

**Universidad de San Carlos de Guatemala -USAC-
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**Evaluación de la degradación In vitro de lodos producto de los efluentes
del cultivo intensivo de tilapia, utilizando un bio-energizante comercial**



Presentado por

T. A. José Carlos Valladares Gutiérrez

**Para otorgarle el título de
Licenciado en Acuicultura**

Guatemala, mayo de 2018

**Universidad de San Carlos de Guatemala -USAC-
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**Evaluación de la degradación In vitro de lodos producto de los efluentes
del cultivo intensivo de tilapia, utilizando un bio-energizante comercial**



Presentado por

T. A. José Carlos Valladares Gutiérrez

**Para otorgarle el título de
Licenciado en Acuicultura**

Asesor: Lic. Roberto Cáceres Staackmann

Guatemala, mayo de 2018

Universidad de San Carlos de Guatemala -USAC-
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-

Consejo Directivo

| | |
|--|---|
| Presidente | M. Sc. Héctor Leonel Carrillo Ovalle |
| Secretaria | M. Sc. Kathya Iturbide Dormon |
| Representantes docentes | M. A. Olga Marina Sánchez Cardona M. Sc. Erick Roderico Villagrán Colón |
| Representante del Colegio de Médicos Veterinarios, Zootecnistas y Acuicultores | Licda. Liliana Maricruz Maldonado Noriega |
| Representantes estudiantiles | T. A. Marcos Estuardo Ponciano Núñez T. A. María Alejandra Paz Velásquez |

El Director del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-, después de conocer el dictamen favorable del M.Sc. Luis Francisco Franco Cabrera, Coordinador Académico, sobre el trabajo de graduación del estudiante universitario **José Carlos Valladares Gutiérrez**, titulado “Evaluación de la degradación In vitro de lodos producto de los efluentes del cultivo intensivo de tilapia, utilizando un bio-energizante comercial”, da por este medio su aprobación a dicho trabajo. IMPRIMASE.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



M.Sc. Héctor Leonel Carrillo Ovalle



Guatemala, mayo 2018

El Coordinador Académico del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura –CEMA–, después de conocer el dictamen del asesor Lic. Roberto Cáceres, al trabajo de graduación del estudiante universitario **José Carlos Valladares Gutiérrez**, titulado “Evaluación de la degradación In Vitro de lodos producto de los efluentes del cultivo intensivo de tilapia, utilizando un bio-energizante comercial”, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


M.Sc. Luis Francisco Franco Cabrera



Guatemala, mayo 2018

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de San Carlos de Guatemala, por la oportunidad de recibir educación superior y formar profesionales.

Al Centro de Estudios del Mar y Acuicultura –CEMA - , por ser mi segundo hogar a lo largo de mi formación profesional.

A la empresa privada La Embaulada, S.A., por abrir sus puertas y los recursos prestados durante la realización de la investigación.

Al médico veterinario Manuel Arenas Ramos, por la confianza depositada en mi persona y el apoyo a lo largo del EPS.

DEDICATORIA

A Dios primero, por darme la vida y una familia que me brindaron todo el apoyo para lograr las metas hoy alcanzadas.

A mis padres, por darme todo el apoyo a lo largo de la carrera para poder alcanzar mis sueños, que hoy les comparto. Lo he logrado.

A mis hermanos, Gabriela Valladares y Raúl Valladares, por siempre estar a mi lado.

A mi abuelo, Augusto Valladares, por ser un ejemplo de lucha y fortaleza ante los momentos más difíciles de la vida.

A mis amigos, Francisco Penados, Max Baldetti, Sandra Morales, Aura Marín, Leonel Zelaya, Melissa Ochoa, Sara Leal, Wendy Calderón, José Pumay y Marco Elías, por todo su apoyo y compañía a lo largo de nuestra formación profesional. Lo logramos.

A los catedráticos, por el esfuerzo diario todos estos años para formar profesionales de éxito.

RESUMEN

En la actualidad se produce alrededor de 66.6 millones de toneladas métricas por año de especies de peces comestibles a nivel mundial, de las cuales 3.2 millones de toneladas métricas son de tilapia. Esta actividad es muy importante en aspectos económicos, sin embargo, como toda actividad de producción tiene un impacto sobre el medio ambiente. En la acuicultura se tienen diferentes desechos durante y al finalizar los diferentes ciclos de producción. Los principales desechos son los efluentes o descargas de agua, estos se componen por una parte líquida y una parte sólida, que en su mayoría es materia fecal de los peces y restos de alimento no consumido. Se conoce en la actualidad que se produce 1m^3 de lodos (sólidos) en base húmeda por cada tonelada de peces cultivada.

En diferentes lugares del mundo ya se utilizan distintos mecanismos para la reducción de estos lodos, siendo una de las opciones más populares la biorremediación. En Guatemala, la acuicultura sigue teniendo un considerable crecimiento, pero aún hay poca regulación sobre la responsabilidad ambiental al momento de manejar los desechos resultantes de la producción acuícola; por ello, la presente investigación pretende incentivar el uso de bio-energizantes como un método de reducción de lodos en la acuicultura.

Durante el proceso de investigación, se tomó una muestra de lodos por medio de un sifón de piscina en los estanques de engorde, estos pasaron a una caja de recolección, se sedimentaron por 24 horas, se decantó para sacar el exceso de líquidos. El producto se trasladó a botellas de vidrio, a los cuales se agregaron 500 ml de sedimentos y 500 ml de agua, dejando un testigo sin presencia de bio-energizante. Se agregaron tres concentraciones para las demás muestras (10 ppm, 5 ppm y 1 ppm), se sellaron para que no ingresara oxígeno al medio. Se realizó la toma de datos de reducción de la columna de lodos cada 48 horas durante quince días y luego se calculó el porcentaje de reducción por muestra.

Un método biorremediador eficaz debe generar por lo menos 25% de reducción de lodos, ya que este es un resultado aceptable ante la alta producción de desechos que se generan hoy en

día. Con lo anterior podemos exponer que una concentración de 10mg/l utilizada en la investigación dio como resultado entre un 20 a 30% de reducción, con un promedio de 23.33%, siendo un valor esperado según este método de reducción de lodos utilizado, ya que los valores sobrepasan o se acercan al 25% de reducción.

ABSTRACT

At present, about 66.6 million metric tons per year of edible fish species are produced worldwide, of which 3.2 million metric tons are tilapia. This activity is very important in economic aspects, however, as any production activity has an impact on the environment. In aquaculture there are different wastes during and at the end of the different production cycles. The main wastes are effluents or discharges of water, these are composed by a liquid part and a solid part, which is mostly fecal matter of fish and remains of food not consumed. It is now known that 1m³ of sludge is produced on a wet basis for every ton of fish cultured.

In different places of the world different mechanisms are already used for the reduction of these sludges, one of the most popular options being bioremediation. In Guatemala, aquaculture continues to grow exponentially, but there is still little regulation on environmental liability when handling waste resulting from aquaculture production; Therefore, the present research aims to encourage the use of bio-energizers as a method of reducing sludge in aquaculture.

For the investigation a sample of sludge was taken by means of a pool siphon in the fattening ponds, they were transferred to a collection box, sedimented for 24 hours, decanted to remove excess liquids and the product was passed to Glass bottles, to which were added 500 ml of sediments and 500 ml of water, leaving a control without presence of bio-energizing. Three concentrations were added for the other samples (10 ppm, 5 ppm and 1 ppm), they were sealed so that no oxygen enters the medium. Sludge column reduction data were collected every 48 hours for fifteen days and then the percent reduction per sample was calculated.

A good method of reduction has to generate at least 25% reduction of sludge, as this is a good result given the high production of waste generated today. With the above we can show that a concentration of 10mg / l used in the investigation resulted in a 20 to 30% reduction, with an average of 23.33%, being a Value as expected according to this sludge reduction method, Since the values surpass or approach to 25% reduction.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. ANTECEDENTES | 3 |
| 2.1. Cultivo de tilapia | 3 |
| 2.2. Sistemas de cultivo | 4 |
| 2.3. Ciclos de cultivo | 5 |
| 2.4. Cultivo de tilapia en Guatemala | 6 |
| 2.5. Desechos de la Acuicultura | 7 |
| 2.6. Lodos en acuicultura | 8 |
| 2.7. Producción de lodos en acuicultura | 8 |
| 2.8. Tratamiento de lodos | 9 |
| 3. MARCO TEÓRICO | 10 |
| 3.1. Lodos en acuicultura | 10 |
| 3.2. Composición de lodos | 10 |
| 3.3. Manejo de los lodos | 10 |
| 3.4. Tratamiento por microorganismos eficientes (EM) | 11 |
| 3.5. Digestión anaeróbica | 11 |
| 3.6. Bio-energizante | 11 |
| 3.7. Micro carbono | 12 |
| 3.8. Reducción del volumen de lodo | 12 |
| 3.9. Sub utilización de los lodos | 13 |
| 4. OBJETIVOS | 14 |
| 4.1. Objetivo general | 14 |
| 4.2. Objetivo específico | 14 |

| | |
|--|----|
| 5. HIPÓTESIS | 15 |
| 6. MATERIALES Y MÉTODOS | 16 |
| 6.1. Ubicación geográfica | 16 |
| 6.2. Definición de variable | 17 |
| 6.2.1. Variables independientes | 17 |
| 6.2.2. Variables dependientes | 17 |
| 6.3. Diseño experimental | 17 |
| 6.3.1. Materiales y Métodos | 17 |
| 6.3.2. Modelo estadístico | 20 |
| 6.3.2.1. Análisis de Varianza | 20 |
| 6.3.2.2. Test de la amplitud múltiple de Duncan | 21 |
| 6.3.3. Número de repeticiones | 22 |
| 6.3.4. Tamaño y forma de las unidades experimentales | 22 |
| 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 23 |
| 8. CONCLUSIONES | 29 |
| 9. RECOMENDACIONES | 30 |
| 10. BIBLIOGRAFÍA | 31 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura No. 1. Localización geográfica de la finca La Embaulada. | 16 |
| Figura No. 2. Marcas de escala de agua cada 50 ml en botellas de vidrio. | 18 |
| Figura No. 3. Caja de madera forrado de plástico negro para agricultura | 19 |
| Figura No. 4. Llenado de botellas de vidrio cada 48 horas. | 20 |
| Figura No. 5. Comparación de medias de % de reducción de lodos en la unidad experimental 1 | 24 |
| Figura No. 6. Comparación de medias de % de reducción de lodos en la unidad experimental 2 | 24 |
| Figura No. 7. Comparación de medias de % de reducción de lodos en la unidad experimental 3 | 25 |
| Figura No. 8. Comparación de medias de % de reducción de lodos en la unidad experimental 4 | 25 |
| Figura No. 9. Comparación de medias de % de reducción de lodos en la unidad experimental 5 | 26 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro No. 1. Volumen de reducción de lodos en mililitros a diferentes concentraciones de bio-energizante | 23 |
| Cuadro No. 2. Porcentaje de reducción de lodos a partir del volumen de reducción en mililitros a diferentes concentraciones de bio-energizante | 27 |

1. INTRODUCCIÓN

La cantidad de desechos que se generan a lo largo de las diferentes etapas de los cultivos acuícolas, deben ser tratados de manera sustentable, con tendencia a su aprovechamiento. Existen diferentes mecanismos de reducción de lodos, estos son: mecánicos, químicos, biológicos y actualmente, se utiliza la biorremediación, esta última, es una de las más populares por su efectividad y fácil manejo.

En Guatemala, las producciones acuícolas han tenido un aumento considerable, la implementación de nuevas tecnologías y el buen desempeño de las empresas guatemaltecas de pesca y acuicultura, generaron durante el 2017 un crecimiento en las exportaciones de este sector de un 14,6 por ciento, en comparación al 2016 (Figuroa, 2017), sin embargo, como toda actividad de producción, tienen un impacto de alguna magnitud hacia el medio ambiente, en especial en el recurso hídrico del país, cada vez más se busca ser sustentable en la producción, causando el menor impacto posible. La biorremediación de las aguas en cultivo tiene mayor importancia al buscar una mejora de la calidad del agua, optimizando los cultivos acuícolas y cumpliendo con las regulaciones para el medio ambiente.

Uno de los mecanismos empleados en la biorremediación es la aplicación de bio-energizantes. "La biodegradación es el proceso natural por el cual los microorganismos degradan o alteran moléculas orgánicas transformándolas en moléculas más pequeñas y no tóxicas. Sin embargo, este proceso es muy lento y puede acelerarse introduciendo determinadas bacterias o plantas en los ambientes contaminados. Esta intervención se denomina "biorremediación" o "biocorrección" y se define como el empleo de organismos vivos para eliminar o neutralizar contaminantes del suelo o del agua. En los procesos de biorremediación generalmente se emplean mezclas de microorganismos, aunque algunos se basan en la introducción de cepas definidas de bacterias u hongos. Actualmente se están desarrollando microorganismos, algas (especialmente cianobacterias o algas azules) y plantas genéticamente modificadas para ser empleadas en biorremediación" (Consejo Argentino para la Información y el desarrollo de la Biotecnología [ArgenBio], 2007).

Un bio-energizante busca estabilizar el agua, manteniendo una buena calidad a partir de la digestión bacteriana anaeróbica, dando como resultado la mejora en las condiciones de cultivo, haciendo más eficientes los sistemas, en el caso particular de ésta investigación, sin consumo de oxígeno, ya que se realizó de forma anaeróbica.

La presente investigación pretende la evaluación del método de la degradación de lodos In Vitro, utilizando un bio-energizante orgánico en efluentes de un cultivo de engorde de tilapia en la finca La Embaulada, San Lucas, Sacatepéquez. Estos métodos son una alternativa para apoyar en la mejora de la calidad de agua en las descargas de la actividad acuícola a nivel nacional.

2. ANTECEDENTES

2.1. Cultivo de tilapia

El cultivo de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) data de más de 4000 años atrás en Egipto. Mientras que la tilapia, principalmente *Oreochromis mossambicus*, se distribuyó ampliamente durante las décadas de 1940 y 1950, la diseminación de la tilapia del Nilo, más apreciada, ocurrió durante la década de 1960 y hasta los años 80s. La tilapia del Nilo procedente de Japón se introdujo a Tailandia en 1965, y de ahí se envió a Filipinas. La tilapia del Nilo procedente de Costa de Marfil se introdujo a Brasil en 1971 y de Brasil también se envió a Estados Unidos en 1974. En 1978, la tilapia del Nilo se introdujo a China, actualmente el principal productor mundial y que continuamente ha producido más de la mitad de la producción global de 1992 a 2003 (Food and Agriculture Organization [FAO], 2005).

La producción acuícola mundial de especies comestibles aumentó a una tasa media anual del 6,2 % en el período 2000 al 2012, esto es, de 32.4 millones a 66.6 millones de toneladas. El ritmo de crecimiento fue relativamente mayor en África con 11.7 % y en América Latina y el Caribe con 10 %. Con exclusión de China, la producción en el resto de Asia, aumentó en un 8.2 % anual. La tasa de crecimiento anual en China, el mayor productor acuícola, registró un promedio del 5.5 % en 2000-2012 (FAO, 2014).

La cría de tilapias, en particular la tilapia del Nilo y algunas otras especies de cíclidos, es el tipo de acuicultura más extendida del mundo. La tilapia es cultivada en 135 países y territorios en todos los continentes (FAO, 2014). Se sabe que para el año 2010 la producción mundial de tilapia es de 3.2 millones de toneladas. Donde posee el cuarto lugar en la preferencia de los consumidores, gracias a su carne blanca, firme y de disponibilidad continua, su consumo per cápita se incrementó ligeramente de 0.55 kg en 2009 hasta aproximadamente 0.59 kg en 2010 (Castillo, 2010).

2.2. Sistemas de cultivo

Hay muchas posibilidades de agrupar y definir los diversos tipos de producción en la acuicultura continental, pero desde el punto de vista de la sostenibilidad, los métodos de producción clasificados en relación a la gestión del agua pueden ser la base más razonable para una descripción. Los estanques de tierra (sin flujo de agua); Los estanques de peces típicos son recintos de tierra en un entorno natural como en su propio ambiente alimentándose de presas vivas que crecen en el propio estanque gracias a la luz solar y a los nutrientes disponibles en el agua. Este sistema semiestático (no hay flujo constante de agua) produce peces en régimen extensivo o "semi-intensivo" y sin empleo de productos químicos.

En el sistemas en circuito abierto (de flujo constante) el agua pasa a través de las instalaciones una sola vez para suministrar oxígeno a los peces y es descargada al ambiente. Cuando hay más de una explotación en el mismo curso del río, es de interés común que la calidad del efluente sea buena ya que pasa a ser el influente de la siguiente explotación. Por esta razón el agua se toma del río, se distribuye a través de la explotación y se trata el efluente antes de ser liberado al cauce. Todo el agua es renovada en la explotación al menos una vez al día. En los sistemas de recirculación SAR (en circuito cerrado) se tiene por objetivo reducir las necesidades de agua y las emisiones de nutrientes al medio ambiente. En ellas el agua se recicla y reutiliza constantemente gracias a tratamientos mecánicos y biológicos. Entre las principales ventajas destacan el ahorro de agua y energía, el riguroso control de la calidad del agua, su bajo impacto ambiental, los altos niveles de bioseguridad y la facilidad en el control de los residuos en comparación con otros sistemas de producción. Sin embargo dentro de sus desventajas se encuentran sus altos costos de operación y la dificultad de tratar enfermedades. Este sistema no se ha difundido como los anteriores pero se espera que sea el más popular en un futuro próximo.

Por último tenemos la crianza en jaulas, este sistema bien diseñado y gestionado también representan una posibilidad para la acuicultura continental. En algunos cuerpos de agua, la producción intensiva o extensiva de peces en jaulas puede estar en equilibrado con el uso sostenible de los recursos naturales (SustainAqua, 2009).

2.3. Ciclos de cultivo

Criadero

La reproducción se desarrolla en estanques. La proporción de siembra entre hembras y machos es de 3:1. La densidad de reproductores varía entre 0,2 - 0,3 kg/m². A los reproductores se les suministran alimentos de alta calidad con una proporción de 0,5-2 por ciento de su peso corporal, diariamente.

Las crías que ya nadan, se concentran en una esquina del estanque o del tanque y se pueden recolectar con redes de malla finas. La captura de crías puede iniciarse a los 10 ó 15 días de su siembra. Se efectúan múltiples cosechas por un máximo de 8 a 10 semanas, antes de drenar el estanque y terminar la cosecha. Los estanques deben drenarse y reciclarse cada uno o dos meses, ya que las crías que se escapan son muy voraces y depredan sobre las crías de los futuros desoves. Alternativamente los tanques o estanques se cosechan completamente a las 2 ó 4 semanas del período de desove. Una vez cosechados los organismos pueden llevar un proceso de reversión sexual o creación de cultivos denominados súper machos, los cuales ya desovan con un 90% machos del total de la población. Estos son llevados luego a estanques con densidades de 20-25 peces/m², con un peso promedio de 10g (FAO, 2005).

Engorde

Cultivo Extensivo

Este tipo de cultivo se desarrolla por lo general con muy baja inversión, en donde se espera proporcionar a la población un alimento de bajo costo, tampoco es importante la talla final del pez en tanto alcance un tamaño comercial; y mucho menos el tipo de alimento utilizado en su producción. En este sistema se utilizan densidades de 0,5 a 3,0 peces por metro cuadrado, dependiendo del tamaño del pez que se quiere comercializar se utilizan estanques de 1 - 5 hectáreas con poco recambio (Alicorp, 2006).

Sistemas semi - Intensivos

En este sistema de producción se utilizan estanques de 0,5 a 3 hectáreas con recambios de agua del 15 al 30% diario de todo el volumen del estanque y se utilizan aireadores dependiendo del grado de intensidad de siembra del sistema (se utilizan desde 2 HP a 12 HP por hectárea). Las densidades utilizadas son muy variables y se encuentran en el rango de 4 a 15 peces /m² obteniendo una producción en el rango de 20 a 50 toneladas / hectárea / año con factores de conversión de 1,6 a 1,9 para peces de 700 gramos (FAO, 2005).

Cultivo Intensivos

En este sistema se utilizan estanques pequeños de 500 a 1000 metros cuadrados con alto recambio de agua (recambios de 250 a 600 litros / segundo). Las densidades de siembra de los peces se encuentran en el rango de 80 – 150 peces/metro cúbico, lo que equivale a cargas máximas de hasta 90 kg/m². Para el éxito del cultivo bajo en este sistema es sumamente importante la cantidad y calidad del agua suministrada a los peces; así como el cuidado y atención que se le debe proporcionar al sistema (Alicorp, 2006).

2.4. Cultivo de tilapia en Guatemala

En Guatemala se inicia en el año de 1954, el programa de piscicultura a través de la asistencia técnica del Dr. ShuYenLin y bajo la colaboración de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). En el año 1990, el gobierno contaba con cuatro estaciones piscícolas, éstas son: Bárcenas en el municipio de Villa Nueva, con 23 estanques en una superficie total de 18,787 metros cuadrados, Las Ninfas en el municipio de Amatitlán departamento de Guatemala, con 21 estanques y 0.9 hectáreas; San Jerónimo en Baja Verapaz, con 13 estanques para un espejo de agua de 1.4 hectáreas; y estación de La Fragua en Zacapa, diseñada para 26 estanques con 3.6 hectáreas (CHALÍ, 2006). Estas estaciones eran para la producción y distribución de alevines de carpas, tilapias y guapotes que los usuarios cultivaban y engordaban en sus estanques familiares y, además el Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (CEMA) de la Universidad de San Carlos, con propósitos docentes en la

Estación piscícola de Zunil. Este cultivo tuvo sus inicios principalmente con programas de fomento piscícola que impulsados por el gobierno guatemalteco y con apoyo del extranjero, principalmente Estados Unidos y Japón. Estos programas desarrollaron con mayor énfasis en cultivos extensivos, y sistemas integrados de producción (JD Global - European Consulting, 2006).

"En Guatemala, se ha incrementado la siembra y producción de la tilapia, aunque la etapa de producción y procesamiento industrial aún está en fases muy incipientes" (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación [MAGA], 2014).

"El mercado de la tilapia en la UE permite que Guatemala y sus productores continúen trabajando y creciendo para atender la demanda de este mercado. Para poder competir de forma adecuada, es necesario contar con un producto adecuado, y para ello es necesario que los productores sigan trabajando en fortalecer las cadenas de producción, especialmente en lo que se refiere a la parte industrial, sin lo cual no hay posibilidad de filetear y congelar adecuadamente el producto. Las posibilidades de crecer con tilapias de Guatemala en el mercado de Centroamérica se consideran bajas, debido a que en prácticamente todos los países hay producción local, y no se recomienda realizar esfuerzos adicionales por incursionar en este mercado" (MAGA, 2014).

2.5. Desechos de la Acuicultura

Los diferentes sistemas de cultivo finalizan en el momento de cosechar los productos acuícolas, sin embargo, se dejan diferentes desechos durante o al finalizar el cultivo. "Los desechos van desde diversos tipos de plásticos y estructuras metálicas, hasta alimento no ingerido, productos de excreción, materias fecales, químicos, microorganismos, parásitos y animales asilvestrados. Del total del alimento suministrado para la producción un 25% de los nutrientes son asimilados por éstos, mientras que un 75% a 80% queda en el ambiente de una forma u otra. Una parte importante de estos desechos va al fondo y otro porcentaje queda en la columna de agua y son descartados en las descargas que se realizan al sistema. Este aporte y concentración local de nutrientes tiene múltiples efectos ambientales" (Buschmann, 2002).

2.6. Lodos en acuicultura

Los lodos generados diariamente en acuicultura, corresponden principalmente a material fecal de los peces y restos de alimento no consumido. Normalmente tienen muy altos contenidos de agua, con bajos niveles de materia seca, pueden contener hasta un 12%, pero siendo más frecuentes los valores menores al 1% (Hepp, 2014). Además, pueden contener microorganismos, parásitos y residuos químicos. La acumulación de materia orgánica depende de varios factores, entre otros de la especie en cultivo, la calidad del alimento, el tipo de manejo, las corrientes y la profundidad (ECO-ING, 2009).

2.7. Producción de lodos en acuicultura

La producción de lodos en acuicultura se describe como: " Residuos de un proceso de producción, que involucra organismos vivos y está sujeto por lo tanto a una serie de factores que inciden sobre su composición final. Los lodos son el resultado de la producción de heces de los peces, además de los restos de alimento no consumido, y de otros elementos utilizados eventualmente en el proceso (sal, cal, productos farmacológicos, etc.). Desde el punto de vista nutricional, sin embargo, las fecas y restos de alimento serán indudablemente los determinantes principales de la composición final del lodo" (Hepp, Vidal, Barattini, y Carvajal, s. f.). En el caso de peces anádromos "cada esmolt u organismo en transición de agua dulce a agua de mar (etapa final de crianza en agua dulce), pesa aproximadamente 100 gramos, se obtiene un factor de entre 1,4 a 1,8 toneladas de lodo (1 ton = aprox. 1m³ en base húmeda) por cada tonelada de pez" (ECO-ING, 2009). Esto factor multiplicado por los 3.7 millones de toneladas de tilapia producidas en el año 2014, con un crecimiento promedio por año del 7.2%, lo cual deja como resultado 3.7 millones de m³ de lodo producto del cultivo de tilapia (FAO, 2014).

2.8. Tratamiento de lodos

El tema de biodegradación de lodos se ha discutido ampliamente por siglos, pero en la década de 1980 y 1990 del siglo pasado, se describen los procesos de sistemas anaeróbicos de degradación de lodos por dos etapas acidogénicas y metanogénicas (Lopez, 1989). Se realizan pruebas con digestión anaerobia de lodos aportando minerales y otros componentes que incentivan el crecimiento de bacterias que ayudan al proceso de degradación en plantas de tratamiento, dando como resultado un importante ahorro por reuso y menor contaminación del agua, en la ciudad de Huelva, España (Sanchez, 1998).

En el año 2012 se presentaron en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, México, los efectos de tratamientos de lodos a partir de digestión anaerobia y calidad microbiológica de lodos residuales teniendo una disminución del 15 a 25% (Vigeras, 2013), en el mismo año se realiza en la Universidad de Nariño, una investigación sobre los impactos de los lodos en la calidad del agua en una producción acuícola de trucha obteniendo resultados de un 25% de reducción (Fernandez, 2012).

En Chile se corre una investigación sobre la biodegradación de lodos resultantes de ecopiscicultura a partir de digestión anaeróbica en un biodigestor industrial teniendo una reducción del 15% (Ibañez, 2013). Del año 2009 a al año 2015 la empresa Probiotic Solution lanza al mercado tras seis años de investigaciones un producto a base de micro carbono que encapsula y regula residuos de actividades microbianas y genera un proceso orgánico de depuración y saneamiento de aguas para planta de tratamiento sin necesidad de aplicar un biodigestor en el proceso (Vidhyalakshmi, 2009).

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Lodos en acuicultura

Se le conoce como lodos en acuicultura a la acumulación de material fecal de los peces y restos de alimento no consumido en el fondo de estanques de cultivo. Además, pueden contener microorganismos, parásitos y residuos químicos a raíz de las actividades del cultivo como alimentación alternativa, incidencias de fuentes de agua o aplicación de medicamentos. (Arboleda, 2006).

3.2. Composición de lodos

La humedad de los lodos puede describirse de dos maneras. Los lodos crudos, decantados y/o sin filtrar en su mayoría tienen humedades arriba del 90%, siendo casi un líquido, y los lodos deshidratados presentan porcentajes entre un 52,5% y 75 % de humedad. La conductividad va de 3.150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hasta 24.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En comparación, el agua del mar tiene alrededor de 50.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ECO-ING, 2009). Los lodos presentan una elevada cantidad de materia orgánica, entre 55 a 89%, los cuales contienen macro-nutrientes tales como 450 mg/l para N amoniacal, 550 y 1100 mg/l de fósforo disponible, 65 hasta 486 mg/l de K libre. También posee micronutrientes y metales pesados tales como “arsénico (0,14 a 4,27 mg/l); cadmio (0,22 a 3,22 mg/l); cobre (4 a 31,3 mg/l), mercurio (todos <1mg/l); molibdeno, en varios casos, bajo los límites de detección <1,5 mg/l; níquel (entre 0,02 a 23,7 mg/l); plomo (uno 3,93 mg/l, el resto bajo el límite de detección); selenio (0,39 a 3,18 mg/l); zinc (en rangos de 6,05 a 1.121 mg/l)” (ECO-ING, 2009), aproximadamente, lo cual dependerá del entorno ambiental en el que dichos lodos se encuentren.

3.3. Manejo de los lodos

A nivel ambiental toda explotación de peces debe disponer de un área para la recolección de los sedimentos que genera, en donde se almacenen por intervalos de tiempo variables, de manera que permita y facilite los procesos normales de degradación orgánica (González,

2012). Se recomienda la verificación en las áreas de oxidación de los lodos, donde se asegure que las descargas al medio ambiente se encuentren en rangos adecuados y no se comprometa ningún cuerpo de agua natural, suelo o vida silvestre.

Se recomienda descargar solamente la porción final del efluente dentro del estanque o laguna de sedimentación. La mayor carga de nutrientes se localiza entre 5 a 20% de la columna de agua que se encuentra en el fondo. Una práctica puede ser que el 25% del efluente del estanque se deje por 48 horas en sedimentación antes de ser enviado al medio ambiente, siempre y cuando la cantidad de sólidos en suspensión no exceda los 30 mg/l (González, 2012).

3.4. Tratamiento por microorganismos eficientes (EM)

La base fundamental del EM esta cimentado en dos tipos de microorganismos, los cimógenos y los sintetizantes. La materia orgánica se reduce a un estado soluble por la descomposición citogénica y las bacterias sintetizantes produciendo antioxidantes Estos microorganismos en reposo se produce la autólisis que trae consigo que las bacterias desaparezcan. Los microorganismos presentes en el EM se autodestruyen y se consumen entre sí (Armas, 2005).

3.5. Digestión anaeróbica

En el proceso anaeróbico, los microorganismos dependen del oxígeno que se encuentra en la materia orgánica u otros componentes inorgánicos para sus procesos metabólicos donde se tiene como resultado alcoholes, aldehídos, componentes ácidos, CO₂ y energía (Lopez, 1989).

Aldehídos + alcoholes + ácidos + bacterias específicas -----> CO₂* NH₃ + N₂+ P+ H₂O

3.6. Bio-energizante

Un bio-energizante es una dilución de ácidos orgánicos, sistemas biológicos naturales, nutrientes y sistemas de energía que proporciona un estímulo hacia bacterias anaerobias para

aumentar la cantidad y la calidad de la bio-remediación y mantener el equilibrio en el ecosistema, independientemente del contenido que se utilice, dando equilibrio al ecosistema microbiano natural de las aguas residuales. Además, reduce los niveles de lodo y olor en plantas de tratamiento de aguas, lagunas, estanques. Reduce los problemas de grasa en las líneas de alcantarillado y estaciones de bombeo (Bio Huma Netics, 2015).

3.7. Micro-carbono

Consiste en moléculas muy pequeñas ricas en carbono. Estas moléculas ultra finas ayudan a reducir de manera eficiente los biosólidos, mejorar sedimentabilidad y promueven el oxígeno disuelto. Esta alta tasa de eficiencia le permite mejorar sus resultados, reducción de sus insumos y puede conducir a un bajo costo (Vidhyalakshmi, 2009).

3.8. Reducción del volumen de lodo

El objetivo principal en el tratamiento de los lodos de plantas potabilizadoras es producir un lodo con una concentración de sólidos que pueda facilitar su manejo y disposición. Para reducir el volumen total, existen diferentes sistemas: mecánicos, oxidación, remediación.

El método mecánico se utiliza sistemas de sifoneo, dragado o cualquier medio mecánico que retire los lodos acumulados en fondo. Estos mecanismos suelen ser de bajo costo pero de manejo complicado y generalmente tiene impactos en suelos o cuerpos de agua.

El método de oxidación se da a base de oxidar materiales orgánicos de los lodos a partir de la acción bacteriana aeróbica, este es el proceso natural que sigue la descomposición, sin embargo este método suele tener altos costos en aplicar mecanismos de aireación que aporten suficiente oxígeno disuelto para el proceso de descomposición.

Los métodos de biorremediación buscan procesos naturales para retornar los parámetros alterados por actividades productivas o antropogénicas en recursos naturales. La reducción de lodos por medio de la biorremediación propicia un sistema adecuado de degradación de

materia orgánica, La concentración mínima de reducción normalmente aceptable puede ser de un 20% independiente de los periodos de evaluación o metodología. Estos métodos son amigables con el medio ambiente y de fácil manejo, aunque su costo puede ser variable dependiendo de las condiciones medioambientales o escala de los sistemas (Fernandez, 2012).

3.9. Sub utilización de los lodos

Los lodos en la actualidad se reutilizan como abono en su gran parte, del 60 al 80% de los lodos restantes en la producción industrial son usados en actividades agrícolas por su alto contenido de nitrógeno, fósforo y potasio. Estos lodos son agregados a los suelos del cultivo donde se terminan de degradar, aportando nutrientes libres para productos agrícolas. Aun no se tienen datos sobre los residuos que no pueden ser sintetizados por las plantas ni aprovechados por el suelo, sin embargo, su aporte como fertilizante natural es positivo (Armas, 2005).

En la actualidad se mencionan formas alternas de generar energía limpia, es posible en diferentes actividades como la acuicultura que genera altas cargas de desechos orgánicos. Estos desechos son introducidos dentro de un biodigestor, que al momento de tener las cargas de materia suficientes en descomposición generan gas natural que son utilizados para poder alimentar fuentes de energía que cubran necesidades dentro de un sistema de producción integrado tales como iluminación o un cuarto de bombas (ECO-ING, 2009).

Los lodos productos de la acuicultura contienen altas cantidades de materia orgánica que puede ser utilizada en un biodigestor de gas natural que puede generar una interesante cantidad de energía limpia para las necesidades de bombeo, iluminación o planta eléctrica en fincas donde la disponibilidad de energía eléctrica es limitado o nulo.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

- Determinar la concentración más eficiente de bio-energizante que reduzca el volumen de lodos en el menor tiempo y mayor cantidad.

4.2. Objetivo específico

- Evaluar tres concentraciones de bio-energizante contra un testigo para la reducción del volumen de lodos in vitro de los efluentes, producto de los sistemas de cultivo de tilapia en menor tiempo y mayor cantidad.

5. HIPÓTESIS

Comparar la efectividad de los bio – energizantes en la descomposición de los lodos bajo ambiente controlado, respecto a su degradación normal (testigo) en la finca La Embaulada, San Lucas, Sacatepéquez.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Ubicación geográfica

La investigación se realizó en la finca La Embaulada que se localiza en la aldea la Embaulada, en la Zona 3 de San Lucas, Sacatepéquez. Cuenta con camino asfaltado por carretera de San Lucas, Sacatepéquez hacia Bárcenas y camino adoquinado desde la entrada de la aldea hacia el resto de la comunidad.

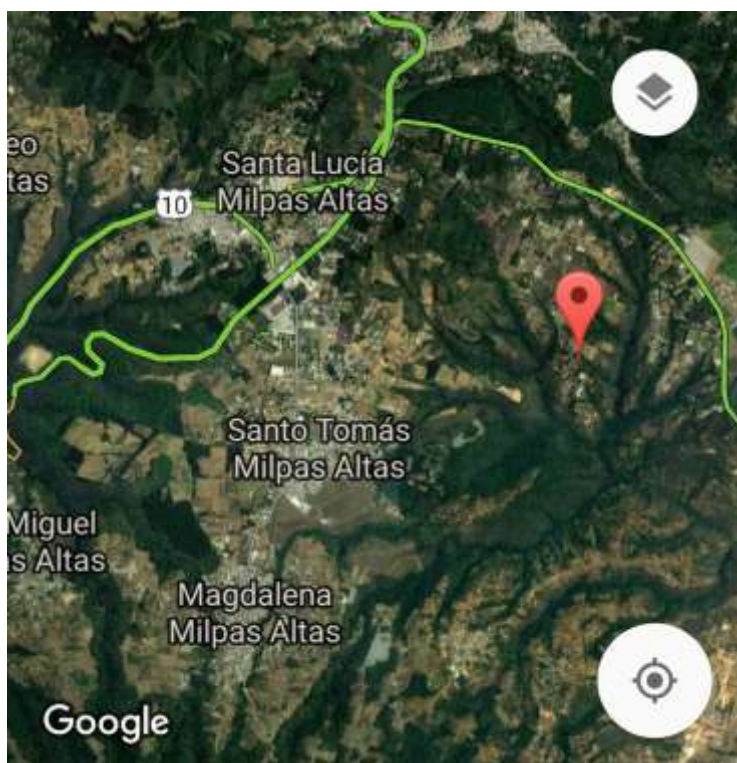


Figura No. 1. Localización geográfica de la finca La Embaulada
(Trabajo de campo, 2015)

La altura promedio de San Lucas Sacatepéquez se encuentra a 2100 m.s.n.m. En esta región existen climas que varían de templado a frío, con temperaturas que oscilan entre los 13 y 25°C (Pérez, 2010). De acuerdo a la clasificación de zonas de vida de Guatemala basado en el Sistema Holdridge, el municipio de San Lucas Sacatepéquez se localiza en la zona de vida Bosque Húmedo Montano

Bajo, el patrón de lluvias varía entre 1,057 y 1,588 mm, con un promedio de precipitación pluvial de 1,344 mm (Lima, 2009).

La finca posee 6 estanques acuícolas de 50 m³ de agua, se maneja un sistema semi – intensivo, de 35 peces por m³, se les suministra alimento balanceado y se mantienen aguas verdes. Los estanques son sifoneados y se le realizan recambios de agua una vez por semana. Para la presente investigación se utilizaron dos de los seis estanques, en los cuales ya se encontraban los organismos en engorde.

6.2. Definición de variable

6.2.1. Variables independientes

- Volumen inicial (ml): Volumen completo de 1000 ml con el cual se inicia cada corrida en las unidades experimentales.
- Volumen Final (ml): Volumen en ml con el que finaliza cada corrida en las unidades experimentales luego de 48 horas.

6.2.2. Variables dependientes

- Promedio (X): Valor promedio del volumen de reducción de lodos en ml.
- % de reducción de lodos (%): valor en % del volumen de reducción de lodos resultante.

6.3. Diseño experimental

6.3.1. Materiales y Métodos

Materiales:

- Sifón de piscina, con manguera de 1”

- 2 Caja plástica de 35 litros de capacidad
- 20 Botella de vidrio de 1 litro,
- Cajas de madera forradas de plástico negro
- Embudo
- Probeta de 1 litro
- Marcador indeleble
- Bio – energizante
- Jeringa de 1 ml
- Papel y lápiz de grafito
- Computadora.
- Cámara fotográfica

El tratamiento utilizado es el de espesamiento, acondicionamiento y acidificación para reducir el volumen del lodo generado en plantas potabilizadoras mediante el empleo de una planta piloto de tratamiento de agua y lodos. (Sandoval L, 2009). Se marcaron las botellas por medio de un llenado cada 50 ml, se repitió el proceso 10 veces por botella y se marcó con tinta indeleble.



Figura No. 2. Marcas de escala de agua cada 50 ml en botellas de vidrio
(Trabajo de campo, 2015)

Se colocaron en cajas de madera forradas de plástico negro que no permite que ingrese luz a las botellas dentro de los invernaderos.



Figura No. 3. Caja de madera forrado de plástico negro para agricultura
(Trabajo de campo, 2015)

Se tomó una muestra de lodos por medio de un sifón de piscina en los tanques de engorde, que pasó a una caja de recolección, se sedimentaron por 24 horas, se decantó para sacar el exceso de líquidos y el producto se pasó a las botellas de vidrio de 1 litro, los cuales se agregaron 500 ml de sedimentos y 500 ml de agua de los estanques en cada recipientes de vidrio, dejando un testigo sin presencia de bio energizante y se agregaron tres concentraciones para las demás muestras, las cuales son: 10 ppm, 5 ppm y 1 ppm. Se taparon con una tapa de rosca que no permite el ingreso de oxígeno al medio.



Figura No. 4. Llenado de botellas de vidrio cada 48 horas (Trabajo de campo, 2015).

Se realizó la toma de datos de reducción de la columna de lodos cada 48 horas por quince días y luego se calcula el porcentaje de reducción por muestra.

6.3.2. Modelo estadístico

6.3.2.1. Análisis de Varianza

Se utilizó el análisis de varianza ANOVA de una variable para comparar las diferentes medias en las diferentes unidades experimentales, lo que permitió contrastar la hipótesis de que los promedios de la variable dependiente respecto una variable independiente con más de dos grupos o niveles son iguales, frente la alternativa de que al menos el promedio en un grupo es diferente a los demás. En este caso se registró el volumen promedio de reducción de lodos, en concentraciones diferentes para poder determinar si se tiene una diferencia significativa en su

efecto. Se presentó una diferencia significativa, por lo que se aplicó una prueba de amplitud múltiple de Duncan a los volúmenes promedios de reducción de lodos.

6.3.2.2. Test de la amplitud múltiple de Duncan

El test, desarrollado por (Duncan,1955) es ampliamente utilizado para comparar pares de medias. Para el test de Duncan, las medias de los tratamientos (con el mismo tamaño de muestras) son colocadas en orden creciente y el error estándar de cada media es determinado por:

$$S_{y_{it}} = \sqrt{\frac{MQ_E}{n}}$$

- S = Error estándar
- MQ = Marca de clase
- n = Media

En el caso de muestras con tamaño diferente, n debe ser cambiado por la media armónica, n_h , de las n_i , quedando con:

$$n_h = \frac{a}{\sum_{i=1}^a \left(\frac{1}{n_i}\right)}$$

En las tablas estadísticas, se presentan los valores de las amplitudes $r(p,f)$ para $p = 1,2,3,\dots, a$. En el que a es el nivel de significancia y f es el número de grados de libertad asociado a la media cuadrática del error.

Un conjunto de $a - 1$ amplitudes de mínima significancia deber ser obtenido, a través de:

$$R_p = r_a(p, f) S_{y_{it}}$$

Las diferencias observadas entre las medias son probadas, comenzando con la mayor versus la menor y luego entonces comparadas con R_a .

Una nueva diferencia entre las medias es calculada, comenzando con la próxima mayor versus la próxima menor, y entonces comparada con R_{a-1} . Si una diferencia observada fuera mayor que la correspondiente amplitud de mínima significancia, R_p , se concluye que el par de medias en cuestión es estadísticamente diferente.

Para evitar contradicción, ninguna diferencia entre un par de medias será considerada significativa, si esas dos medias analizadas estuvieran entre dos medias que no difieran significativamente.

6.3.3. Número de repeticiones

El experimento contó con un testigo y tres tratamientos con cinco repeticiones, dando 20 unidades experimentales.

6.3.4. Tamaño y forma de las unidades experimentales

Estas están conformadas por cuatro embaces de vidrio rectangulares de 1 litro de capacidad con tapa de rosca. Se le colocó una escala cada 50 ml hasta complementar un volumen de 1000 ml. Las botellas de vidrio son colocadas en cajas de madera forradas con plástico negro con dimensiones de 65 x 45 x 25 cm.

El análisis de los datos se realizó por el cálculo del promedio de reducción del volumen de la columna de lodos en cada corrida, luego se aplicó un análisis de significancia por medio de Microsoft Excel Megastat 2013. Cada promedio de volumen de lodos en ml se convirtió a % de reducción como variable respuesta.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los resultados del análisis realizado de los lodos en cuatro estanques de tilapia de la finca La Embaulada, San Lucas, Sacatepéquez. se realizaron 6 réplicas por tratamiento por cada unidad experimental, obteniendo las medias de volúmenes de reducción de lodos por cada concentración evaluada durante la investigación. Se obtuvieron los siguientes resultados del cálculo de la media total, para la concentración de 0 mg/l es 0,00 ml, para la concentración de 1 mg/l es de 50.00 ml, para la concentración 5 mg/l es de 78.33 ml y para la de 10 m/l es de 120.00 ml (Cuadro No. 1).

Cuadro No. 1. Volumen de reducción de lodos en mililitros a diferentes concentraciones de bio – energizante

| | 0 mg/l | 1 mg/l | 5 mg/l | 10 mg / l |
|----------------------|---------|----------|----------|-----------|
| U. Exp. 1 | 0.00 | 50.00 | 83.33 | 125.00 |
| U. Exp. 2 | 0.00 | 50.00 | 83.33 | 125.00 |
| U. Exp. 3 | 0.00 | 50.00 | 83.33 | 125.00 |
| U. Exp. 4 | 0.00 | 50.00 | 75.00 | 116.67 |
| U. Exp. 6 | 0.00 | 50.00 | 66.67 | 108.33 |
| Volumen Prom. X (ml) | 0.00 ml | 50.00 ml | 78.33 ml | 120.00 ml |

Fuente: Trabajo de campo, 2015.

En la unidad experimental 1 tenemos una media de volumen de reacción de 0.00 ml para el testigo, el tratamiento de 1 mg/l tenemos un volumen de 50.00 ml, para el tratamiento de 5 mg/l la reducción fue de 83.33 ml \pm (25.82 ml) y para la concentración de 10 ml/l se tiene una media de 125 ml \pm (27.39 ml) (Figura No. 5).

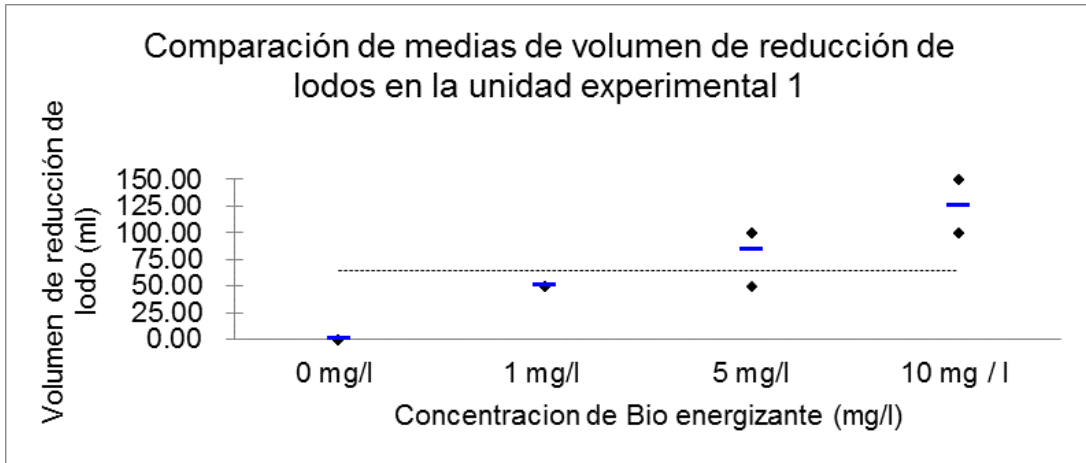


Figura No. 5. Comparación de medias de % de reducción de lodos en la unidad experimental 1 (Trabajo de campo, 2015)

En la unidad experimental 2, para el testigo de 0 mg/l, se tiene un volumen de reducción de 0.0 ml, para la concentraciones de 1 mg/l 50 ml, para 5 mg/l se alcanzó una media de $66.67 \pm (25.82)$ ml) y para la concentración de 10 mg/l se obtuvo $116.67 \pm (25.82)$ ml) (Figura No. 6).

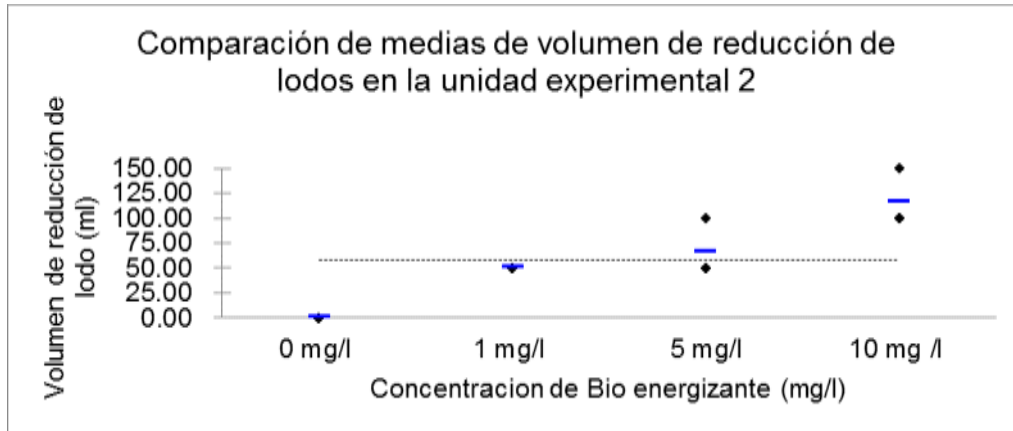


Figura No. 6. Comparación de medias de volumen de reducción de lodos en la unidad experimental 2 (Trabajo de campo, 2015)

En la unidad experimental 3, para el testigo de 0 mg/l, se tiene un volumen de reducción de 0.00 ml, para a concentraciones de 1 mg/l, se tiene una media de 50.00 ml, para 5 mg/l se alcanzó una media de $91.67 \text{ ml} \pm (20.41)$ ml) y para la concentración de 10 mg/l se obtuvo 150

ml cabe mencionar que aquí se encuentra el volumen más altos de reducción de lodos (Figura No. 7).

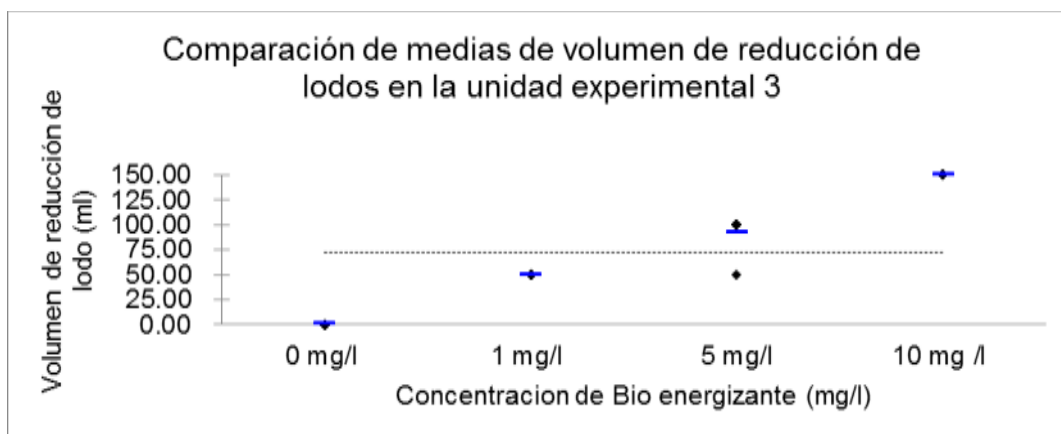


Figura No. 7. Comparación de medias de volumen de reducción de lodos en la unidad experimental 3 (Trabajo de campo, 2015)

En la unidad experimental 4, para el testigo de 0 mg/l, el volumen de reducción fue de 0.00 ml, una media de 50.00 ml para la concentraciones de 1 mg/l, para la concentración de 5 mg/l se alcanzó una media de 66.67 ml \pm (25.82 ml) y para la concentración de 10 mg/l se obtuvo una reducción de 100.00 ml (Figura No. 8).

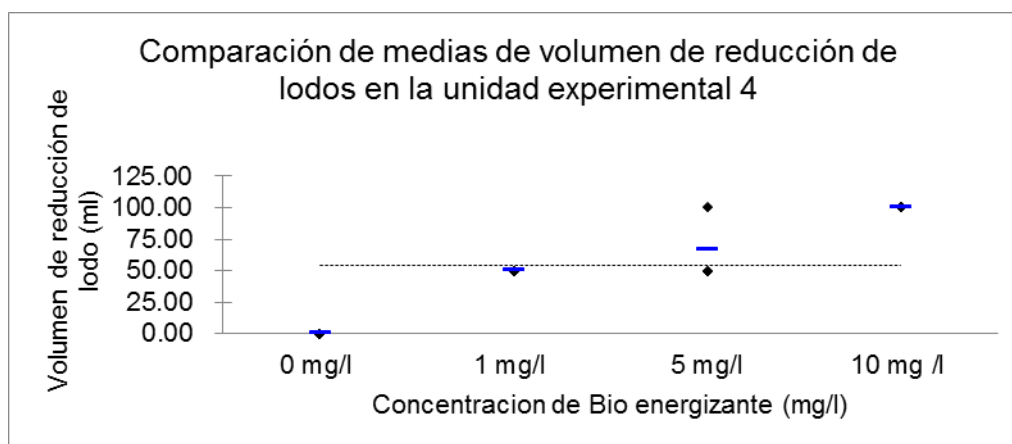


Figura No. 8. Comparación de medias de volumen de reducción de lodos en la unidad experimental 4 (trabajo de campo, 2015)

En la unidad experimental 6, para el testigo de 0 mg/l de bio-energizante, se redujo 0.00 ml, una media de 50.00 ml para la concentraciones de 1 mg/l, para la concentración de 5 mg/l se alcanzó una media de 50.00 ml y para la concentración de 10 mg/l se obtuvo 100.00 ml de reducción (Figura No. 9).

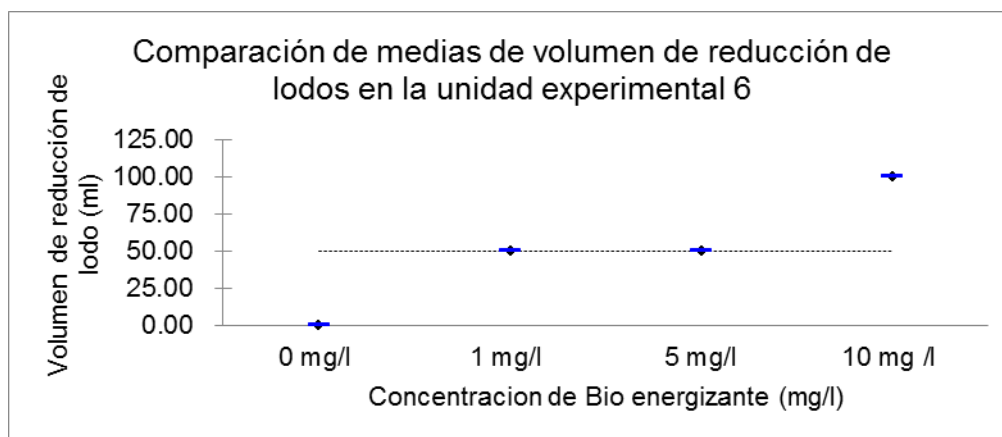


Figura No. 9. Comparación de medias de volumen de reducción de lodos en la unidad experimental 6 (Trabajo de campo, 2015)

La evaluación del porcentaje de reducción de lodos indica que, en concentración de 0 mg/l como testigo, se obtuvo un 0% de reducción, al no tener presencia de bio-energizante no se obtuvo ningún efecto en las diferentes unidades experimentales dentro de los 15 días. Para la concentración de 1 mg/l, se tiene una reducción promedio de 50 ml, dando como resultado un 10% de reducción de lodos. Para la concentración de 5 mg/l de bio-energizante muestran una diferencia significativa en comparación del testigo, pero no muestra una diferencia significativa con la concentración de 1 mg/l, la concentración de 5 mg/l dio una reducción de 78.33 ml siendo un 15.67% de reducción de lodos. La concentración de 10 mg/l dio un volumen promedio de reducción de lodos de 120 ml, dando como resultado un 24% de reducción de lodos, en los resultados se observa que la concentración de 10 mg/l de bio-energizante mostro el porcentaje de reducción más alto (Cuadro No.2).

Cuadro No. 2. Porcentaje de reducción de lodos a partir del volumen de reducción en mililitros a diferentes concentraciones de bio – energizante

| | X (ml) | % reducción |
|-----------|--------|-------------|
| 0 mg/l | 0.00 | 0.00 |
| 1 mg/l | 50.00 | 10.00 |
| 5 mg/l | 78.33 | 15.67 |
| 10 mg / l | 120.00 | 24.00 |

Fuente: Trabajo de campo, 2015

En el estudio anterior se pudo observar que a concentración de 10mg/l dando como resultado una reducción del 20 hasta un 30%, con un valor promedio del 24%, esta aporta la concentración más eficiente de bio-energizante, que propicia las poblaciones de microorganismos eficientes que permite alcanzar la mayor reducción de lodos en menor tiempo en comparación de las concentraciones de 5 mg/l que alcanza un 15.67%, y la menos eficiente de 1 mg/l que llego a reducir un 10% de lodos.

El aumento de concentración del bio-energizante produce un efecto positivo en los porcentajes de reducción de lodos in vitro, sin embargo hay parámetros como el pH y la temperatura que pueden afectar los rendimientos, los cuales explican las diferencias entre las mismas unidades experimentales.

En la actualidad se proyecta que la producción de tilapia será de 4.05 millones de toneladas métrica al año y generar 4. 05 millones de m³ de lodos. En Guatemala se llegaron a producir 9,545 TM de tilapia (DIPESCA, 2015), esto deja a su paso 9,545 m³ de lodo al año. En estudios anteriores, como tratamiento de lodos a partir de digestión anaerobia y calidad microbiológica de lodos residuales en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, en México (Vigeras, 2013),tuvieron un disminución del 15 al 25% y el estudio de la biodegradación de lodos resultantes de ecopiscicultura a partir de digestión anaeróbica en un biodigestor industrial (Ibañez, 2013), teniendo una reducción del 15%. Lo anterior deja en claro que el uso de microorganismos eficientes para la reducción de lodos es un método

efectivo y viable en comparación de métodos mecánicos como sifoneos que pueden ser de menor costo pero menos eficiente e incluyen otras etapas de manejo, o la de un biodigestor de alto costo de funcionamiento (Sandoval, 2009.). Se hace la salvedad que un buen método tiene que generar por lo menos 25% de reducción de lodos (Vigeras, 2013), ya que este sería un resultado adecuado, ante la alta producción de desechos que genera hoy en día, no solo la acuicultura, sino las diferentes actividades industriales. Esto soporta que la concentración de 10mg/l alcanza los valores adecuados de reducción de lodos, propiciando el crecimiento de microorganismos eficientes.

8. CONCLUSIONES

1. De las tres concentraciones evaluadas durante la investigación, se determina que la concentración de 10mg/l reduce la mayor cantidad de lodos en menor tiempo, en efluentes de un cultivo de engorde de tilapia, en comparación con las concentraciones de 5 mg/l y 1 mg/l.
2. Para la reducción de los lodos producto del engorde de tilapia utilizando un bio-energizante, la concentración más eficiente es de 10 mg/l.

9. RECOMENDACIONES

1. Realizar pruebas microbiológicas y fisicoquímicas a los lodos, para caracterizar la microbiota y compuestos químicos resultantes de los procesos de reducción anaeróbica, que pueden ser útiles en agricultura.
2. Realizar estudios para determinar el comportamiento del pH y la temperatura relacionándolos con el método de bio-energizantes para la reducción de lodos.
3. Generar información de costo y beneficio en comparación con otras alternativas, obteniendo el soporte documental que respalde si es un método rentable para la actividad acuícola.
4. Replicar este estudio del uso de bio - energizantes para la reducción de lodos en fincas de producción de tilapia a nivel nacional.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Alicorp. (2006). *Manual de crianza de tilapia*. Ecuador: Alicorp; Nicovita.
2. Arboleda, D. (2006). Consideraciones ambientales en la evaluación de proyectos acuícolas[en línea]. *Revista Electrónica de Veterinaria REDVET*, vol VII (no.09), página 1 a la 3. Recuperado marzo 10, 2015, de <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n090906/090623.pdf>
3. Armas, M. (2005). *Utilización de lodos provenientes de la crianza intensiva de salmonídeos en una rotación de maíz forrajero – avena / ballica, en la provincia de Osorno*. Tesis Ing. Agrónomo. Chile: Universidad Austral de Chile.
4. Bio Huma Netics. (2013). *BIO energizer® reducción de lodos* [en línea]. Recuperado mayo 15, 2015, de <http://probiotic.com/probiotic-solutions-environmental-remediation-products/bio-energizer/>
5. Buschmann, A. (2002). *De pescadores a cultivadores del mar: Salmonicultura en Chile*. Chile: Análisis de Políticas Públicas, Fundación Terram.
6. Castillo, L. (2010). *Acuacultivo del Valle: Situación del mercado de la tilapia año 2010* [en línea]. Recuperado marzo 10, 2015, http://acuacultivosdelvalle.mex.tl/68011_produccion-mundial-de-tilapia-2012.html
7. Consejo Argentino para la Información y el desarrollo de la Biotecnología [ArgenBio]. (2007). *La biorremediación* [en línea]. Recuperado febrero 1, 2018, de <http://www.argenbio.org/index.php?action=novedades¬e=202>
8. Chalí, G. (2006). *Estrategias promocionales para el desarrollo comercial de una finca dedicada a la reproducción de peces y moluscos (acuicultura) en el departamento de Chimaltenango” -caso práctico-*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala [USAC].
9. ECO-ING. (2009). *Guía de aplicación de lodos de piscicultura en suelos*. Chile : Servicio Agrícola y Ganadero.



10. Figueroa, D. (2017). *Sector de pesca y acuicultura de Guatemala cierra el 2017 con un crecimiento de 14,6 por ciento* [en línea]. Recuperado enero 20, 2018, de <http://villacanales.com/sector-de-pesca-y-acuicultura-de-guatemala-cierra-el-2017-con-un-crecimiento-de-146-por-ciento/>
11. Food and Agriculture Organization [FAO]. (2014). *El estado mundial de la pesca y acuicultura -SOFIA-*. Roma: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO.
12. FAO. (2005). *Programa de información de especies acuáticas Oreochromis niloticus (Linnaeus, 1758)*. Roma: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO .
13. Fernandez, J. (2012). *Disolución de los lodos piscícolas y su efecto en la calidad del agua*. Chile: Universidad de Nariño.
14. González, J. (2012). *Uso y manejo de sedimentos provenientes de piscicultura como base para el manejo sostenible*. Bogota: Universidad de La Salle.
15. Hepp, C. (2014). *Acuicultura y generación de lodos en pisciculturas (fase de agua dulce)*. Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).
16. Hepp, C., Vidal, F., Barattini, P., y Carvajal, A. (s. f.). *Caracterización de lodos de piscicultura con potencial para el sector agropecuario* [en línea]. Recuperado enero 20, 2018, de <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40077.pdf>
17. Ibañez, R. (2013). *Estudio de prefactibilidad para la implementación a nivel industrial de un sistema para el tratamiento anaerobio mesofílico de lodos producidos por ecopiscicultura Río Blanco*. Puerto Mount: Universidad Austral de Chile.
18. JD Global - European Consulting. (2006). *Estudio de mercado de tilapia en el departamento de Guatemala*. Guatemala: Comisión de Recursos Hidrobiológicos de AGEXPRONT.
19. Lopez, J. (1989). *Digestión anaerobia de lodos de depuradora: Etapas controlantes y cinética del proceso*. España, Alicante: Universidad de Alicante.



20. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación [MAGA]. (2014). *Perfil comercial tilapia* [en línea]. Recuperado enero 20, 2018, de <http://web.maga.gob.gt/download/Perfil%20tilapia.pdf>
21. Pérez Agustín, A. J. (2010). *Escuela aldea La Embaulada, San Lucas Sacatepéquez*. Tesis Arquitecto. Guatemala: USAC.
22. Sandoval, L. (2009). *Estudiopiloto para reducir el volumen de lodos de plantas potabilizadoras*. Intituto Mexicano de Tecnologia del Agua. Morales, Mexico.
23. Sanchez, M. (1998). *Descripción de una experiencia para la reducción de la contaminación por nitratos mediante la aplicación de lodos de depuradora y zeolita cubana al cultivo del fresón*. Huelva, España: Grupo de Investigación de Recursos y Calidad del Agua de la Escuela Politécnica Rábida en la Universidad de Huelva.
24. Sustain Aqua. (2009). *Manual de acuicultura sostenible: Tecnología y producción de los principales tipos de acuicultura continental en Europa*. Madrid: orgnización de productores piscicultores –OPP-.
25. Valencia, M. (1976). *Curso intensivo sobre diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales para países en desarrollo: Digestión aeróbica*. Lima, Perú.: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
26. Vidhyalakshmi, R. (2009). *Encapsulation: The ruture of probiotics - A review*. Tamilnadu, India: Indian Institute of Crop Processing Technology.
27. Vigeras, C. (2013). *Efecto del pretratamiento sobre la biodegradabilidad anaerobia y calidad microbiológica de lodos residuales secundarios*. México: División de Ingeniería Química y Bioquímica; Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.

