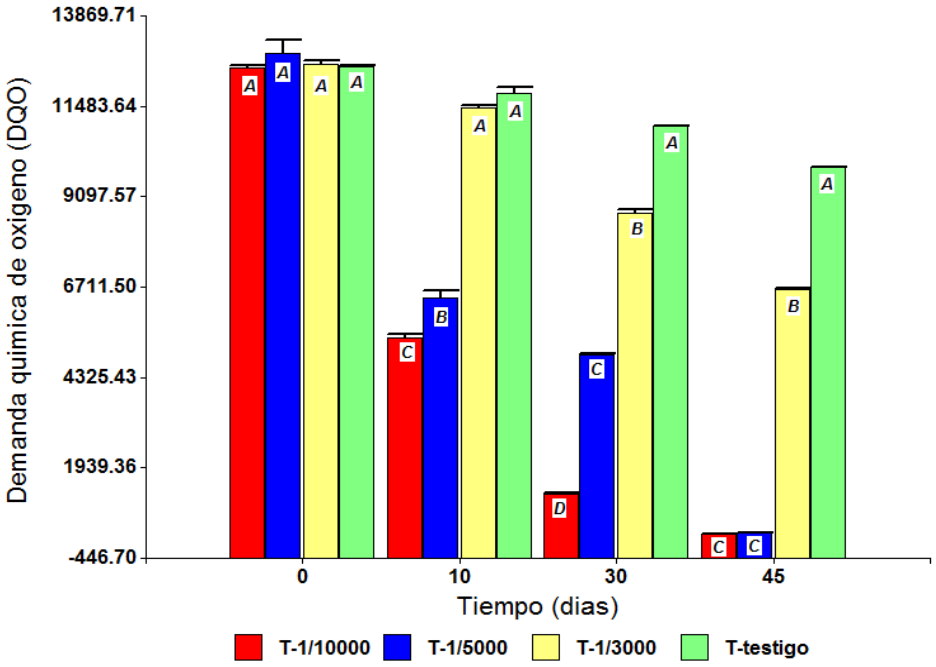

Figura 4. Comparación de los valores medios obtenidos para demanda química de oxígeno, teniendo en cuenta los días de análisis y tratamientos

Los valores obtenidos al finalizar la evaluación (45 dias) presentaron diferencia significativa, observándose que surge un efecto de la aplicación de microorganismos eficaces (EM) sobre este parámetro. Determinándose que a mayor dosis de EM, la demanda química de oxígeno tiende a decrecer (Figura 4).

4.2.4. Solidos totales

En el Cuadro 7, se detalla el comportamiento de los valores medios de solidos totales obtenidos durante el tiempo de evaluación de la presente investigación.

Cuadro 7. Comparación de los valores medios obtenidos para solidos totales, teniendo en cuenta los días de análisis y tratamientos aplicados

Tratamiento	Tiempo (días)			
	0	10	30	45
Testigo	11508.83±9.16a	9773.83±33a	9130.5±67.58a	5748.0±21a
1/3,000	11553.83±44.1a	10471.0±42.2b	9579.50±17.0b	3777.0±59b
1/5,000	10517.17±26.7b	9773.0±32.04a	6919.83±27.39c	204.17±1.0c
1/10,000	11339.33±37.5c	10342.5±29.1c	5856.67±21.44d	156.0±1.0c
p_valor	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
C.V (%)	0.70	0.84	1.21	3.15

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p> 0.05)

Para el comparador de medias (Cuadro 7) en las evaluaciones registradas durante el periodo de la investigación se encontró diferencias

significativas entre los tratamientos, por lo que se puede asegurar con un 95 % de certeza que existen diferencias entre los tratamientos con lo que respecta al comportamiento de la variable solidos totales.

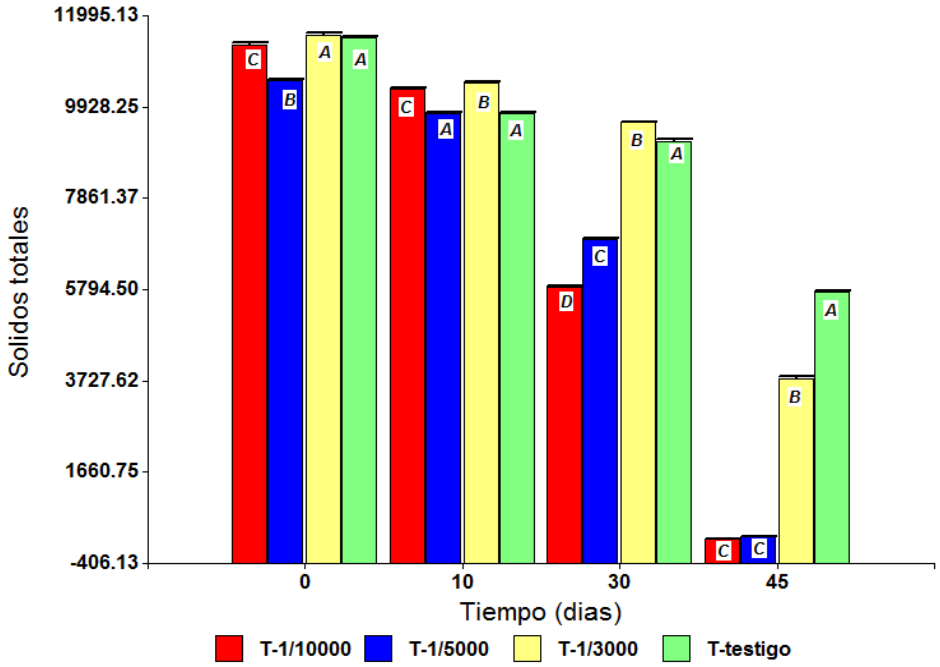

Figura 5. Valores medios obtenidos para demanda química de oxígeno, teniendo en cuenta los días de análisis y tratamientos aplicados

V.DISCUSIÓN

No se observaron diferencias significativas entre las profundidades evaluadas (0 – 20 cm; 20 – 40 cm) para ninguno de los parámetros (pH, demanda bioquímica de oxigeno – DBO_5, demanda química de oxígeno - DQO, solidos totales - ST), y tiempos de muestreo en los diferentes tratamientos de control. Este comportamiento pudo suceder a que bajo las condiciones del estudio, la distancia entre las alturas evaluadas no fue lo suficientemente amplia como para determinar diferencias significativas ocasionadas por la profundidad al aplicar los microorganismos eficaces (EM). Aunado a ello, se asume que los resultados pudieron estar estrechamente relacionados, entre otros factores con el tamaño de las unidades experimentales (UE), dado que el volumen de las aguas mieles (beneficiado húmedo de café) era poco y presento una considerable presencia de sedimentos, reduciendo posiblemente las concentraciones de oxígeno disuelto.

La tendencia hacia la neutralidad del pH obtenido en estudio, coincidió con lo esperado, los valores obtenidos al finalizar la evaluación (45 d) presentaron diferencia significativa por lo que se observó un efecto de la aplicación de microorganismos eficaces (EM) sobre este parámetro. Determinándose que a mayor dosis de EM, el pH tiende a acercarse a la neutralidad. Asimismo, para los valores de demanda bioquímica de oxígeno,

demanda química de oxigeno se observó un efecto de la aplicación de microorganismos eficaces (EM) sobre este parámetro. Estableciéndose que a mayor dosis de EM, los valores de estos tienden a decrecer en los tratamientos de 1/5000 y 1/10000.

Por su parte, MARTINEZ (2013) al evaluar el efecto del tratamiento de residuos líquidos (aguas mieles) del café (*Coffea arabica* L.), determino que las concentraciones de microorganismos eficientes (EM) en el tratamiento de residuos líquidos del beneficio de café, no se observaron diferencia estadística en la reducción de los parámetros fisicoquímicos DBO, DQO y pH; a excepción de sólidos suspendidos (SS). La discrepancia con nuestros resultados se atribuye a factores como la dimensión de los tanques empleados, siendo en nuestro caso relativamente pequeño, lo que permitió una distribución más homogénea de las aguas mieles a diferencia de un área más amplia.

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 aguas residuales, se evaluaron alcalinidad, pH, conductividad, ST, SS y SD, presentando significativas mejoras en estos parámetros. Por su parte, NGURAH (2005) realizó una investigación en el cual se probó EM, a escala de laboratorio (2 L de AR), de sus resultados se observaron disminución en las concentraciones de los parámetros DBO_5, DQO y SS.

VI. CONCLUSIONES

1. No se observaron diferencias significativas entre las profundidades evaluadas (0 – 20 cm; 20 – 40 cm) para ninguno de los parámetros (pH, demanda bioquímica de oxigeno – DBO5, demanda química de oxígeno - DQO, solidos totales - ST), y tiempos de muestreo en los diferentes tratamientos de control.

2. Se concluye que a mayor dosis de EM, el pH tiende a acercarse a la neutralidad. Asimismo, para los valores de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxigeno existe un efecto de la aplicación de microorganismos eficaces (EM) sobre estos parámetros.

VII. RECOMENDACIONES

1. Fomentar la técnica de humedales artificiales para el uso de descontaminación de aguas utilizadas en actividades agrícolas como el cultivo de café, o tareas pecuarias como la que se obtiene de la crianza de cerdos, cuyas aguas de lavado son excesivamente contaminadas por su alta carga orgánica del estiércol.

2. Realizar coordinaciones con las autoridades comunales, a efecto de tomar acciones de control y descontaminación de las aguas residuales utilizadas en el despulpado de café, mediante la ejecución de biosistemas o humedales artificiales implementados con macrofita Jacinto acuático.

3. A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, coordinar acciones de investigación en las labores agropecuarias a efecto de determinar líneas de investigación que permitan mermar el impacto ambiental de los recursos naturales como el agua y los suelos, debido al uso frecuente de insumos químicos en las tareas agrícolas como herbicidas y fertilizantes, cuya aplicación al final generan agua lixiviada con diversas sustancias químicas.

EVALUATION OF THE EFFECT OF EFFECTIVE MICROORGANISMS (EM ™) ON THE WATER QUALITY OF HONEY FROM THE HUMID BENEFIT OF COFFEE (*Coffea arábiga* L.)

VIII. ABSTRACT

The research was conducted in the environments of the Cooperativa Agraria de Frutos Ecológicos (C.A.F.E.); located in the sector Sanchirio Palomar, district of San Luis de Shuaro, province Chanchamayo - Junín. In order to evaluate the effect of different doses of effective microorganisms in the treatment of honey waters. The methodology used consisted in the application of three doses: 1/3000, 1/5000 and 1/10000 (volume of EM / volume of honey water). Both the doses to be evaluated and the control (without addition of EM) had three UEs. Samples were taken at 20 cm from the base of each UE, in order to determine if there are significant differences in terms of the parameters analyzed. Samples were taken at 0, 10, 30 and 45 d. For the determination of the physicochemical parameters under study, these were carried out in the Laboratory of Water, Soil and Environment Analysis (LAASMA), of the Faculty of Agricultural Engineering of the National Agrarian University La Molina.

From the results no significant differences were observed between the depths evaluated (0 - 20 cm, 20 - 40 cm) for any of the parameters (pH, OD, biochemical oxygen demand - BOD5, chemical oxygen demand - COD, total solids - ST), and sampling times in the different control treatments. It is concluded that the higher the dose of MS, the pH tends to approach neutrality. Likewise, for the values of biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand there is an effect of the application of effective microorganisms (EM) on these parameters.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACARA, 2006. Tecnologia EM en el Tratamiento de Aguas y Efluentes (En Linea) http://www.em-la.com/archivos-datos/uso_em_tratamiento_aguas.pdf. (citado en 30 de Juniodel 2016).

ADAMS, R. 1986. . Química. 7a ed. México: McGraw-Hill, 2003. 1063 p.

CANNELL, F. 1976. Red de Agricultura natural de para la Región Asia/Pacifico. Manual de Aplicación. (en línea). Consultado: 28 de septiembre de 2013. Disponible en: www.apnam.com.

CARVAJAL, W. 1985. The clasification of the Solanaceae. En: “Hawkes, J. G.; Lester, R. N.; Skelding, A. D. (Eds). The Biology and Taxonomy of the Solanaceae. Academic Press, New York & London”: 47 p.

CEPIS, T. 1985. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. Agro ciencia 36 p.

CETINKAYA, I; OSTÜRK, W. 1999. Subproductos del fruto del café. Guatemala: Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP). 152 p.

DELOYA, O. 1989. Caracterización de la biodegradación de las aguas residuales de la industria conservera, en reactores discontinuos secuenciales. Tecnología del agua. Vol. 24, No. 249. 96 p.

DINÁMICA AMBIENTAL, 2012. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales 2009. Beneficios de los microorganismos eficientes en la agricultura. Consultado: 10 de setiembre de 2013. Disponible en. http://www.idiaf..php?recordID=971

EARLY, Y. 1998. Tratamiento de aguas residuales. Barcelona: Reverté, 1996. 705 p.

FOURNIER, P. 1988. Manual de Determinativa Bacteriología. Night Edition. Philadelfia 2: 540-589.

HARVEY, U; ARAUJO D, y ARAUJO Y. 1985. Alternativas para el manejo de las aguas residuales municipales en la Parroquia La Puerta, Municipio Valera, Estado Trujillo (En Linea) http://tesis.ula.ve/pregrado/tde _archivos/-775/Publico/araujodania_araujoyobana.pdf. (citado en 30 deJunio del 2016).

HOLT, R. 2000. Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Panajachel, Sololá. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2001. 80 p.

HONDA, K; CARDONA J, y GARCIA L .J. 2006). Evaluacion del Efecto de los

ICAFE, Y. 1998. Indicadores de eco-fisiológica microbianos para evaluar la calidad del suelo. Agr. Ecosyst. Environ.98 p.

JGI, 2005. Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. 3a ed. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2010. 1248 p.

KELLY, D; NAVARRO G., NAVARRO B. 1998. Diagnostico microbiológico: Texto y atlas de color. Quinta Edición. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires.

MARTINEZ, L. 2013. Tratamiento y postratamiento de aguas residuales. Colombia: UniBoyacá, 2002. 320 p.

Microorganismos Eficaces (EMa) Sobre la Calidad de un Agua Residual, Bogota – Colombia (En Linea) http://javeriana.eduis/ciencias/tesis204.pdf, (citado en 30 deJunio del 2016)

MLIKOTA, L; FERRERAS L, MAGRA G; BESSON P. 2004. Bacillus firmus utilizado como controlador biológico de Phytophthora capsici Leo. En Jitomate (Lycopersicon esculentum Mill). Instituto de Fitopatogenicidad. México 16:15-29.

MONTANGERO, W; STRAUSS, Q. 2000. Tecnología EM. EMRO (Effective Microorganism Research Organization Inc.) Limon. 16 p.

MUSCHLER, W; BONNEMANN, L. 1997. Microrganismos eficaces y su empleo en las agua residuales. Consultado: 29 de setiembre de 2013. Disponible en: www.ana.gob.pe

NGURAH, U. 2005. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Colombia: McGraw-Hill Interamericana, 2000. 776 p. ISBN: 958-41-0042-4. 64 p.

PÉREZ, D; ESPIGARES, P. 1999. Determinación en la reducción de carga contaminante en una planta de tratamiento de efluentes orgánicos. Trabajo de graduación de Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas. 76 p.

PÉREZ, D; ESPIGARES, R. 1999. Manual de Metodos Analiticos para la Determinacion de Parametros Fisicoquimicos Basicos en Aguas (En Linea) www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-012-SCFI-

ROLIM, W. 1999. Qué son microorganismos eficientes?. Consultado: 18 de setiembre de 2013. Disponible en: 91 http://es.answers.yahoo.com/question/index?qid=2008073113226aa6mgbr

ROMERO, W. 1999. El procariotas. Un Manual sobre Biología de Las bacterias Ecofisiología, aislamiento, identificación, Applications. Second. Edition. Editorial Sringer. New York

SILVA, M; SILVA, D. 1995. Composición química de la pulpa del café y otros subproductos. Guatemala: División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos, Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), 1993. 152 p.

SUSTAINABLE COMMUNITY DEVELOPMENT, 2001. Asociación Nacional del Café. Greenbook (Libro verde): Guatemalan Coffees. Guatemala: Anacafé, versión en español, 2007. 49 p.

SZYMANSKY, O; PATTERSON, Y. 2003. Beneficiado rápido y eficiente del café mediante el uso de soda cáustica: Justificación de un proyecto para investigar la obtención de pectina a partir del mucílago del café. San José, Costa Rica: Departamento de Estudios Técnicos y Diversificación. Proyecto 1. Subproyecto 5. Oficina del Café,1974. 38 p.

VALERÍN, U. 2002. Tratamientos biológicos de aguas residuales. España: Alfaomega, 2008. 188 p.

VIVANCO, E. 2003. Calidad del agua. 3a ed. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009. 484 p.

ANEXO

Anexo 1. Panel fotográfico

Figura 6. Agregando agua al cilindro de plástico

Figura 7. Producto EM Agua (Microorganismos Eficaces)

Figura 8. Agregando EM Agua en el cilindro de plástico

Figura 9. Producto Melaza para la activación de microorganismos

Figura 10. Agregando melaza en el cilindro de plástico

Figura 11. Vertiendo los productos para su homogenización.

Figura 12. Formación de espumas por la mezcla de productos

Figura 13. Mezcla homogénea para la activación de los microorganismos

Figura 14. Rotulado del Cilindro de plástico

Figura 15. Infraestructura de la Planta de Beneficio Húmedo de Café de la Cooperativa