

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
ESCUELA DE ZOOTECNIA**



**EFFECTO DE LA MICRO ALGA (*Chlorella vulgaris*) EN EL
TRATAMIENTO DE EFLUENTES PROVENIENTES DE LA
EXPLOTACIÓN BOVINA Y PORCINA UBICADOS EN LA
GRANJA EXPERIMENTAL DE LA FACULTAD DE
MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

LUIS ALBERTO ALARCÓN RECINOS

Licenciado en Zootecnia

GUATEMALA, FEBRERO DE 2018

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
ESCUELA DE ZOOTECNIA**



**EFEECTO DE LA MICRO ALGA (*Chlorella vulgaris*) EN EL
TRATAMIENTO DE EFLUENTES PROVENIENTES DE LA
EXPLOTACIÓN BOVINA Y PORCINA UBICADOS EN LA GRANJA
EXPERIMENTAL DE LA FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA
Y ZOOTECNIA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD

POR

LUIS ALBERTO ALARCÓN RECINOS

Al conferírsele el título profesional de

Zootecnista

En el grado de Licenciado

GUATEMALA, FEBRERO DE 2018

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
JUNTA DIRECTIVA**

DECANO:	M.A. Gustavo Enrique Taracena Gil
SECRETARIO:	Dr. Hugo René Pérez Noriega
VOCAL I:	M.Sc. Juan José Prem González
VOCAL II:	Lic. Zoot. Edgar Amílcar García Pimentel
VOCAL III:	Lic. Zoot. Alex Rafael Salazar Melgar
VOCAL IV:	Br. Brenda Lissette Chávez López
VOCAL V:	Br. Javier Augusto Castro Vásquez

ASESORES

M.Sc. SERGIO ANTONIO HERNÁNDEZ DE LA ROCA.

DRA. M.V. JACQUELINE ESCOBAR MUÑOZ.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con lo establecido por los reglamentos y normas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración el trabajo de graduación titulado:

EFFECTO DE LA MICRO ALGA (*Chlorella vulgaris*) EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES PROVENIENTES DE LA EXPLOTACIÓN BOVINA Y PORCINA UBICADOS EN LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

Que fuera aprobado por la Honorable Junta Directiva de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Como requisito previo a optar al título de:

LICENCIADO EN ZOOTECNIA

ACTO QUE DEDICO A:

- A DIOS:** Gracias por la vida, por las bendiciones y las pruebas que me permitieron llegar hasta este momento.
- A MIS PADRES:** Mirna Elizabeth Recinos Palma y Julio Cesar Alarcón Noguera, por su cariño apoyo y consejos durante toda mi formación académica los cuales me llevaron al triunfo de este día.
- A MIS HERMANOS:** Julio Renato Alarcón Recinos y Plinio Alejandro Alarcón Recinos, por su apoyo y amistad que como hermanos me ayudaron a conseguir esta meta de estudios.
- A TODA MI FAMILIA:** Familia paterna y materna que gracias a su apoyo logre alcanzar este triunfo académico y que me permitirá alcanzar muchos más.
- A MIS AMIGOS:** Fernando Yaquian, Eduardo de León, Gabriela de Paz, y Marcell Ortiz por las experiencias vividas durante mi formación universitaria y a todos aquellos que me apoyaron a culminar esta etapa de mi formación académica.

AGRADECIMIENTOS

**A LA TRICENTENARIA
UNIVERSIDAD DE SAN
CARLOS DE GUATEMALA:**

haberme formado profesionalmente y prepararme para servir y ayudar al pueblo de Guatemala.

Especialmente a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia por
A MIS CATEDRÁTICOS:

Por haberme ofrecido sus conocimientos y algunos su amistad.

A MIS ASESORES:

M.Sc. Sergio Antonio Hernández de la Roca y Dra. M.V. Jacqueline Escobar Muñoz por su tiempo, dedicación, amabilidad y paciencia invertida en este estudio. A los dos gracias por ayudarme en esta etapa de mi carrera.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. HIPOTESIS	2
III. OBJETIVOS	3
3.1 General	3
3.2 Específicos.....	3
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	4
4.1 Problemática de las aguas residuales.....	4
4.2 Directrices sanitarias de la OMS para el agua de riego destinada a la agricultura.....	4
4.3 Reglamento de las descargas y reusó de aguas residuales y de la disposición de lodos.	6
4.4 Explotación bovina láctea granja experimental FMVZ - USAC.	7
4.5 Explotación porcina granja experimental FMVZ - USAC.....	7
4.6 Características de la microalga <i>C. vulgaris</i>	8
4.6.1 Composición fisicoquímica	9
4.7 Aplicaciones de la microalga <i>C. vulgaris</i>	10
4.7.1 Tratamiento de aguas negras.....	10
4.7.2 Complemento dietético	10
4.7.3 En la industria.....	11
4.7.4 Acuicultura.....	11
V. MATERIALES Y MÉTODOS	12
5.1 Materiales.....	12
5.2 Métodos	12
5.2.1 Toma de la muestra.....	12
5.2.2 Obtención de la microalga <i>C. vulgaris</i>	13
5.2.3 Análisis del agua para su categorización	13
5.2.4 Aplicación del tratamiento.....	14
5.2.5 Recuento de Unidades Formadoras de Colonias	14
5.2.6 Preparación de diluciones decimales	15
5.2.7 Recuento bacteriológico del agua	16
5.3 Análisis de pH	16
5.3 Método estadístico	16

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
6.1 Tratamiento de efluentes de la explotación Bovina	17
6.1.2 Análisis bacteriológico.....	17
6.1.3 Análisis físico químico del agua.....	18
6.1.4 Análisis estadístico	20
6.2 Tratamiento de efluentes de la explotación porcina	21
6.2.1 Análisis bacteriológico	21
6.2.2 Análisis físico químico del agua.....	22
6.2.3 Análisis estadístico	24
6.3 Análisis de pH.....	25
VII. CONCLUSIONES	27
VIII.RECOMENDACIONES	28
IX. RESUMEN	29
SUMMARY	30
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
X. ANEXOS	33

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.

Directrices recomendadas sobre la calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas en agricultura5

Cuadro 2.

Parámetros y límites máximos permisibles para el reúso de aguas residuales.6

Cuadro 3.

Explotación bovina láctea granja experimental FMVZ.USAC.....7

Cuadro 4.

Explotación porcina granja experimental FMVZ.USAC.....8

Cuadro 5.

Metodología para la toma y transporte de muestras de agua. 12

Cuadro 6.

Resultados iniciales y finales del análisis bacteriológico para la identificación de coliformes totales de las muestras provenientes de la explotación bovina. 17

Cuadro 7.

Resultados iniciales y finales del análisis bacteriológico para la identificación de *E. coli* de las muestras provenientes de la explotación bovina..... 18

Cuadro 8.

Resultados iniciales y finales del análisis físico químico del agua, muestras provenientes de la explotación bovina. 19

Cuadro 9.

Resultados de la prueba estadística de Chi cuadrado de los datos presentados en el cuadro 6.20

Cuadro 10.

Resultados para la prueba estadística de Chi cuadrado de los datos presentados en el cuadro 7.20

Cuadro 11.

Resultados iniciales y finales del análisis bacteriológico para la identificación de coliformes totales de las muestras provenientes de la explotación porcina.21

Cuadro 12.

Resultados iniciales y finales del análisis bacteriológico para la identificación de *E. coli* de las muestras provenientes de la explotación porcina.22

Cuadro 13.

Resultados iniciales y finales del análisis físico químico del agua, muestras provenientes de la explotación porcina.23

Cuadro 14.

Resultados para la prueba estadística de Chi cuadrado de los datos presentados en el cuadro 11.24

Cuadro 15.

Resultados para la prueba estadística de Chi cuadrado de los datos presentados en el cuadro 12.24

Cuadro 16.

Mediciones de pH de muestras con efluente de la explotación porcina y bovina..26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	
Observación microscópica 4x100 <i>C. vulgaris</i>	9
Figura 2.	
Preparación de diluciones decimales.....	14
Figura 3.	
Preparación de diluciones decimales.....	15
Figura 4.	
Tabla para determinar clase de agua según Riverside	19
Figura 5.	
Tabla para determinar clase de agua según Riverside	23
Figura 6.	
Representación del comportamiento del pH durante el tratamiento de efluentes de la explotación porcina y bovina con la microalga <i>C. vulgaris</i>	26

I. INTRODUCCIÓN

Los efluentes de las explotaciones animales, producen importantes efectos negativos en los componentes ambientales que rodean la producción, desde la sobre utilización del agua hasta ayudar a la proliferación de enfermedades ocasionadas por el crecimiento microbiano, debido a los residuos biológicos que estas portan (Ramos Castellanos, 2010).

Las explotaciones porcinas y bovinas en Guatemala suman más de 500,000 instalaciones, en las cuales se utiliza el agua como medio para remover los desechos generados por los animales. Escasas producciones utilizan un manejo adecuado de sus efluentes para mitigar el impacto que estas generan al medio ambiente. En el departamento de Microbiología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) se realizaron pruebas microbiológicas de los efluentes generados por las instalaciones bovinas y porcinas de la granja experimental, se obtuvo 10,000 y 1, 200,000 unidades formadoras de colonia por mililitro (UFC/ml) respectivamente. Como una solución alterna a la problemática se utilizaron microalgas para el tratamiento de efluentes, ya que estos microorganismos se han usado como purificadores de aguas residuales que remueven los nitratos, fosfatos, y otros elementos presentes en gran cantidad. Con la utilización de estos microorganismos en piscinas de oxidación o estanques se pueden obtener dos productos: proteína vegetal, aguas tratadas y recuperadas, evitando la contaminación y eutrofización activada por la ozonización del agua lo que permite utilizar el agua para el lavado de instalaciones u otros procesos en los que no se requiera una calidad del agua estricta (Vargas, 2001).

II. HIPÓTESIS

Si existe efecto en el tratamiento de efluentes provenientes de la explotación bovina y porcina mediante el uso de la microalga *Chlorella vulgaris* en la estabilización del pH y la reducción de contaminantes biológicos en unidades formadoras de colonias UFC/mL.

III. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General:

- Generar información concerniente al uso de la microalga *C. vulgaris* en el tratamiento de efluentes provenientes de la explotación bovina y porcina de la granja experimental de la FMVZ – USAC.

3.2 Objetivos Específicos:

- Medir los niveles microbiológicos en unidades formadoras de colonias (UFC/mL) para determinar la reducción de *E. coli* y coliformes totales de los efluentes mediante un análisis microbiológico antes y después del tratamiento.
- Determinar si las muestras de los efluentes antes y después del tratamiento son aptas para su reutilización en el riego para pastos y otros cultivos mediante un análisis físico químico del agua.
- Determinar la estabilización del pH, mediante su análisis antes, durante y después del tratamiento.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Problemática de las aguas residuales

Según estudios realizados por (Miyares, 2003; España, 2010). La primera causa de mortalidad general del país corresponde a enfermedades infecciosas intestinales, que representan entre 15 y 20% de todas las causas de muerte en el país y el 30 % de la mortalidad infantil. Aplicar las aguas residuales en el suelo implica usar sus constituyentes fertilizantes, sin embargo, la dispersión de aguas residuales con fines agrícolas presenta muchos peligros sanitarios, ya que en muchos lugares del mundo se han aplicado efluentes no tratados directamente al suelo para irrigación. Gracias a su efecto como fertilizante son valiosas en regiones semiáridas, que no pueden abastecerse con otras fuentes.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció directrices sanitarias para establecer si una masa de agua es apta o no para riego según sus parámetros microbiológicos.

4.2 Directrices sanitarias de la OMS para el agua de riego destinada a la agricultura

La eliminación de agentes patógenos es el principal objetivo del tratamiento de aguas residuales para aprovechamiento. Las directrices sobre la calidad de las aguas residuales y las normas para aprovechamiento frecuentemente se expresan según el máximo número permisible de bacterias coliformes fecales. Puesto que no existe duda sobre el origen fecal de las aguas residuales, se supone que estos microorganismos se pueden emplear como indicadores de patogenicidad y que existe una relación entre las concentraciones de microorganismos patógenos y las de indicadores de patogenicidad (OMS, 2016).

En la práctica, los coliformes fecales pueden emplearse como indicadores razonablemente fiables de los agentes patógenos bacterianos, ya que por lo

general sus características de supervivencia en el medio ambiente y su índice de eliminación instantánea o paulatina en los procesos de tratamiento son similares. Basándose en las pruebas epidemiológicas existentes, se recomienda utilizar la directriz descrita en el cuadro 1. Sobre la calidad bacteriológica de una media geométrica de 1.000 coliformes fecales por cada 100 ml para riego sin restricciones de todos los cultivos (OMS, 2016).

Cuadro 1. Directrices recomendadas sobre la calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas en agricultura

Condición de aprovechamiento	Grupo expuesto	Nematodos intestinales	Coliformes fecales	Tratamiento (Para lograr la calidad microbiológica exigida)
A) Riego de cultivos que comúnmente se consumen crudos, campo de deporte, parques públicos	Trabajador Consumidor Publico	(Media aritmética n? de huevo por litro) 1	(Media geométrica N? por 100 ml) 1,000	Serie de estanques de estabilización que permiten lograr la calidad microbiológica indicada o tratamiento equivalente
B) Riego de cultivos de cereales industriales y forrajeros, praderas y arboles	Trabajador	<1	No se recomienda ninguna norma	Retención en estanques de estabilización por 8 a 10 días eliminación equivalente de helmintos y coliformes fecales
C) Cuando ni los trabajadores ni el público están expuestos	Ninguno	No se aplica	No se aplica	Tratamiento previo, pero no menos que sedimentación primaria.

Organización Mundial de la Salud, 2016.

En Guatemala se ha dictado el acuerdo gubernativo No. 236-2006 dentro de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente donde se estableció el reglamento de descargas y reúso de aguas residuales y disposición de lodos.

4.3 Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.

El artículo 34 del acuerdo gubernativo No. 236-2006 categoriza en cuatro tipos el reuso que se le puede dar al agua dependiendo de sus parámetros microbiológicos siendo los siguientes:

- Tipo I: Reuso para riego agrícola en general.
- Tipo II: Reuso para cultivos comestibles.
- Tipo III: Reuso para acuicultura.
- Tipo IV: Reuso para pastos y otros cultivos.
- Tipo V: Reuso recreativo.

El artículo 35 dicta los parámetros y límites máximos permisibles para el reuso de aguas residuales los cuales deben de cumplir con los descritos en el cuadro 2.

Cuadro 2. Parámetros y límites máximos permisibles para el reuso de aguas residuales.

Tipo de uso	Demanda bioquímica de oxígeno, miligramos por litro	Coliformes fecales, número más probable por cien mililitros
Tipo I	No aplica	No aplica
Tipo II	No aplica	$< 2 \times 10^2$
Tipo III	200	No aplica
Tipo IV	No aplica	$< 1 \times 10^3$
Tipo V	200	$< 1 \times 10^3$

Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

En Guatemala las actividades pecuarias como la explotación bovina láctea y porcina generan una gran cantidad de aguas residuales debido a los procesos de lavado de equipo e instalaciones. El agua es utilizada para remover excretas de los animales, al salir del sistema son descargadas en ríos, lagos, suelo, o tuberías de drenaje público (Acuerdo Gubernativo No. 236-2006).

4.4 Explotación bovina láctea granja experimental FMVZ - USAC.

Estas instalaciones son utilizadas para la docencia universitaria en ellas se realiza ordeño y se cuenta con una sala para la preparación de sub-productos lácteos para su comercialización. En dichas instalaciones se realizan lavados de piso maquinaria y equipo, las características de la explotación necesarias para la investigación se muestran en el Cuadro 3 (M.Sc. Hernández, comunicación personal, 01 de marzo de 2017).

Cuadro 3. Explotación bovina láctea granja experimental FMVZ.USAC.

ÍNDICES ZOOTECNICOS	Total
Animales en producción	
Raza	Jersey
Ordeños / semana	14
Lavados de instalaciones / semanal	14
Lt / agua usada para lavados / semanal	3876.92

Fuente: Inventario de la unidad febrero 2017, FMVZ. USAC.

4.5 Explotación porcina granja experimental FMVZ - USAC.

Estas instalaciones son utilizadas para la docencia universitaria, en ellas se lleva a cabo el ciclo completo de la producción porcina con la finalidad de comercializar lechones destetados, cerdos para destace que luego son procesados para la elaboración de embutidos y otros sub productos de origen animal, las áreas de producción son las siguientes:

- Gestación
- Maternidad
- Engorde
- Área de verracos
- Reemplazos

En dichas instalaciones se realizan lavados de piso, maquinaria y equipo, las características de la explotación necesarias para la investigación se muestran en el cuadro 4 (Lic. Ruano, comunicación personal, 01 de marzo de 2017).

Cuadro 4. Explotación porcina granja experimental FMVZ.USAC.

ÍNDICES ZOOTECNICOS	Total
Animales en producción	41
Lavados de instalaciones / semanal	14
L / agua usada para lavados / semanal	7,753.85
Raza	Dallan Newsham C-40 TYBOR Newsham / TYBOR Dallan / TYBOR

Fuente: Inventario de la unidad febrero 2017, FMVZ. USAC.

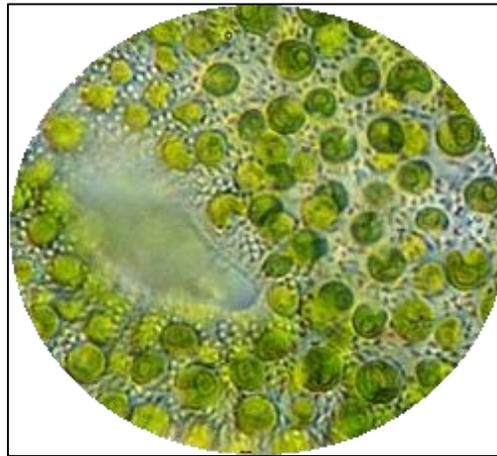
Aproximadamente un 22% de la población de cerdos nacional, es producido en empresas semi-tecnificadas, en las cuales existen controles sanitarios y zootécnicos, se elabora una dieta y nutrición balanceada, las instalaciones cuentan con los servicios requeridos para el manejo adecuado del mismo. Este tipo de empresas cuenta con un número de trabajadores que varía entre 5 y 15 aproximadamente. Existen alternativas naturales para el tratamiento de efluentes generados por las explotaciones agropecuarias una de ellas es el uso de microalgas que gracias a su interacción con las propiedades de su medio es capaz de disminuir la carga microbiológica, estabilizar el pH y reducir concentraciones de elementos pesados contenidos en las masas de agua (Rosales & Chávez, 2013).

4.6 Características de la microalga *C. vulgaris*

Es un alga verde unicelular perteneciente al reino protista. Tiene forma esférica como se logra observar en la figura 1, su diámetro es de 2 a 10 μm , no posee flagelo y se encuentra presente en la mayoría de los cuerpos de agua dulce. La *C. vulgaris* conocida popularmente como Clorela contiene los pigmentos

verdes fotosintetizadores clorofila a y b en su cloroplasto. Mediante la fotosíntesis se multiplica rápidamente, requiriendo sólo luz solar, dióxido de carbono, agua y pequeñas cantidades de minerales. Para su cultivo se utiliza además la urea, la cal, el fósforo y las mieles finales del proceso azucarero (Bastias, 2011).

Figura 1. Observación microscópica objetivo 4x100 *C. vulgaris*.



Fuente: VladiDamian, 2013

4.6.1 Composición fisicoquímica

La microalga *C. vulgaris* es un microorganismo que contiene vitamina A en su compuesto alfa-caroteno y beta-caroteno, también cuenta con las vitaminas C, D, E y K, lo que la convierte en un antioxidante poderoso. Cuenta con componentes que ayudan a mantener el cerebro y el cuerpo sano en los cuales se encuentran la tiamina (Vitamina B1), el riboflavina (Vitamina B2), la piridoxina (Vitamina B6), niacina, el ácido fólico y la Vitamina B12, a su vez contiene minerales que ayudan a mejorar la circulación sanguínea dentro de estos se encuentra el fósforo, calcio, zinc, hierro y magnesio. Esta microalga contiene Inositol el cual es alimento por excelencia de las bacterias probióticas presentes en el organismo humano el cual ayuda en la digestión de los alientos, sin mencionar los ácidos grasos Omega 3, Omega 6 y los ácidos nucleicos imprescindibles para construir ADN y ARN (Ibáñez & Herrero, 2017).

4.7 Aplicaciones de la microalga *C. vulgaris*

4.7.1 Tratamiento de aguas negras

Se han tratado aguas de desecho en base a microalgas, utilizadas como purificadora de aguas residuales que remueve los nitratos, fosfatos, y otros elementos presentes en gran cantidad. En piscinas de oxidación o estanques este microorganismo ayuda a evitar la contaminación y eutrofización activada por la ozonización del agua lo cual permite reutilizar el agua para limpieza o también para riego agrícola. En Israel se aprovechan las aguas de las costas para producción de microalgas como *Spirulina sp.* o *Scenedesmus sp.*, tratando de implementar métodos menos costosos y eficientes para el tratamiento de aguas de desecho industriales y domésticas (Ramos Castellanos, 2010).

4.7.2 Complemento dietético

Entre sus aplicaciones están el desarrollo de un complemento dietético basado en la *C. vulgaris* con propiedades antioxidantes y probióticas. Como ventajas principales resalta que previene el daño celular y aumenta el número de bacterias benéficas a lo largo del tracto digestivo y los intestinos cuando se ingiere. Además es capaz de aliviar los efectos secundarios del tratamiento de radiación contra el cáncer, reducir la presión arterial, la colitis, el estreñimiento, la Enfermedad de Crohn y las úlceras (Abarca & Vivanco, 2014).

La clorela tomó un gran auge en la década de los cuarenta debido a su alta proporción de proteína y otros nutrientes esenciales para el ser humano. La característica más reconocida es su eficiencia fotosintética muy comparable con otros cultivos altamente eficientes. Además cuando es secada contiene cerca de 45% de proteína, 20% de grasas, 20% de carbohidratos, 5% de fibras, 10% de minerales y vitaminas (Abarca & Vivanco, 2014).

En la actualidad varios vendedores de suplementos dietarios y medicina alternativa comercializan la clorela como agente quelante destinado a eliminar los metales pesados que se acumulan en el cuerpo. Aunque no existe evidencia científica que avale tales aplicaciones (Sentes, 2014).

4.7.3 En la industria

El uso de la *C. vulgaris* muestra ventajas para la obtención de combustible y como un agente colorante de alimentos naturales. Debido a que las algas crecen rápidamente en los lugares con luz con un mínimo de nutrientes, se pueden producir grandes cantidades de clorela, la cual es flamable una vez seca. Otra propiedad de la *C. vulgaris* es su capacidad para imitar la acción de los ácidos grasos, la cual permite que sea utilizada como un medio para la adición de colorantes naturales, tal es el caso del aceite en otros alimentos. La potencialidad para la producción industrial de biocombustible líquido se origina a partir de la especie *Chlorella protothecoides*. Investigadores de la Universidad Tsinghua en Pekín extrajeron una gran cantidad de aceite del cultivo de esta alga en fermentadores, transformado con posterioridad en un biodiesel de alto poder calorífico (Sentes, 2014).

4.7.4 Acuicultura

La cría de micro-crustáceos, moluscos y peces, como consumidores de plancton, requiere procesos de reproducción y cría artificial a gran escala y por lo tanto es de gran interés tener plantas pilotos de producción de las cianobacterias para la alimentación de los primeros estados larvales. Se mantiene en el medio una alta productividad y estos tapetes biológicos constituirían una óptima calidad para el agua, acumulando el oxígeno transfiriendo sustancias metabólicas producidas por los organismos en cultivo (Castelló Orvay, 1993).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Materiales

- 14 frascos de vidrio 750 ml.
- 2.1 g de cultivo de microalga *C. vulgaris*.
- Tela blanca para cosechar la microalga.
- Potenciómetro o tiras de papel pH.
- 28 cajas de Petri.
- 140 tubos de ensayo.
- Botellas plásticas de 500 ml.
- Equipo para el análisis espectrofotómetro de succión atómica

5.2 Métodos

5.2.1 Toma de la muestra

Las muestras fueron tomadas de la fosa de captación para efluentes generados en las instalaciones de docencia práctica del módulo de bovinos de leche y porcinos de la granja experimental FMVZ - USAC. Este procedimiento está descrito en el cuadro 5, el mismo fue utilizado para la toma y transporte de las muestras post-tratamiento.

Cuadro 5. Metodología para la toma y transporte de muestras de agua.

Orden	Procedimiento
1	Homogenización del contenido de la fosa mediante el uso de una pala o vara.
2	Depositar 250 ml de la muestra en un recipiente estéril con tapadera.
3	Identificar la muestra con su respectiva ubicación.
4	Transportar al laboratorio evitando que el recipiente entre en contacto con la luz del sol.

Manual de laboratorio de Microbiología general FMVZ. USAC, 2014.

5.2.2 Obtención de la microalga *C. vulgaris*.

Para llevar a cabo el experimento se requirió 2.1 g de cultivo de la microalga la cual se obtuvo del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (CEMA) de la USAC. En dicho centro de estudio la microalga se produce con niveles constantes de O₂, N y P con la finalidad de proporcionar el medio óptimo para el desarrollo del cultivo (Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, 2000).

5.2.3 Análisis del agua para su categorización

El volumen de las muestras tomadas fueron de 500 ml para cada uno de los efluentes a evaluar, las muestras fueron analizadas en el Laboratorio para el análisis de suelo y agua en la Facultad de Agronomía de la USAC, mediante análisis de agua por espectrofotometría para evaluar si los efluentes eran aptos para riego agrícola pre y post-tratamiento (Manual de practicas de laboratorio para el analisis de suelos y agua, 2015).

Pruebas de laboratorio físico-químicas:

- C.E (Conductividad Eléctrica).
- RAS (Relación de sodio absorbido).
- Determinación de calcio, magnesio, sodio, potasio, cobre, cinc, hierro y manganeso.

Según los datos obtenidos de las muestras después del tratamiento se procedió a su clasificación según USDA (en inglés, United States Department of Agriculture), descritos en (Rhoades, 1971), para determinar si eran aptas para su reutilización en el riego agrícola.

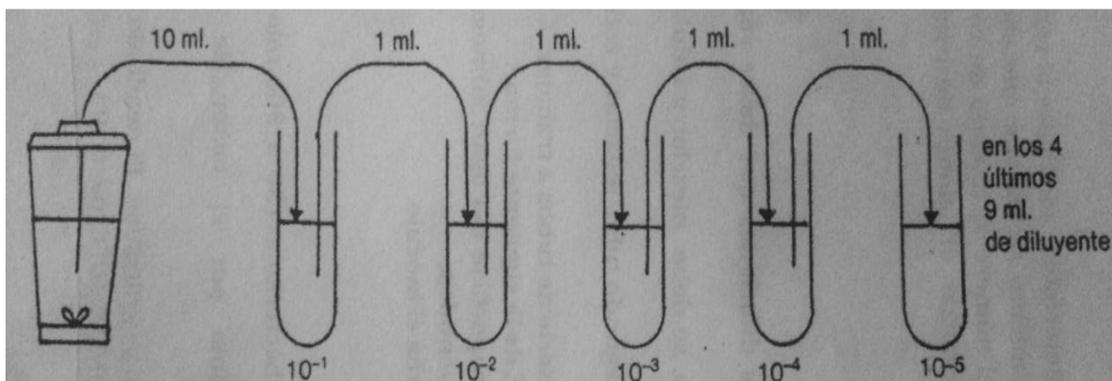
5.2.4 Aplicación del tratamiento

El volumen total las muestras fue de 3.5 litros distribuidos en 14 frascos de vidrio con 250 ml siendo 7 frascos estériles para cada tratamiento, a cada una de las muestras se le aplicó 0.15 g de microalga que se encontraba concentrado en un volumen de 50 ml, el total de microalga utilizado durante el experimento fue de 2.1 g. A los cuales se les realizo un análisis bacteriológico pre y post tratamiento para determinar la carga de UFC/mL (Hernández & Labbé, 2014).

5.2.5 Recuento de Unidades Formadoras de Colonias

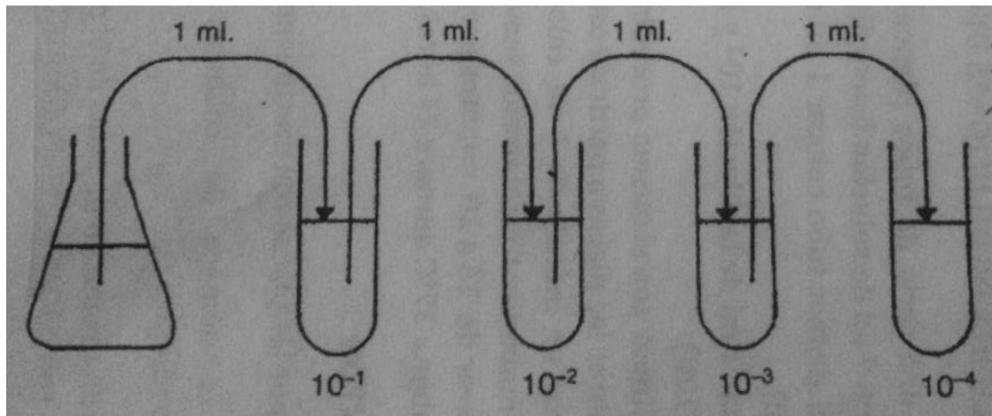
El número de células de una población se puede determinar mediante el recuento de colonias sobre un medio sólido. En este procedimiento se supone que cada célula viable puede formar una colonia. Para obtener el número apropiado de colonias se debe diluir la muestra y lo más frecuente es realizar diluciones decimales de la misma. El procedimiento para la preparación de diluciones decimales se describe en la Figura 2 y 3 (Manual de laboratorio de Microbiología general FMVZ. USAC, 2014).

Figura 2. Preparación de diluciones decimales



Fuente, Manual curso de microbiología general, FMVZ.USAC.

Figura 3. Preparación de diluciones decimales



Fuente, Manual curso de microbiología general, FMVZ.USAC.

5.2.6 Preparación de diluciones decimales

1. En una serie de tubos (dependiendo de las diluciones que desee realizar) se midieron 9 ml de solución fisiológica.
2. En el primer tubo se colocó 1 ml de la muestra, se mezcló y rotulo (10^{-1} o $1 / 10$).
3. Se tomó 1 ml de la dilución 10^{-1} , se agregó al segundo tubo se mezcló y rotulo (10^{-2} o $1 / 100$).
4. Se realizó el mismo procedimiento con la serie de tubos a trabajar.
5. Se sembraron las placas a partir de estas diluciones, de la siguiente forma: Tomando un inóculo de 1 ml, colocándolo sobre la superficie del agar, se homogenizo con movimientos rotatorios suaves en ambos sentidos. Esperamos de 15 a 20 minutos para que se absorba el inóculo, luego se Incubo a $37^{\circ}C$ durante 24 horas (Manual de laboratorio de Microbiología general FMVZ. USAC, 2014).

5.2.7 Recuento bacteriológico del agua

Este procedimiento consistió en seleccionar las placas con crecimiento de colonias bacterianas (30 a 300), Luego se cuenta el número de colonias, multiplicando por el factor de dilución correspondiente, después se realizó un promedio de acuerdo al número de placas utilizadas, el resultado se expresó como UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS (UFC/mL o gr). El recuento de unidades formadoras de colonias se llevó a cabo antes y después del tratamiento, las muestras fueron analizadas en la Universidad de San Carlos de Guatemala por el Departamento de Microbiología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (Manual de laboratorio de Microbiología general FMVZ. USAC, 2014).

5.3 Análisis de pH

Durante el experimento se realizaron mediciones de pH los días lunes, miércoles y viernes, con la finalidad de determinar si el tratamiento influía o no en la estabilización del pH de las muestras dando como resultado los datos representados en el cuadro 18.

5.4 Método estadístico

Para determinar diferencias estadísticas entre las concentraciones de UFC antes y después del tratamiento de los efluentes se utilizó la prueba de Chi cuadrado. Para determinar si las concentraciones finales cumplían con los parámetros establecidos en el acuerdo gubernativo No. 236-2006. Para el análisis de los datos se utilizó el software Infostat versión libre.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Tratamiento de efluentes de la explotación Bovina

6.1.1 Análisis bacteriológico

Los resultados de los análisis se describen en el cuadro 6 y 7 los cuales indicaron un recuento inicial de bacterias coliformes con un promedio de 196,857 UFC/ml y un promedio final de 271 UFC/ml por arriba de la cantidad permitida para su reutilización en el riego para pastos y otros cultivos la cual es de 10 UFC/mL descrita en el acuerdo gubernativo No. 236-2006, mientras que los recuentos iniciales de *E. coli* promediaron 108,571 UFC/mL el cual después del tratamiento demostró una reducción del 100 % de UFC/mL alcanzando la cantidad permitida para su reutilización. Según los estudios realizados por (Moronta, Mora, & Morales, 2006) se puede aludir la reducción de patógenos a la actividad metabólica de la microalga *C. vulgaris* ya que este microorganismo compite con las bacterias patógenas por los gases y minerales suspendidos en los efluentes, actuando de forma bacteriostática en las bacterias de *E. coli* y coliformes totales.

Cuadro 6 Resultados iniciales y finales del análisis bacteriológico para la identificación de coliformes totales de las muestras provenientes de la explotación bovina.

Recuento Bacteriano UFC/mL				
Repetición	Indicador	Inicio	Final	% Reducción
1	Coliformes totales	320,000	0	100
2	Coliformes totales	290,000	0	100
3	Coliformes totales	170,000	0	100
4	Coliformes totales	210,000	0	100
5	Coliformes totales	160,000	1,000	99.38
6	Coliformes totales	28,000	400	98.57
7	Coliformes totales	200,000	500	99.75
Promedio		196,857	271	100

Cuadro 7 Resultados iniciales y finales del análisis bacteriológico para la identificación de *E. coli* de las muestras provenientes de la explotación bovina.

Recuento Bacteriano UFC/mL				
Repetición	Indicador	Inicio	Final	% Reducción
1	<i>E. coli</i>	180,000	0	100
2	<i>E. coli</i>	120,000	0	100
3	<i>E. coli</i>	100,000	0	100
4	<i>E. coli</i>	120,000	0	100
5	<i>E. coli</i>	100,000	0	100
6	<i>E. coli</i>	20,000	0	100
7	<i>E. coli</i>	120,000	0	100
Promedio		108,571	0	100

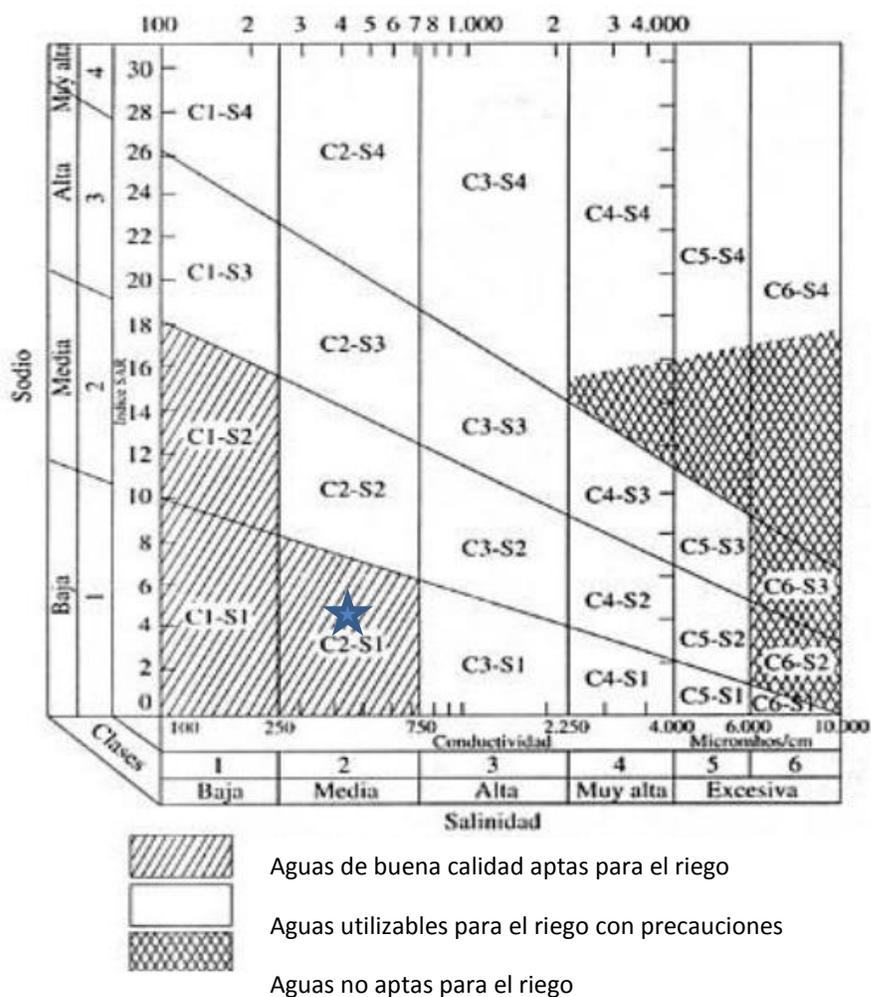
6.1.2 Análisis físico químico del agua

Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1954), los resultados descritos en el cuadro 8 de las muestras iniciales se clasificaron como C2 (aguas de mediana salinidad) cuya C.E. (conductividad eléctrica) varía entre 250 a 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y S1 (aguas de baja sodicidad o bajo contenido de sodio) cuyo RAS (relación de sodio absorbido) varía de 0 a 10, como se logra observar las muestras analizadas después de finalizar el tratamiento mantuvieron su clasificación C2S1 con las mismas variaciones de C.E. (conductividad eléctrica) y RAS (relación de sodio absorbido). Según las normas Riverside figura 4 la muestra del efluente después del tratamiento se clasifica como aguas de buena calidad aptas para el riego, estos resultados se obtuvieron gracias a la actividad de la microalga *C. vulgaris* ya que estos microorganismos ayudaron a fijar en su pared celular los elementos que se encuentran suspendidos en los efluentes tales como Ca, Mg, Na, K, Cu, Zn, Fe y Mn que en grandes cantidades son considerados como contaminantes para el suelo y para la vida vegetal (Rhoades, 1971).

Cuadro 8 Resultados iniciales y finales del análisis físico químico del agua, muestras provenientes de la explotación bovina.

Análisis físico químico del Agua												
Etapa	pH	mS / cm C.E.	Meq/litro				ppm				RAS	Clase
			Ca	Mg	Na	K	Cu	Zn	Fe	Mn		
Inicio	7.8	612	1.07	0.73	3.48	0.95	0.1	0.1	2	0.2	3.66	C2S1
Final	8.5	173	1.57	1.17	1.43	0.56	0	0	0.1	0.1	1.22	C2S1

Figura 4. Tabla para determinar clase de agua según Riverside



6.1.3 Análisis estadístico

Después de llevar a cabo el análisis estadístico los recuentos iniciales y finales de bacterias coliformes y *E. coli* de la explotación bovina se obtuvo un valor $P < 0.0001$ para ambos análisis los cuales se describen en el cuadro 9 y 10. El cual es menor a 0.05 por lo que de acuerdo a la regla de decisión para la prueba de Chi cuadrado de Pearson se aprueba la hipótesis afirmando que si existe efecto en el tratamiento de efluentes provenientes de la explotación bovina mediante la implementación de la microalga *C. vulgaris* para la reducción de coliformes totales y *E. coli*. De acuerdo a los resultados la acción de la microalga para la disminución en la concentración de bacterias es altamente efectivo en masas de agua que promedien las 196,857 UFC/mL de coliformes totales y 108,571 UFC/mL de *E. coli*.

Cuadro 9 Resultados para la prueba estadística de Chi cuadrado de los datos presentados en el cuadro 6.

Chi cuadrado resultado / Coliformes			
Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	7,618.63	6	<0.0001
Chi Cuadrado MV-G2	5,477.67	6	<0.0001
Coef. Conting.Cramer	0.05		
Coef.Conting.Pearson	0.07		

Cuadro 10 Resultados para la prueba estadística de Chi cuadrado de los datos presentados en el cuadro 7.

Chi cuadrado resultado / <i>E. coli</i>			
Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	124,210.53	6	<0.0001
Chi Cuadrado MV-G2	153,495.29	6	<0.0001
Coef. Conting.Cramer	0.40		
Coef.Conting.Pearson	0.37		

6.2 Tratamiento de efluentes de la explotación porcina

6.2.1 Análisis bacteriológico

Como se logra observar en los cuadros 11 y 12 los recuentos bacteriológicos de la explotación porcina indicaron un recuento inicial de bacterias coliformes con un promedio de 538,714 UFC/mL el cual al terminar con el tratamiento promedio 1,340 UFC/mL por arriba de 10 UFC/mL que es la cantidad permitida para poder reutilizar el agua en el riego para pastos y otros cultivos la cual es descrita en el acuerdo gubernativo No. 236-2006, mientras que los recuentos bacteriológicos respectivos a la *E. coli* describen un promedio inicial de 372,00 UFC/mL y un promedio final de 0 UFC/mL dando como resultado una disminución de *E. coli* del 100 %. (Moronta et al., 2006) reportaron que la reducción de patógenos en efluentes tratados con microalgas, se debe a la actividad metabólica ya que estos microorganismos compiten por los gases y minerales suspendidos en los efluentes actuando indirectamente en la inhibición y reducción de las bacterias patógenas.

Cuadro 11 Resultados iniciales y finales del análisis bacteriológico para la identificación de coliformes totales de las muestras provenientes de la explotación porcina.

Recuento Bacteriano UFC/mL				
Repetición	Indicador	Inicio	Final	% Reducción
1	Coliformes totales	900,000	1,200	99.87
2	Coliformes totales	560,000	90	99.98
3	Coliformes totales	155,000	0	100
4	Coliformes totales	141,000	0	100
5	Coliformes totales	690,000	0	100
6	Coliformes totales	1,200,000	8,000	99.33
7	Coliformes totales	125,000	90	99.93
Promedio		538,714	1,340	99.79

Cuadro 12 Resultados iniciales y finales del análisis bacteriológico para la identificación de *E. coli* de las muestras provenientes de la explotación porcina.

Recuento Bacteriano UFC/mL				
Repetición	Indicador	Inicio	Final	% Reducción
C - 1	<i>E. coli</i>	800,000	0	100
C - 2	<i>E. coli</i>	600,000	0	100
C - 3	<i>E. coli</i>	150,000	0	100
C - 4	<i>E. coli</i>	140,000	0	100
C - 5	<i>E. coli</i>	680,000	0	100
C - 6	<i>E. coli</i>	114,000	0	100
C - 7	<i>E. coli</i>	120,000	0	100
Promedio		372,000	0	100

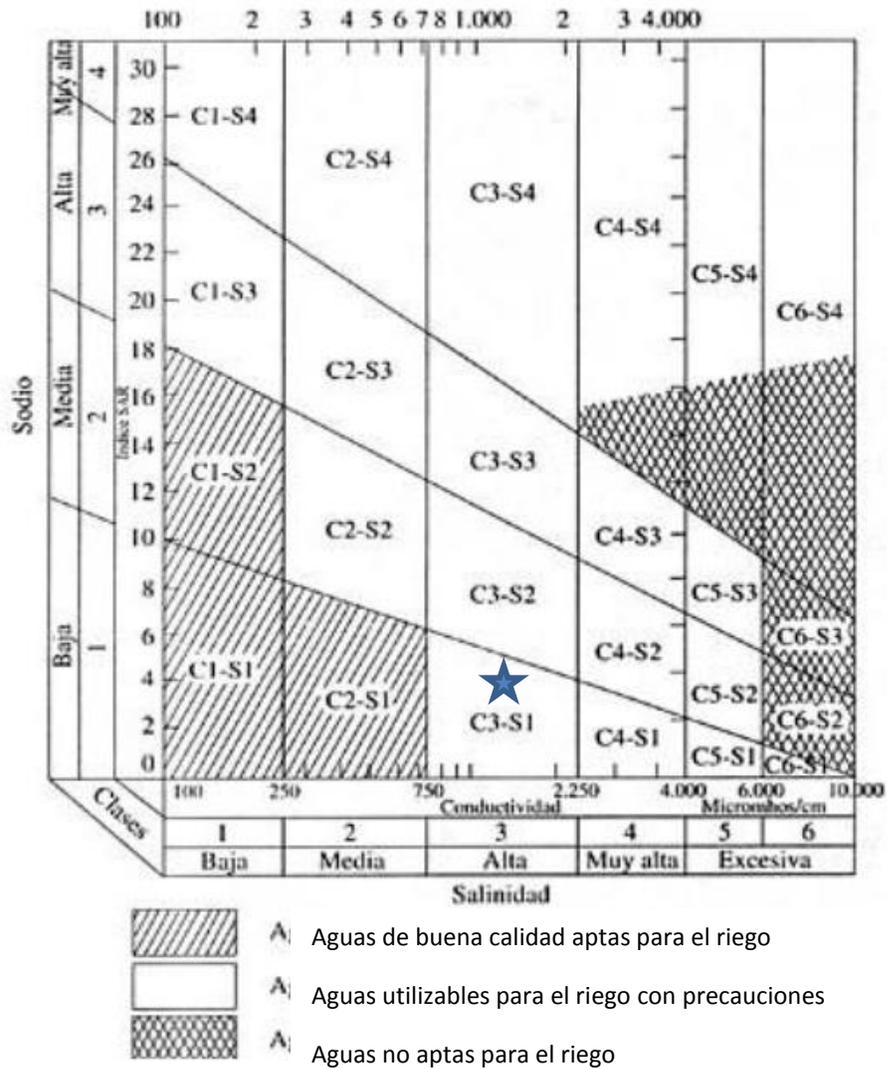
6.2.2 Análisis físico-químico del agua

Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1954), los resultados descritos en el cuadro 13 de las muestras iniciales se clasificaron como C4 (aguas de muy alta salinidad) cuya C.E. (conductividad eléctrica) varía entre 1150 $\mu\text{S/cm}$ o mayor, y S2 (aguas de mediana sodicidad o medio contenido de sodio) cuyo RAS (relación de sodio absorbido) varía de 10 a 18, por otro lado las muestras analizadas después de finalizar el tratamiento se clasifican como C3 (aguas de alta salinidad) cuya C.E. (conductividad eléctrica) varía entre 750 a 2,250 $\mu\text{S/cm}$, y S1 (aguas de baja sodicidad o bajo contenido de sodio) cuyo RAS (relación de sodio absorbido) varía de 0 a 10. Según las normas Riverside figura 5 la muestra del efluente después del tratamiento se clasifica como aguas utilizables para riego con precauciones. Estos resultados se obtuvieron gracias a la actividad de la microalga *C. vulgaris* ya que estos microorganismos ayudaron a fijar en su pared celular los elementos que se encuentran suspendidos en los efluentes tales como Ca, Mg, Na, K, Cu, Zn, Fe y Mn que en grandes cantidades son considerados como contaminantes para el suelo y para la vida vegetal.

Cuadro 13 Resultados iniciales y finales del análisis físico-químico del agua, muestras provenientes de la explotación porcina.

Análisis químico del Agua												
	pH	mS / cm C.E.	Meq/litro				ppm				RAS	Clase
			Ca	Mg	Na	K	Cu	Zn	Fe	Mn		
Inicio	8.8	7,52	1.87	0.31	10.87	19.49	0	0.1	0	0	10,45	C4S2
Final	7.7	1,426	2.12	2.01	4.24	4.29	0	0	0.2	0.2	2.92	C3S1

Figura 5. Resultados clase de agua según Riverside



6.2.3 Análisis estadístico

El análisis estadístico de Chi cuadrado para los recuentos bacteriológicos de la explotación porcina en relación a coliformes totales y *E. coli* obtuvo un valor P <0.0001 los cuales se describen en el cuadro 14 y 15 para ambos patógenos el cual es menor a 0.05 por lo que según la regla de decisión para la prueba de Chi cuadrado de Pearson se aprueba la hipótesis afirmando que si existe efecto en el tratamiento de efluentes provenientes de la explotación porcina mediante la implementación de la microalga *C. vulgaris* para la reducción de bacterias coliformes y *E. coli*. De acuerdo a los resultados la acción de la microalga para la disminución en la concentración de bacterias es altamente efectivo en masas de agua que promedien un recuento inicial de 538,714UFC/mL de coliformes totales y 372,00 UFC/mL.

Cuadro 14 Resultados para la prueba estadística de Chi cuadrado de los datos presentados en el cuadro 11.

Chi cuadrado resultado / Coliformes			
Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	12679.72	6	<0.0001
Chi Cuadrado MV-G2	13529.73	6	<0.0001
Coef. Conting.Cramer	0.04		
Coef.Conting.Pearson	0.06		

Cuadro No. 15 Resultados para la prueba estadística de Chi cuadrado de los datos presentados en el cuadro 12.

Chi cuadrado resultado / <i>E.coli</i>			
Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	654.40	6	<0.0001
Chi Cuadrado MV-G2	777.77	6	<0.0001
Coef. Conting.Cramer	0.33		
Coef.Conting.Pearson	0.42		

6.3 Análisis de pH

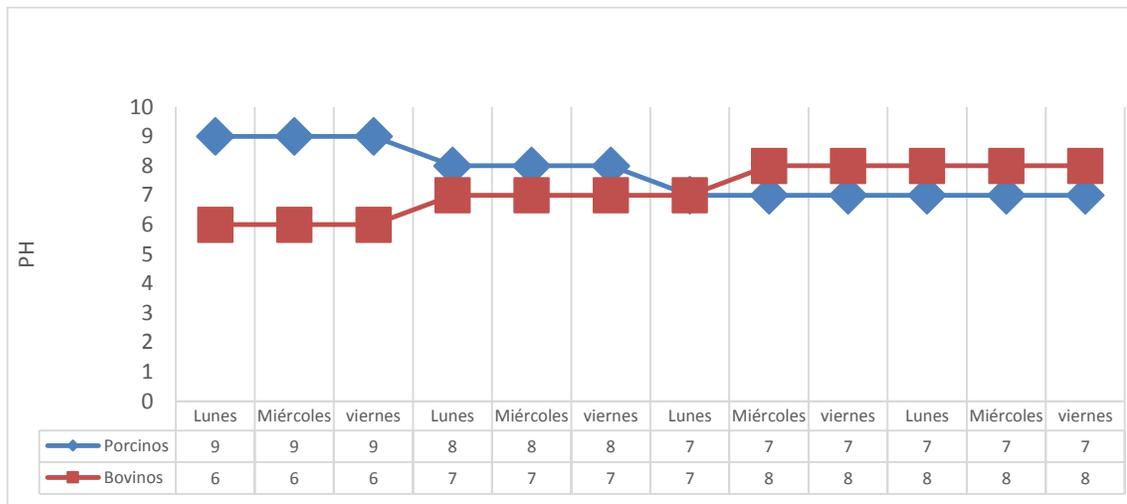
Como se logra observar en los resultados detallados en el cuadro 16 el pH de las muestras durante el tratamiento presenta un cambio de ácido a alcalino para los efluentes de bovinos y de alcalino a ácido para los efluentes de porcinos, demostrando que la microalga si tiene efecto en el pH de efluentes de la explotación bovina y porcina, también se demostró que la microalga *C. vulgaris* no mantiene la neutralidad del pH por más de dos semanas, esto se debe a la actividad metabólica de la microalga con los gases y elementos suspendidos en los efluentes cita.

Según estudios realizados por Moronta et al. (2006), se puede aludir el comportamiento del pH en el efluente que provino de la explotación bovina a la baja concentración de bacterias coliformes y *E.coli* las cuales promediaron las 196,857 y 108,571 UFC/mL respectivamente, lo que no ayudo al crecimiento de la microalga produciendo bajas concentraciones de CO₂ (dióxido de carbono) durante la fase oscura de la fotosíntesis, al disminuir los niveles de CO₂ que la microalga producía durante la fase oscura los niveles de pH aumentaban hasta llegar a 8 al cabo de cuatro semanas de iniciar con el experimento. Mientras que el pH del efluente que provino de la explotación porcina tuvo un comportamiento distinto el cual se debió a la alta concentración de bacterias coliformes y *E. coli* las cuales promediaron las 538,714 y 372,000 UFC/mL respectivamente, lo que ayudo al crecimiento de la microalga aumentando la concentración de CO₂ (dióxido de carbono) durante la fase oscura de la fotosíntesis, al aumentar los niveles de CO₂ que la microalga producía durante la fase oscura los niveles de pH decrecían hasta llegar a 7 al cabo de cuatro semas de iniciar con el experimento.

Cuadro 16 Mediciones de pH de muestras con efluente de la explotación porcina y bovina.

Semana	Día	pH	
		Porcinos	Bovinos
1	Lunes	9	6
	Miércoles	9	6
	viernes	9	6
2	Lunes	8	7
	Miércoles	8	7
	viernes	8	7
3	Lunes	7	7
	Miércoles	7	8
	viernes	7	8
4	Lunes	7	8
	Miércoles	7	8
	viernes	7	8

Figura 6. Representación del comportamiento del pH durante el tratamiento de efluentes de la explotación porcina y bovina con la microalga *C. vulgaris*.



VII. CONCLUSIONES

- La microalga *C. vulgaris* reduce los contaminantes bacteriológicos provenientes de la explotación bovina siendo altamente efectivo en concentraciones iniciales de 196,857 UFC/mL para coliformes totales y 108,571 UFC/mL para *E. coli* demostrando una reducción de más del 99% bacterias.
- La microalga *C. vulgaris* reduce los contaminantes bacteriológicos provenientes de la explotación porcina siendo altamente efectivo en concentraciones iniciales de 538,714 UFC/mL para coliformes totales y 372,000 UFC/mL para *E. coli* demostrando una reducción de más del noventa y nueve por ciento de las bacterias.
- La acción de la microalga *C. vulgaris* demostró una efectividad del cien por ciento para la reducción de *E. coli* en concentraciones iniciales que sean iguales o menores a 372,000 UFC/mL como se logró observar en los recuentos bacteriológicos de los efluentes provenientes de la explotación bovina y porcina.
- El tratamiento de efluentes provenientes de la explotación bovina y porcina mediante la utilización de la microalga *C. vulgaris* es altamente efectivo en cuando a la reducción de contaminantes físico-químicos demostrando que las muestras después del tratamiento son aptas para su reutilización en el riego para pastos y otros cultivos.
- La microalga *C. vulgaris* tiene efecto en el cambio de pH en efluentes provenientes de la explotación bovina láctea y porcina, alcanzando la neutralidad al cabo de dos semanas después de iniciar con el tratamiento.

VIII. RECOMENDACIONES

- Aumentar el periodo de tiempo para el tratamiento de efluentes provenientes de la explotación porcina y bovina mediante la microalga *C. vulgaris* para poder reducir sus niveles bacteriológicos en cuanto a *E. coli* y coliformes totales y que estas alcancen una concentración menor a las 10 UFC/mL según lo estipula el acuerdo gubernativo No 236-2006 para poder ser reutilizadas en el riego para pastos y otros cultivos.
- Realizar estudios acerca de la utilización de la microalga para analizar su efecto en aguas con un pH altamente ácido y altamente alcalino con la finalidad de observar con mayor detalle los cambios que ocurren en la misma.
- Analizar la cosecha de microalga que proviene del tratamiento de aguas residuales si es apta para la alimentación animal mediante un análisis físico químico de los alimentos y un recuento bacteriológico.

IX. RESUMEN

Este estudio se llevó a cabo con efluentes provenientes de las unidades productivas de cerdos y bovinos de la granja experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia ubicada en el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Se analizaron un total de 14 muestras, las cuales representaban siete muestras de los efluentes de la explotación bovina y siete de la explotación porcina. Las muestras fueron sometidas a un análisis de pH cada tres días y a un recuento bacteriológico para obtener la cantidad inicial de *E. coli* y coliformes totales, a su vez se realizó un análisis del agua en el laboratorio para el análisis de suelo y agua en la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Estos análisis también fueron realizados después del tratamiento de los efluentes por medio de la microalga *C. vulgaris*.

En los dos tratamientos la actividad de la microalga demostró una efectividad con la reducción de UFC/mL para coliformes totales superior al 99% y del 100% de UFC/mL en *E.coli*, de la misma forma tuvo un efecto positivo para la reducción de minerales como calcio, magnesio, sodio, potasio, cobre, cinc, hierro, manganeso y de la conductividad eléctrica lo cual permitió que las muestras tratadas por 30 días con la microalga hayan sido clasificadas como aptas para su reutilización en el riego de pastos y otros cultivos. Con la prueba de Chi cuadrado se indicó que la microalga si tiene efecto en el tratamiento de efluentes provenientes de la explotación porcina mediante la implementación de la microalga *C. vulgaris* para la reducción de bacterias coliformes, *E. coli* y mejora la calidad del agua disminuyendo los minerales que pueden interferir en la RAS.

SUMMARY

This study was carried out with effluents from the productive units of pigs and cattle of the experimental farm of the Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science located in the central campus of the University Of San Carlos Of Guatemala.

A total of 14 samples were analyzed, representing seven samples of the effluent from the cattle and seven from the pig farm. The samples were subjected to a pH analysis every three days and to a bacteriological count to obtain the initial amount of *E. coli* and total coliforms. In turn, a water analysis was performed in the laboratory for analysis of soil and water in the laboratory. Faculty of Agronomy of the University of San Carlos of Guatemala. These analyzes were also performed after treatment of the effluents by microalgae *C. vulgaris*.

In the two treatments, microalgae activity showed a reduction of CFU / mL for total coliforms greater than 99% and of 100% of CFU / mL in *E. coli*, in the same way it had a positive effect for the reduction Of minerals such as calcium, magnesium, sodium, potassium, copper, zinc, iron, manganese and of the electrical conductivity, which allowed the samples to be treated for 30 days with the microalgae are classified as suitable for reuse in the irrigation of pastures and others crops. With the Chi square test, it was indicated that the microalgae has an effect on the treatment of effluents from the pig farm through the implementation of the microalga *C. vulgaris* for the reduction of coliform bacteria, *E. coli* and improves the quality of the water decreasing minerals that can interfere with RAS.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca, A., y Vivanco, G. (2014). Efecto de dietas en base a microalgas tradicionales. Chile: SciELO. Recuperado de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-19572014000200012
- Bastias, O. (2011). Estudio de cuatro sepas nativas de microalgas para evaluar su potencial uso en la producción (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Castelló Orvay, F. (1993). Acuicultura marina: fundamentos biológicos y tecnología de la producción. Barcelona, España: Universitat de Barcelona.
- España, M. (2010). Aguas negras amenazan a la Ciudad de Guatemala; EDOM 1972-2000 fue olvidado. Guatemala: Albedrio. Recuperado de <http://www.albedrio.org/htm/articulos/m/mespana-001.htm>
- Hernández, A., y Labbé, J. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. Chile: SciELO. Recuperado de http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-19572014000200001&script=sci_arttext
- Vargas, L. (2001). Efecto de las microalgas en la remoción de los compuestos nitrogenados presentes en la laguna facultativa de una planta de tratamientos de aguas residuales. San Francisco, Venezuela: Grupo Océano.
- Ibáñez, E., y Herrero, M. (2017). Las algas que comemos. Madrid, España: Los libros de la Catarata.
- Manual de laboratorio de Microbiología general FMVZ. USAC. (2014). Manual de prácticas de laboratorio curso microbiología general. Guatemala, Guatemala: Editorial USAC.
- Manual de prácticas de laboratorio para el análisis de suelos y agua. (2015). Análisis físico químico del agua. Guatemala, Guatemala: Editorial USAC.
- Miyares, S. (2003). Determinación de coliformes y helmintos en aguas afluentes y efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales, Nimajuyú 1 zona 21 (Tesis de grado). Facultad de Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

- Moronta, R., Mora, R., y Morales, E. (2006). Respuesta de la microalga *Chlorella sorokiniana* al pH, salinidad y temperatura en condiciones axénicas y no axénicas . Venezuela: SciELO. Recuperado de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182006000100003
- OMS (Organizacion Mundial de la Salud). (2016). Agua, saneamiento y salud (ASS). Mexico: Who. Recuperado de: http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/facts2004/es/
- Ramos Castellanos, P. (2010). El hombre y el medio ambiente. Salamanca, España: Globalia Artes Gráficas Salamanca.
- Rhoades, J. D. (1971). Quality of water for irrigation. California: FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/003/T0234E/T0234E01.htm>
- Rosales, D., y Chávez, G. (2013). Describir la distribucion y densidad de la poblacion porcina y determinacion de la cobertura de vacunacion de los cerdos en el programa de emergencia del territorio nacional, en fase de control de PPC. Guatemala, Guatemala: MAGA.
- Sentes, A. M. (2014). Uso y aplicaciones potenciales de las microalgas. Mexico: iit.comillas. Recuperado de <https://www.iit.comillas.edu/docs/IIT-14-027A.pdf>.
- VladiDamian. (2013). *Chlorella vulgaris*. Galeria de imagenes, Los Angeles.

X. ANEXOS

Anexo 1. Resultados de los recuentos bacteriológicos antes del tratamiento.



DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGÍA
TEL. PBX 24188000, ext. 84185

INFORME RESULTADOS DE LABORATORIO

Remitente: Sr. Luis Alarcón Recinos Granja Experimental Universidad de San Carlos Guatemala		Fecha de Recepción: Abril 24 de 2017
Muestra: Aguas residuales Propietario: Sr. Luis Alarcón Recinos		Análisis Solicitado: Bacteriológico
<u>Resultado:</u>		
Cerdos 1:	Coliformes totales:	90 x 10⁴ UFC/ml
	Escherichia coli:	80 x 10⁴ UFC/ml
Cerdos 2:	Coliformes totales:	56 x 10⁴ UFC/ml
	Escherichia coli:	60 x 10⁴ UFC/ml
Cerdos 3:	Coliformes totales:	15.5 x 10⁴ UFC/ml
	Escherichia coli:	15 x 10⁴ UFC/ml
Cerdos 4:	Coliformes totales:	14.1 x 10⁴ UFC/ml
	Escherichia coli:	14 x 10⁴ UFC/ml
Cerdos 5:	Coliformes totales:	69 x 10⁴ UFC/ml
	Escherichia coli:	68 x 10⁴ UFC/ml
Fecha de Entrega: Mayo 2 de 2017	Sección: Bacteriología	Firma y Sello Responsable:

Dra. Jacqueline Escobar Muñoz
Coordinadora
Departamento de Microbiología



Anexo 2. Resultados de los recuentos bacteriológicos antes del tratamiento.



DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGÍA
TEL. PBX 24188000, ext. 84185

INFORME RESULTADOS DE LABORATORIO

Remitente: Sr. Luis Alarcón Recinos Granja Experimental Universidad de San Carlos Guatemala		Fecha de Recepción: Abril 24 de 2017	
Muestra: Aguas residuales Propietario: Sr. Luis Alarcón Recinos		Análisis Solicitado: Bacteriológico	
<u>Resultado:</u>			
Cerdos 6:	Coliformes totales:	12 x 10⁵	UFC/ml
	Escherichia coli:	11.4 x 10⁴	UFC/ml
Cerdos 7:	Coliformes totales:	12.5 x 10⁴	UFC/ml
	Escherichia coli:	12 x 10⁴	UFC/ml
Bovinos 1:	Coliformes totales:	32 x 10⁴	UFC/ml
	Escherichia coli:	18 x 10⁴	UFC/ml
Bovinos 2:	Coliformes totales:	29 x 10⁴	UFC/ml
	Escherichia coli:	12 x 10⁴	UFC/ml
Bovinos 3:	Coliformes totales:	17 x 10⁴	UFC/ml
	Escherichia coli:	10 x 10⁴	UFC/ml
Fecha de Entrega: Mayo 2 de 2017	Sección: Bacteriología	Firma y Sello Responsable:	

Dra. Jacqueline Escobar Muñoz
Coordinadora
Departamento de Microbiología



Anexo 3. Resultados de los recuentos bacteriológicos antes del tratamiento.



DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGÍA
TEL. PBX 24188000, ext. 84185

INFORME RESULTADOS DE LABORATORIO

Remitente: Sr. Luis Alarcón Recinos Granja Experimental Universidad de San Carlos Guatemala		Fecha de Recepción: Abril 24 de 2017
Muestra: Aguas residuales Propietario: Sr. Luis Alarcón Recinos		Análisis Solicitado: Bacteriológico
Resultado:		
Bovinos 4:	Coliformes totales:	21 x 10⁴ UFC/ml
	Escherichia coli:	12 x 10⁴ UFC/ml
Bovinos 5:	Coliformes totales:	16 x 10⁴ UFC/ml
	Escherichia coli:	10 x 10⁴ UFC/ml
Bovinos 6:	Coliformes totales:	28 x 10⁵ UFC/ml
	Escherichia coli:	20 x 10³ UFC/ml
Cerdos 7:	Coliformes totales:	20 x 10⁴ UFC/ml
	Escherichia coli:	12 x 10⁴ UFC/ml
Fecha de Entrega: Mayo 2 de 2017	Sección: Bacteriología	Firma y Sello Responsable:

Dra. Jacqueline Escobar Muñoz
Coordinadora
Departamento de Microbiología



Anexo 4. Resultados de los recuentos bacteriológicos después del tratamiento.



DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGÍA
TEL. PBX 24188000, ext. 84185

INFORME RESULTADOS DE LABORATORIO

Remitente: Sr. Luis Alarcón Recinos Granja Experimental Universidad de San Carlos Guatemala		Fecha de Recepción: Mayo 22 de 2017	
Muestra: Aguas tratadas Propietario: Sr. Luis Alarcón Recinos		Análisis Solicitado: Bacteriológico	
<u>Resultado:</u>			
B-1	Bacterias coliformes:	0	UFC/ml
	Escherichia coli:	0	UFC/ml
B-2	Bacterias coliformes:	0	UFC/ml
	Escherichia coli:	0	UFC/ml
B-3	Bacterias coliformes:	0	UFC/ml
	Escherichia coli:	0	UFC/ml
B-4	Bacterias coliformes:	0	UFC/ml
	Escherichia coli:	0	UFC/ml
B-5	Bacterias coliformes:	1000	UFC/ml
	Escherichia coli:	0	UFC/ml
Fecha de Entrega: Mayo 30 de 2017	Sección: Bacteriología	Firma y Sello Responsable:	

Dra. Jacqueline Escobar Muñoz

Departamento de Microbiología



Anexo 5. Resultados de los recuentos bacteriológicos después del tratamiento.



DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGÍA
TEL. PBX 24188000, ext. 84185

INFORME RESULTADOS DE LABORATORIO

Remitente: Sr. Luis Alarcón Recinos Granja Experimental Universidad de San Carlos Guatemala	Fecha de Recepción: Mayo 22 de 2017										
Muestra: Aguas tratadas Propietario: Sr. Luis Alarcón Recinos	Análisis Solicitado: Bacteriológico										
<p><u>Resultado:</u></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">B-6</td> <td style="width: 40%;"> Bacterias coliformes: 400 UFC/ml Escherichia coli: 0 UFC/ml </td> </tr> <tr> <td>B-7</td> <td> Bacterias coliformes: 500 UFC/ml Escherichia coli: 0 UFC/ml </td> </tr> <tr> <td>C-1</td> <td> Bacterias coliformes: 1200 UFC/ml Escherichia coli: 0 UFC/ml </td> </tr> <tr> <td>C-2</td> <td> Bacterias coliformes: 90 UFC/ml Escherichia coli: 0 UFC/ml </td> </tr> <tr> <td>C-3</td> <td> Bacterias coliformes: 0 UFC/ml Escherichia coli: 0 UFC/ml </td> </tr> </table>		B-6	Bacterias coliformes: 400 UFC/ml Escherichia coli: 0 UFC/ml	B-7	Bacterias coliformes: 500 UFC/ml Escherichia coli: 0 UFC/ml	C-1	Bacterias coliformes: 1200 UFC/ml Escherichia coli: 0 UFC/ml	C-2	Bacterias coliformes: 90 UFC/ml Escherichia coli: 0 UFC/ml	C-3	Bacterias coliformes: 0 UFC/ml Escherichia coli: 0 UFC/ml
B-6	Bacterias coliformes: 400 UFC/ml Escherichia coli: 0 UFC/ml										
B-7	Bacterias coliformes: 500 UFC/ml Escherichia coli: 0 UFC/ml										
C-1	Bacterias coliformes: 1200 UFC/ml Escherichia coli: 0 UFC/ml										
C-2	Bacterias coliformes: 90 UFC/ml Escherichia coli: 0 UFC/ml										
C-3	Bacterias coliformes: 0 UFC/ml Escherichia coli: 0 UFC/ml										
Fecha de Entrega: Mayo 30 de 2017	Sección: Bacteriología	Firma y Sello Responsable:									

Dra. Jacquelinne Escobar Muñoz
 Coordinadora
 Departamento de Microbiología



Anexo 6. Resultados de los recuentos bacteriológicos después del tratamiento.



DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGÍA
TEL. PBX 24188000, ext. 84185

INFORME RESULTADOS DE LABORATORIO

Remitente: Sr. Luis Alarcón Recinos Granja Experimental Universidad de San Carlos Guatemala	Fecha de Recepción: Mayo 22 de 2017																																
Muestra: Aguas tratadas Propietario: Sr. Luis Alarcón Recinos	Análisis Solicitado: Bacteriológico																																
<p>Resultado:</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">C-4</td> <td style="width: 40%;">Bacterias coliformes:</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">0</td> <td style="width: 30%;">UFC/ml</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Escherichia coli:</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td>UFC/ml</td> </tr> <tr> <td>C-5</td> <td>Bacterias coliformes:</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td>UFC/ml</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Escherichia coli:</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td>UFC/ml</td> </tr> <tr> <td>C-6</td> <td>Bacterias coliformes:</td> <td style="text-align: center;">8000</td> <td>UFC/ml</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Escherichia coli:</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td>UFC/ml</td> </tr> <tr> <td>C-7</td> <td>Bacterias coliformes:</td> <td style="text-align: center;">90</td> <td>UFC/ml</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Escherichia coli:</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td>UFC/ml</td> </tr> </table>		C-4	Bacterias coliformes:	0	UFC/ml		Escherichia coli:	0	UFC/ml	C-5	Bacterias coliformes:	0	UFC/ml		Escherichia coli:	0	UFC/ml	C-6	Bacterias coliformes:	8000	UFC/ml		Escherichia coli:	0	UFC/ml	C-7	Bacterias coliformes:	90	UFC/ml		Escherichia coli:	0	UFC/ml
C-4	Bacterias coliformes:	0	UFC/ml																														
	Escherichia coli:	0	UFC/ml																														
C-5	Bacterias coliformes:	0	UFC/ml																														
	Escherichia coli:	0	UFC/ml																														
C-6	Bacterias coliformes:	8000	UFC/ml																														
	Escherichia coli:	0	UFC/ml																														
C-7	Bacterias coliformes:	90	UFC/ml																														
	Escherichia coli:	0	UFC/ml																														
Fecha de Entrega: Mayo 30 de 2017	Sección: Bacteriología	Firma y Sello Responsable:																															

Dra. Jacqueline Escobar Muñoz
 Coordinadora
 Departamento de Microbiología



Anexo 7. Resultados de los análisis de agua antes del tratamiento.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"



INTERESADO: LUIS ALBERTO ALARCON
PROCEDENCIA: GRANJA EXP FAC DE MEDICINA VETERINARIA
FECHA DE INGRESO: 24/4/2017

ANALISIS QUIMICO DE AGUA

IDENT	pH	µS/cm C.E.	Meq/litro				Ppm				RAS	CLASE
			Ca	Mg	Na	K	Cu	Zn	Fe	Mn		
BOVINOS	6.0	612	1.07	0.73	3.48	0.95	0.1	0.1	2.0	0.2	3.66	C2S1
CERDOS	8.8	7,520	1.87	0.31	10.87	19.49	0.0	0.1	0.0	0.0	10.45	C4S2

Según clasificación **USDA** la muestra se clasifica como:

- C2** : AGUAS DE MEDIANA SALINIDAD CON UNA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA ENTRE 250 A 750µS/cm
- C4** : AGUAS DE MUY ALTA SALINIDAD CON UNA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA ENTRE 1150 µS/cm O MAYOR
- S1**: AGUAS DE BAJA SODICIDAD Y CUYO RAS VARÍA DE 0 A 10
- S2**: AGUAS DE MEDIANA SODICIDAD Y CUYO RAS VARÍA DE 10 A 18



CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
EDIFICIO UVIGER, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA
CODIGO POSTAL 01012, APARTADO POSTAL 1545, TEL: (502)24189308, (502) 24188000 EXT 1562 Ó 1769

Anexo 8. Resultados de los análisis de agua después del tratamiento.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"



INTERESADO: LUIS ALBERTO ALARCON
PROCEDENCIA: GRANJA EXPERIMENTAL, FAC DE VETERINARIA Y ZOOTECNIA
FECHA DE INGRESO: 22/5/2017

ANALISIS QUIMICO DE AGUA

IDENT	pH	µS/cm C.E.	Meq/litro				Ppm				RAS	CLASE
			Ca	Mg	Na	K ⁺	Cu	Zn	Fe	Mn		
M-1 BOVINOS	8.5	473	1.57	1.17	1.43	0.56	0.0	0.0	0.1	0.1	1.22	C2S1
M-2 CERDOS	7.7	1,426	2.12	2.01	4.24	4.29	0.0	0.0	0.2	0.2	2.92	C3S1

Según clasificación **USDA** la muestra se clasifica como:

C2 : AGUAS DE MEDIANA SALINIDAD CUYA C.E. VARÍA 250 A 750µS/cm
C3: AGUAS DE ALTA SALINIDAD CUYA C.E. VARÍA 750 A 2,250 µS/cm
S1: AGUAS DE BAJA SODICIDAD (bajo contenido de sodio) Y CUYO RAS VARÍA DE 0 A 10



CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
EDIFICIO LIVIGER, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA
CODIGO POSTAL 01012, APARTADO POSTAL 1545, TEL: (502)24189308, (502) 24188000 EXT 1562 Ó 1769

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
ESCUELA DE ZOOTECNIA**

**EFFECTO DE LA MICRO ALGA (*Chlorella vulgaris*) EN EL
TRATAMIENTO DE EFLUENTES PROVENIENTES DE LA
EXPLOTACIÓN BOVINA Y PORCINA UBICADOS EN LA GRANJA
EXPERIMENTAL DE LA FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA
Y ZOOTECNIA**

f. _____

Luis Alberto Alarcón Recinos

f. _____ f. _____

M.Sc. Sergio Antonio Hernández
de la Roca.

Dra. M.V. Jacqueline Escobar Muñoz.

ASESOR PRINCIPAL

ASESOR

f. _____

Lic. Zoot. Edgar Amílcar García Pimentel
EVALUADOR

IMPRIMASE

f. _____

M.A. Gustavo Enrique Taracena Gil
DECANO