



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:
**“COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN
PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA
DESTINADAS AL CULTIVO DE *CHLORELLA
VULGARIS*”**

Realizado por:
ROBERTO YEROVI GUZMÁN

Director del proyecto:
José Rubén Ramírez Iglesias, Ph.D.

Como requisito para la obtención del título de:
MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

Quito, 11 de marzo de 2020

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, ROBERTO YEROVI GUZMÁN, con cédula de identidad 171315700-4, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



FIRMA Y CÉDULA

C.I. 1713157004

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN
PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA
DESTINADAS AL CULTIVO DE *CHLORELLA
VULGARIS*”**

Realizado por:

ROBERTO YEROVI GUZMÁN

como Requisito para la Obtención del Título de:
MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

ha sido dirigido por el profesor
José Rubén Ramírez Iglesias, Ph.D.

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



José Rubén Ramírez Iglesias, Ph. D.

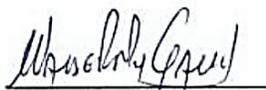
LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

Walberto Gallegos, M.Sc.

Alberto Aguirre, Ph.D.

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador



Walberto Gallegos, M.Sc.



Alberto Aguirre, Ph.D.

Quito, 11 de marzo de 2020

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE
PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

DEDICATORIA

Dedicado a Dios, a mi hija, a mi familia y a mis amigos, por
estar siempre apoyándome.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, a mi hija y mis hermanos, por su entendimiento y apoyo. A Santiago por su valiosa ayuda. A todos los profesores que me enseñaron a lo largo de este tiempo. A mis amigos y compañeros por hacer de este camino difícil, mucho más alegre y llevadero.

RESUMEN

Existen varios problemas que aquejan la cría de microalgas usadas como materia prima de biocombustibles. Uno de ellos es la necesidad de aguas con suficientes nutrientes para su crecimiento y otro es que existen microorganismos que compiten por estos nutrientes. Por otro lado, también se conoce del gran potencial de estas microalgas para la purificación de aguas residuales. Como solución de los problemas ambientales de aguas residuales de porcicultura y como posibilidad de usar estas aguas como medio de cultivo de *Chlorella vulgaris*, se realizó el presente estudio. El cultivo a gran escala de estas microalgas requiere de un tratamiento previo de las aguas, para eliminar bacterias y microorganismos. Este procedimiento suele ser costoso y complejo. En este estudio se probaron tres métodos económicos de desinfección: irradiación UV, hipoclorito de sodio (NaClO) y ácido peracético (PAA), en varias dosis y concentraciones. El tratamiento con luz UV por 30 minutos redujo aproximadamente 4 log del total de bacterias en este tipo de aguas, mientras 60 minutos produjeron inactivación total. Los tratamientos con hipoclorito de sodio tuvieron reducciones microbianas de 0.8 log a una dosis de 30 mg/L y de 1 log a dosis de 60 mg/L. Una cantidad de ácido peracético de 12.5 mg/L produjo aproximadamente 2 reducciones logarítmicas, mientras que se necesitaron 50 mg/L de PAA para lograr 3 reducciones. El crecimiento de *C. vulgaris* en las aguas pretratadas presentó fase de adaptación y fase exponencial de crecimiento, mientras el agua sin tratar tuvo las dos fases anteriores y fase estacionaria, siendo el crecimiento menor a la del agua pretratada. Los nutrientes fósforo y nitrógeno tuvieron reducciones de 97% y 89%, respectivamente, para aguas pretratadas y del 94% y 85% para el agua control, después del cultivo. El DQO se redujo 80% para aguas pretratadas y 70% para agua sin tratamiento.

Palabras clave: luz UV, aguas residuales, hipoclorito de sodio, ácido peracético, microalgas

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

ABSTRACT

There are several problems that afflict the use of microalgae as a biofuel feedstock. One of them is the need for water with enough nutrients for its growth and another is that there are microorganisms that compete for these nutrients. On the other hand, the great potential of these microalgae for wastewater purification is also known. As a solution to the environmental problems of swine wastewater and as a possibility of using these waters as a culture medium for *Chlorella vulgaris*, the present study was carried out. The large-scale cultivation of these microalgae requires a pretreatment of the waters, to eliminate bacteria and microorganisms. This procedure is usually expensive and complex. Three economic methods of disinfection were tested in this study: UV irradiation, sodium hypochlorite (NaClO) and peracetic acid (PAA), in various doses and concentrations. The UV light treatment for 30 minutes reduced approximately 4 log of the total bacteria in this type of water, while 60 minutes produced total inactivation. The sodium hypochlorite treatments had microbial reductions of 0.8 log at a dose of 30 mg / L and 1 log at a dose of 60 mg / L. A quantity of 12.5 mg / L peracetic acid produced approximately 2 logarithmic reductions, while 50 mg / L of PAA was needed to achieve 3 reductions. The growth of *C. vulgaris* in the pretreated waters presented an adaptation phase and an exponential phase of growth, while the untreated water had the two previous phases and the stationary phase, the growth being less than that of the pretreated water. The phosphorus and nitrogen nutrients had reductions of 97% and 89%, respectively, for pretreated waters and 94% and 85% for control water, after cultivation. The COD was reduced 80% for pretreated water and 70% for untreated water.

Keywords: UV light, sewage, sodium hypochlorite, peracetic acid, microalgae

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

1 INTRODUCCIÓN

Algunos estudios realizados alrededor de yacimientos de petróleo señalan que en el mundo podría existir escasez de este elemento en el primer decenio del siglo XXI pudiendo extenderse, quizás, hasta la tercera década del mismo (Schwartz, Parker, Hess, & Frumkin, 2011). Es por ello que es indispensable encontrar alternativas energéticas eficaces y eficientes al petróleo. Una de ellas es la generación de biocombustibles, la cual provoca menos contaminación atmosférica y es más amigable con el entorno desde su producción hasta su disposición final (McCarthy, Rasul, & Moazzem, 2011).

Se espera que la producción de biocombustibles ofrezca nuevas oportunidades para diversificar los ingresos, las fuentes de suministro de combustible, promover el empleo en las zonas rurales, desarrollar el reemplazo a largo plazo de los combustibles fósiles y reducir las emisiones, aumentando tanto la descarbonización de los combustibles para el transporte como la seguridad del suministro de energía. Una de las principales fuentes para la producción de biocombustibles en la actualidad es a través de aceites vegetales, pero como los aceites vegetales también son usados para consumo humano, puede existir una sobre demanda y subidas de precios en ellos (Mata, Martins, & Caetano, 2010). Debido a esto, la producción de biocombustibles a través de las microalgas se reconoce como la única fuente viable para reemplazar los derivados de petróleo, sin afectaciones en la alimentación humana. Se estima que la mismo área de campo usada para la cría de microalgas es 200 veces más productiva que el mismo campo con aceites vegetales (Chiu et al., 2015).

Los componentes lipídicos de las microalgas sirven de base para diferentes usos bioenergéticos: biodiesel, bioetanol, biogás y biohidrógeno (Jones & Mayfield, 2012). Los triacilglicéridos (TAG) sirven como reserva de energía en las algas. Estas grasas neutras están

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

formadas de una cadena triple de ésteres, unidas a una molécula de glicerol. Estos lípidos pueden ser convertidos en biodiesel con facilidad por medio de transesterificación, el cual consiste en cambiar el glicerol por alcohol (e.g. metanol). Los productos obtenidos por este medio son: glicerol y éster-metílico (i.e. biodiesel) (Meher, Vidya Sagar, & Naik, 2006).

El precio de criar las microalgas en lugares donde ya existen los nutrientes adecuados puede ser menor en un 50% comparado a criarlas en biorreactores, ya que se debe tener en cuenta el costo de energía eléctrica, fertilizantes y construcciones físicas (Slade & Bauen, 2013). Un agua que posee características químicas adecuadas es la de los desechos de porcicultura ya que los nutrientes y metales encontrados en ella permiten su desarrollo. El contenido de fósforo y nitrógeno puede ser perjudicial para el ambiente, pero ideal para las microalgas (Mostafa, Shalaby, & Mahmoud, 2018).

El Ministerio del Ambiente ha dispuesto que el TULAS en su Libro VI, Anexo I, legisle los criterios de calidad permisibles para la conservación de flora y fauna que deben cumplir las aguas residuales de las granjas porcinas. Debido al potencial dañino de estas aguas residuales, muchos criaderos han usado agentes anaerobios o métodos de filtración y autoclaves para la inocuidad de estas, pero su costo es elevado, provoca un consumo excesivo de energía y su manejo resulta complejo, lo que convierte al proceso en una imposibilidad si se piensa en grandes escalas. Es por esto menester buscar formas de ligar la polución y la reutilización de estas aguas (Qin et al., 2014). El uso de estos métodos terciarios puede ser tres o cuatro veces más costoso que la utilización de tratamientos primarios. El uso de microalgas no sólo contribuye al decremento de nitrógeno y fósforo, sino también de metales pesados y componentes orgánicos tóxicos (Chiu et al., 2015).

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

Sin embargo, las aguas residuales adolecen de tener alta carga bacteriana que impide la proliferación de microalgas. Estas cepas bacterianas usan las propiedades químicas para su crecimiento, estando en contraposición al de las microalgas, lo que vuelve perentorio el pretratar el agua para reducir o eliminar estas bacterias (Mostafa et al., 2018). Un estudio realizado por Currie y Kalf, (2013) demuestra que la habilidad de las bacterias es superior al de las algas en la obtención de nutrientes (e.g. fósforo) incluso bajo condiciones limitadas del mismo.

Para poder eliminar la mayor cantidad de estas bacterias, sin dañar los componentes necesarios para las microalgas, se deben encontrar alternativas de desinfección. La luz ultravioleta de 254 nm de longitud (UV-C) se ha usado eficazmente para la desinfección de aguas residuales. Los microorganismos absorben la energía emitida por esta luz y las reacciones fotoquímicas alteran los componentes moleculares esenciales (RNA y DNA) resultando en efectos germinicidas (Newman, 2004). Por otra parte, el hipoclorito de sodio en concentraciones de 0.2 a 2 mg/L ha demostrado una buena desinfección, siendo recomendable 1.875 mg/L. Esta dosis permite desinfección y a la vez residuos de menos de 0,2 mg/L de cloro al cabo de 24 horas (Lantagne, 2008). Por último, el ácido peracético es un oxidante fuerte que actúa sobre las proteínas, enzimas y otros metabolitos degradándolos, debido a la liberación de oxígeno activo. También actúa sobre las uniones dobles, impidiendo su función molecular, además de incidir de igual manera sobre las lipoproteínas citoplasmáticas (Gehr, Wagner, Veerasubramanian, & Payment, 2003).

Actualmente, en la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales (FCNA) se desarrolla el proyecto titulado “*Obtención de Biomasa Destinada a la Producción de Biocombustibles a partir de Microalgas y Residuos Madereros*”, el cual busca estandarizar y optimizar métodos tanto para el crecimiento de microalgas, como para la extracción de lípidos que se convertirán en biocombustible. Con la finalidad de facilitar el desarrollo del proyecto, las investigaciones asociadas

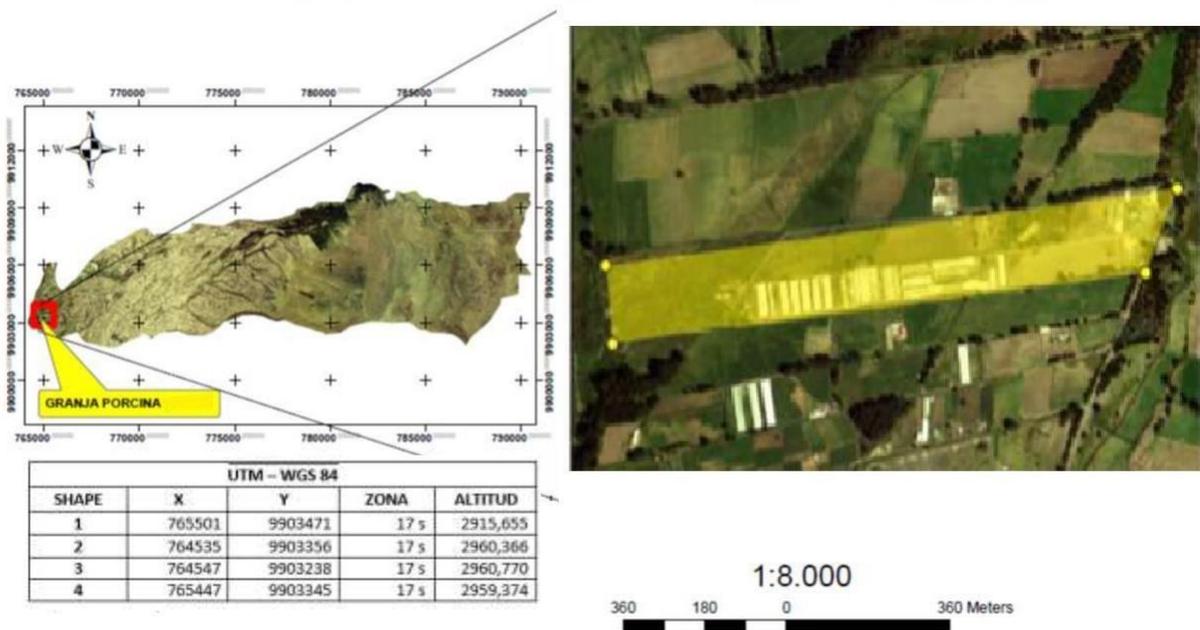
COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

buscan implementar aguas residuales para abaratar costos derivados del uso de medios de cultivo definidos y asegurar un adecuado rendimiento en la obtención de biomasa algal, la cual no se vea afectada por carga bacteriana del agua empleada. Por tanto, el objetivo del presente estudio fue comparar métodos de desinfección de aguas residuales procedentes de granjas de porcicultura y faenamiento, para ser usadas en el cultivo de *Chlorella vulgaris*.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 MUESTRAS DE AGUA

Aproximadamente 2000 mL de agua fueron adquiridos de una industria de cría y faenamiento de cerdos (porcicultura) ubicado en la provincia de Cotopaxi, en la ciudad de Latacunga, con coordenadas geográficas: 0°56'59.2''S 78°36'51.9''W (Figura 1) y llevadas a los campus de la Universidad Internacional SEK, en Carcelén. En este criadero se utilizan tratamientos químicos y lodos para cumplir con las normas necesarias de desechos de las aguas usadas en la cría y faenamiento de los animales.



COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

Figura 1. Mapa cartográfico del sitio de donde las muestras de agua fueron adquiridas

2.2 MICROALGAS

El tipo de microalga utilizada fue *Chlorella vulgaris*, adquirida del Banco Español de Algas y mantenida en Basal Bold Medium (BBM). Para el mantenimiento se utilizó luz artificial “cool white” de 40 Watts e intensidad de luz de 3000 luxes. El fotoperiodo que se usó fue de 12:12 de luz:oscuridad. La temperatura se mantuvo en $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Todos los cultivos de *C. vulgaris* se realizaron en fotobiorreactores de vidrio (PBR), con suministro de aireación constante.

2.3 DESINFECTANTES QUÍMICOS Y FUENTE UV

Los tratamientos de desinfección UV fueron llevados a cabo con una lámpara de arco de mercurio a baja presión de 18 W y 253,7 nm. La irradiancia UV en la muestra de la superficie fue de 3.5 mW cm^{-2} . Los protocolos realizados fueron tomados en cuenta de acuerdo con Bolton, Linden, & Asce (2003). El hipoclorito de sodio fue usado en concentración del 5% y neutralizado de acuerdo a los protocolos de Koivunen & Heinonen-Tanski (2005). El ácido peracético está constituido por ácido peracético y peróxido de hidrógeno, en concentraciones de ácido 15% y tensoactivos 85%.

2.4 DESINFECCIÓN POR RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

Muestras de agua sin tratamiento con un volumen de 50 mL fueron colocadas en placas de Petri y sometidas a diferentes tiempos exposición a luz UV-C: 10, 30 y 60 minutos a 53 cm de distancia. Cada tiempo de exposición fue realizado por triplicado y de forma independiente.

2.5 DESINFECCIÓN POR HIPOCLORITO DE SODIO

Se emplearon diferentes concentraciones de NaClO: 10, 30 y 60 ppm a un volumen de 50 mL de agua. Posteriormente, se incubaron por 12 horas en oscuridad y 12 horas en presencia de

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

luz solar. Por último, se agregó Tiosulfato de Sodio, en concentraciones de 2.3 ppm por cada ppm de NaClO para neutralizar el cloruro sobrante (Koivunen & Heinonen-Tanski, 2005). Cada concentración fue aplicada por triplicado y de forma independiente.

2.6 DESINFECCIÓN POR ÁCIDO PERACÉTICO

Las muestras de agua con volúmenes similar a los anteriores tratamientos fueron sometidas a 5, 12.5 y 50 ppm de ácido peracético. Posteriormente se dejaron las muestras en reposo durante 10 minutos. Cada concentración fue aplicada por triplicado y de forma independiente.

2.7 CONTEO DE UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS

De las muestras sometidas a diferentes tratamientos de desinfección se realizaron diluciones de 1:10, 1:100, 1:1.000, 1:10.000, 1:100.000 y 1:1.000.000; se tomaron 25µL de cada una y fueron sembradas en placas de agar Levine al 1.5% y expandidas con asa Digrafsky (spread Method), por triplicado. Las placas se incubaron a 37 °C durante 24 horas. Para el conteo se tomaron en cuenta únicamente las placas que presentaron entre 25 a 250 colonias, ya que este número de bacterias es estadísticamente representativo (Sutton, 2012). El número de bacterias viables por muestra se expresó en Unidades Formadoras de Colonias (UFC) por cada 100 mililitros.

Para calcular el número de UFC se utilizó la siguiente fórmula:

$$\frac{UFC}{ml} = \frac{\text{Número de muestras} \times \text{factor de dilución}}{\text{Volumen de muestra sembrada}} \times 100$$

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

2.8 ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE MICROALGAS

Se prepararon cultivos de microalgas con un volumen de 500 mL de agua residual previamente sometidas al pretratamiento óptimo de desinfección evaluado (UV-C por 30'), a autoclave y sin tratamiento (control). Cada condición de cultivo fue evaluada por triplicado mediante el método de conteo por cámara de Neubauer, durante 15 días y a temperatura promedio de 20°C.

Para el cálculo de la densidad celular, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Células}}{\text{ml}} = \frac{\# \text{ de células contadas} \times \text{factor de dilución}}{\text{factor de volumen} \times 0,001}$$

2.9 ANÁLISIS DE NUTRIENTES

Se efectuaron análisis de fósforo, nitrógeno, pH y demanda química de oxígeno (DQO) con el agua antes de ser tratada y después de la cría de las microalgas en cada uno de los tratamientos. Los protocolos para realizar los análisis se efectuaron acorde a lo recomendado por la casa comercial Hach, usando un espectrofotómetro DR5000.

El porcentaje de remoción de nutrientes (PRN) se calculó a partir de la siguiente fórmula:

$$PRN = \frac{(C_o - C_i)}{C_o} \times 100$$

Donde Co y Ci son definidos como los valores promedios de concentración de nutrientes al principio y al final del ensayo, respectivamente.

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

2.10 ANALISIS ESTADISTICO.

Los parámetros asociados al conteo de UFC, densidad celular y análisis de nutrientes fueron expresados como el valor \pm una desviación estándar ($X \pm DE$) y se realizó una comparación de medias de los diferentes grupos de experimentación a través de la prueba T de student. Las diferencias de medias entre cada grupo se consideraron estadísticamente significativas al presentar valores de $P < 0.05$.

3 RESULTADOS

3.1 EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS DE DESINFECCIÓN

La Figura 2 muestra las UFC pre y post tratamientos de los diferentes métodos de desinfección evaluados. El conteo para el agua del grupo control presentó $39E^6$ UFC por cada 100 mL. El tratamiento de radiación por luz UV-C durante 10 minutos no tuvo disminución significativa ($P > 0.05$) en las UFC, respecto al agua control. Las UFC se redujeron 4 log respecto al control, con 30 minutos de radiación UV-C ($P < 0.05$). Las UFC fueron eliminadas en su totalidad en el método UV-C de 60 minutos, siendo este el único tratamiento que eliminó por completo la carga bacteriana de las muestras de agua. La desinfección usando hipoclorito de sodio en la concentración de 10 ppm no tuvo reducciones significativas ($P > 0.05$), mientras que a las concentraciones de 30 y 60 ppm se redujo en 0.8 y 1 log las UFC. En el caso del tratamiento por PAA se presentaron reducciones de 2 log, estadísticamente significativas, para las concentraciones de 5 y 12.5 ppm y de 3 log para la concentración de 50 ppm (Figura 2).

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

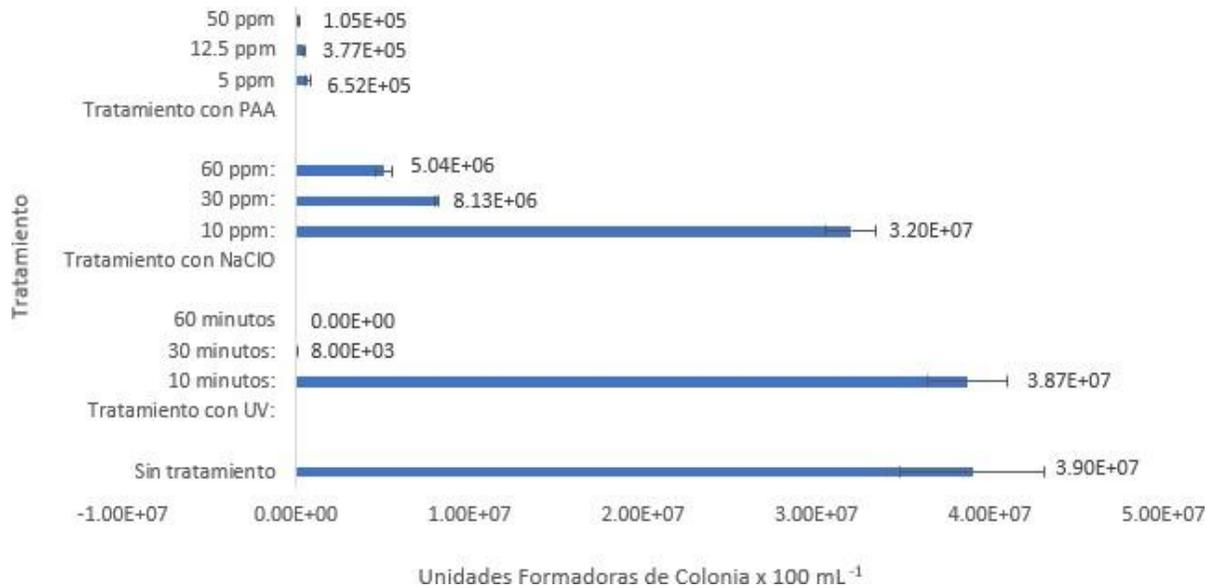


Figura 2. Conteo de UFC en diferentes en muestras de agua sometidas a los tratamientos de desinfección. Las barras representan promedios de tres experimentos con la desviación estándar asociada (media \pm DE).

La Tabla 1. muestra los tipos de bacterias detectadas en el agua residual de porcicultura y su eliminación a través de los métodos de desinfección. El agar Levine mostró el crecimiento de bacterias no fermentadoras de lactosa, enterobacterias y *E. coli*. Los resultados experimentales obtenidos aquí demuestran que no hay diferencias significativas entre 30 y 60 minutos de radiación ($P > 0.05$) UV en términos de inactivación de UFC. Para las tres muestras de aguas residuales, las concentraciones finales de UFC totales después de la exposición a una dosis UV de 60 minutos estaban todas por debajo del límite de detección (0.1 UFC mL^{-1}). Dos de las tres muestras para tiempos mayores a 30 minutos estaban por debajo del límite de detección. Comparando *E. coli*,

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

enterobacterias y bacterias no fermentadoras de lactosa en aguas residuales, se puede ver que las terceras fueron más difíciles de inactivar.

Tabla I. Unidades Formadoras de Colonia por tipo, post tratamiento (media \pm DE)

	<i>Enterobacterias</i> (UFC 100 mL ⁻¹)	<i>E. Coli</i> (UFC 100 mL ⁻¹)	<i>Bacterias no fermentadoras de lactosa</i> (UFC 100 mL ⁻¹)	<i>Total</i> (UFC 100 mL ⁻¹)
Tratamiento UV				
10 minutos	2.63E ⁷ \pm 3.23E ⁶	4.67E ⁶ \pm 4.97E ⁶	7.73E ⁶ \pm 4.42E ⁶	3.87E ⁷ \pm 2.27E ⁶
30 minutos	IT	IT	8.00E ³ \pm 1.39E ⁴	8.00E ³ \pm 1.39E ⁴
60 minutos	IT	IT	IT	IT
Tratamiento por NaClO				
10 ppm	4.67E ⁶ \pm 1.89E ⁶	8.00E ⁶ \pm 3.86E ⁶	2.17E ⁷ \pm 2.34E ⁶	3.44E ⁷ \pm 1.44E ⁶
30 ppm	1.64E ⁶ \pm 3.12E ⁵	6.80E ⁵ \pm 8.00E ⁴	5.81E ⁶ \pm 3.59E ⁵	8.13E ⁶ \pm 1.22E ⁵
60 ppm	2.24E ⁶ \pm 2.08E ⁵	3.73E ⁵ \pm 2.01E ⁵	2.43E ⁶ \pm 7.51E ⁵	5.04E ⁶ \pm 4.87E ⁵
Tratamiento por PAA				
5 ppm	1.75E ⁵ \pm 6.11E ⁴	3.87E ⁴ \pm 4.62E ³	4.39E ⁵ \pm 8.49E ⁴	6.52E ⁵ \pm 1.42E ⁵
12.5 ppm	1.05E ⁵ \pm 2.44E ⁴	4.13E ⁴ \pm 1.29E ⁴	2.31E ⁵ \pm 4.20E ⁴	3.77E ⁵ \pm 1.01E ⁴
50 ppm	4.13E ⁴ \pm 1.85E ⁴	8.00E ³ \pm 4.00E ³	5.60E ⁴ \pm 6.93E ³	1.05E ⁵ \pm 8.33E ³

IT. Inactivación Total

3.2 EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE MICROALGAS

A partir de los resultados de los métodos de desinfección se dedujo que el mejor tratamiento fue de UV-C 30 min. Este tratamiento fue utilizado para desinfectar el agua destinada al cultivo de la especie *C. vulgaris*, microalga conocida por su potencial para la generación de lípidos y posterior conversión a biocombustibles. La Figura 3 muestra las curvas de crecimiento de *C. vulgaris* en presencia de agua con el tratamiento anteriormente mencionado, agua autoclavada y sin desinfectar. La tasa de mayor crecimiento se obtuvo por uso de autoclave, con variación estadísticamente no significativa a la de desinfección por radiación de luz UV-C. La densidad celular aumentó alrededor de 8.50E⁵ c/mL hasta aproximadamente 1.60E⁷ c/mL, en las dos aguas pretratadas. El crecimiento en el agua sin tratamiento fue menor comparado ($P < 0.05$) con los otros grupos experimentales, con una densidad celular que llegó hasta 8.25E⁶ c/mL al día 15.

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

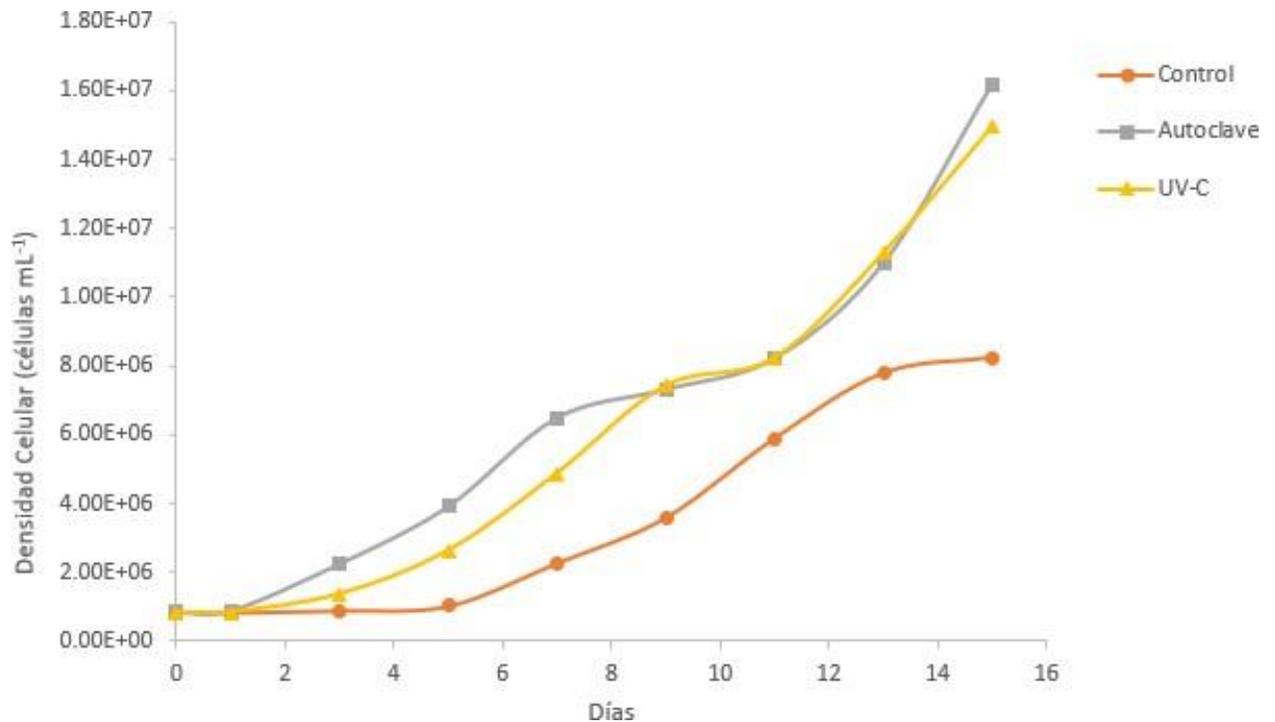


Figura 3. Curvas de crecimiento de *C. vulgaris* empleando aguas de porcicultura bajo diferentes condiciones. Los puntos en las curvas denotan los días de conteo y variación por días.

3.3 EVALUACIÓN DE REMOCIÓN DE NUTRIENTES

La Tabla 2 muestra los valores iniciales y finales de diferentes nutrientes evaluados en el agua de faenamiento y porcicultura, usada para el cultivo de *C. vulgaris*, previamente sometida a diferentes métodos de esterilización. Las concentraciones iniciales de nitratos, ortofosfatos y el DQO oscilaron entre 60, 11 y 800 mg/L respectivamente. Posterior al cultivo durante 15 días, se observa una notoria reducción en el contenido de nitratos evaluados, con valores iniciales de 61.1±1.6 mg/L y 62.4±1.4 mg/L y finales de 1.5±0.5 mg/L y 1.7±0.5 mg/L ($P<0.05$) en las muestras del tratamiento con autoclave y luz UV, lo cual representa hasta un 97.6 % de remoción de estos nutrientes. En el caso del agua sin desinfectar, el porcentaje de remoción de nitratos

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

alcanzó el 93.6 %. Los ortofosfatos también presentaron una reducción general, con valores finales cercanos a 10 mg/L y un PRN máximo de 89% para los tratamientos de autoclave y U.V y de 85.5 % para la condición control ($P < 0.05$). De nuevo, el agua sin tratamiento presentó un porcentaje de remoción menor con 85.2%. Finalmente, los valores de DQO presentaron la menor reducción de los 3 parámetros evaluados, con valores máximos y mínimos de remoción de 80 y 81 %, correspondientes a 158.8 mgO₂/mL en el caso del tratamiento con U.V y 161.1 mgO₂/mL en el agua sin tratamiento. Estos valores representan alrededor de 9 % más de PRN en comparación con el agua sin tratar. En la figura 4 se aprecian los cambios del pH a través del tiempo. El agua control tuvo variación de 2 puntos mientras las aguas pretratadas variaron alrededor de 1.3.

Tabla 2. Análisis cuantitativo de nutrientes del agua usada para el cultivo de *C. vulgaris*.

Nutrientes	Control			Autoclave			U.V.		
	Valor inicial	Valor final	PRN	Valor inicial	Valor final	PRN	Valor inicial	Valor final	PRN
Nitratos (mg/L)	60,5 ± 0,9	3.9 ± 0,4	93,6	61.1 ± 1,6	1,5 ± 0,5	97,6	62,4 ± 1,4	1.7 ± 0,5	97,2
Ortofosfatos (mg/L)	11 ± 1,1	1,6 ± 0,6	85,5	11,1 ± 1,5	1,2 ± 0,8	89,1	10,3 ± 0,4	1,1 ± 0,5	89,3
DQO (mg/L)	833,8 ± 7,3	243,7 ± 3,8	71	824 ± 6,9	161,1 ± 1,6	80	826,3 ± 7,3	158,8 ± 2,7	81

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

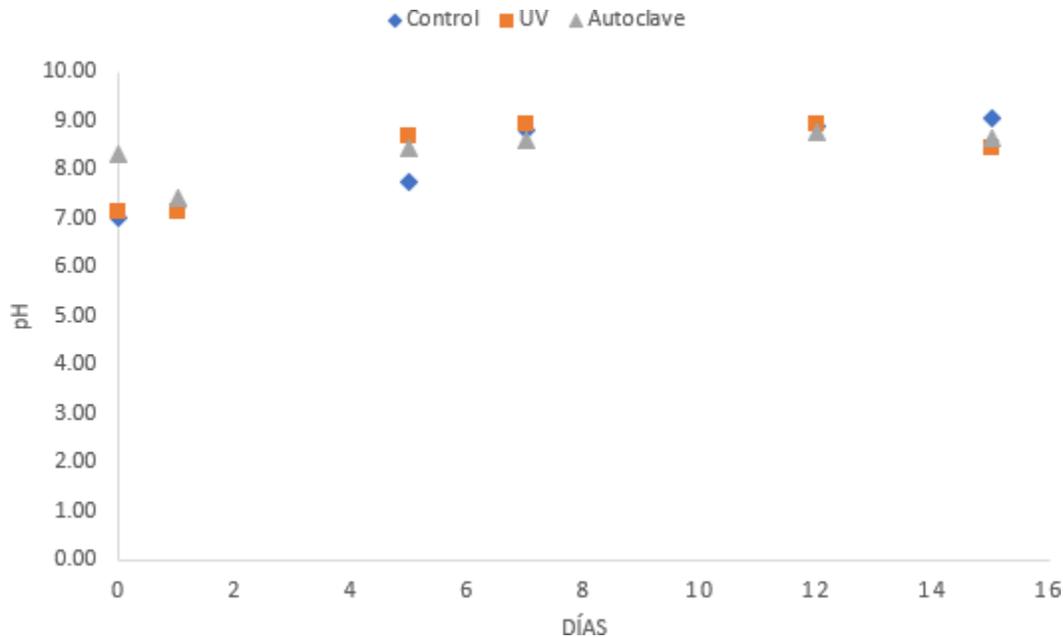


Figura 4. Variación de pH a través del tiempo usando gráficas de dispersión. Los puntos son promedios de tres muestras.

4 DISCUSIÓN

4.1 DESINFECCIÓN

Se demostró que la luz ultravioleta es un eficiente desinfectante contra las bacterias presentes en aguas residuales correspondientes al faenamiento de porcicultura. La duración de treinta minutos de este tratamiento dio como resultado disminuciones de 4 log de UFC, siendo eficiente en su totalidad para bacterias de tipo *E. coli* y enterobacterias. Las bacterias no fermentadoras de lactosa demostraron mayor resistencia contra este tipo de desinfección con vestigios mínimos remanentes correspondientes al 0.02% del agua control, lo que puede tomarse como una desinfección suficiente para el estudio, ya que se presupone que no afectaría el posterior crecimiento de las microalgas. Este resultado está de acuerdo con otros estudios previos (Guo, Hu,

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

Bolton, & El-din, 2009) los cuales demostraron que la UV es efectiva contra la *E. coli* en pruebas de laboratorio. En dichos estudios se comprobó que la desinfección fue superior a 3 log y llegando hasta 6 log de reducción cuando se utilizaron energías superiores a 6 mJ cm². Los valores de irradiación se fijaron durante todo el experimento, y las dosis de UV se controlaron cambiando los tiempos de exposición. Aunque el estudio se focalizó en las dosis energéticas y no en el tiempo de exposición, se pudo apreciar que existió total inactivación de la *E. coli* y de otros coliformes usando radiación UV. En otro estudio realizado por Jolis, Lam, & Pitt (2001) se identificó que una dosis de aproximadamente 800 J/m² cumple consistentemente con el criterio de desinfección de coliformes de aguas residuales urbanas de California cuando se aplica al efluente de filtración en línea, indicando que la turbidez del agua es un factor a tomar en cuenta cuando se desinfecte a través de UV las aguas residuales.

La desinfección por NaClO fue relativamente baja, con reducciones menores de 1 log, estando en similitud con otros estudios (Koivunen & Heinonen-Tanski, 2005) en donde la desinfección con 18 mg L⁻¹ de NaClO tuvo reducciones menores a 1 log en *E. Coli*, *S. enteritidis* y colifagos, en aguas con cultivos de microorganismos que simulaban desechos urbanos. Además, el tratamiento con NaClO adolece de necesitar de post tratamiento para la neutralización de residuos. En un estudio realizado por Lantagne (2008), sobre un total de 106 fuentes de agua de 13 países se determinó que 1.88 mg L⁻¹ (1.88 ppm) de NaClO pueden ser usados para cumplir con los valores establecidos por la Organización Mundial de la Salud como libres de cloro (> 0.2 mg/L al cabo de 24 horas). Sobre la base de los resultados de la investigación y otros estudios, la cloración por sí sola no se recomienda para aguas de origen con turbidez > 100 ntu, debido a que requiere altas dosis para su desinfección.

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

El ácido paracético (PAA) demostró niveles altos de desinfección, con eliminaciones de 2 a 3 log en un periodo de 10 minutos y concentraciones mayores a 12.5 ppm. Para este tipo de agua resultó un bactericida eficiente. Resultados similares se pueden observar en los estudios realizados por Caretti & Lubello (2003); dicho estudio que utilizó este químico en aguas de agricultura en Italia, se demostró que el ácido peracético es un desinfectante eficaz contra las bacterias entéricas. Las dosis de PAA de 1.5 a 3 mg / L y un tiempo de contacto de 10 minutos resultaron en reducciones de 2-3 log de *E. coli*, *E. faecalis* y *S. enteritidis*. Aunque los niveles de inactivación obtenidos fueron bastante elevadas (por encima de 3 Log para el total de coliformes) no fueron suficientes para garantizar el cumplimiento de la legislación italiana para la reutilización de aguas residuales para riego. En otro estudio realizado en la ciudad de Montreal por Gehr et al. (2003), se evaluó la capacidad del PAA al 12% para inactivar los organismos indicadores de coliformes fecales, enterococos, colifago MS-2 y *Clostridium perfringens* en el efluente de una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas. Las dosis de PAA para alcanzar el nivel objetivo de coliformes fecales de 9000 UFC/100 mL, con muestras control de más de 2 000 000 de UFC/100 mL, excedieron los 6 mg/L. Se obtuvieron resultados similares para los enterococos y no se observó inactivación de *C. perfringens*. Sin embargo, se produjo una reducción de 1 log de MS-2 a dosis de PAA de 1.5 mg/L y superiores. Estos resultados tienen semejanza con los obtenidos en el presente estudio aunque cabe destacar la diferencia de microbacterias en ambas muestras.

4.2 CRECIMIENTO DE MICROALGAS

Aunque la *C. vulgaris* pudo sobrevivir en todos los casos, aún en los del agua control, la concentración de biomasa y la reproductividad de la microalga fue menor en el agua sin tratamiento que en las muestras pretratadas. Exámenes microscópicos mostraron muchas especies de bacterias y otros microorganismos en las aguas residuales no tratadas (no mostrado). Estos

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

contaminantes biológicos pueden haber limitado y amenazado el crecimiento de *C. vulgaris*. El tratamiento con UV pudo inactivar estos microorganismos casi tan efectivamente como el tratamiento de autoclave, de acuerdo con el crecimiento de biomasa en ambos casos. El tratamiento con autoclave tuvo mejores resultados que el de UV, pero sin diferencias significativas ($p > 0,05$). Estos resultados tienen similitud con otro estudio en cuanto al crecimiento con tratamiento y sin tratamiento (Qin et al., 2014) en el cual, a pesar de usar la luz UV por 15 minutos y no obtener inactividad total, tuvo crecimientos de biomasa de 0.287 ± 0.009 ($\text{g L}^{-1} \text{ day}^{-1}$) un crecimiento muy superior al agua sin tratar, 0.198 ± 0.017 ($\text{g L}^{-1} \text{ day}^{-1}$).

Según estudios realizados por Currie & Kalff (2013) las bacterias son más eficientes en la obtención de fósforo en condiciones adversas. Esto coadyuvaría a que las algas carezcan de alimento y no tengan los niveles de reproducción que existen en las aguas pretratadas. Otro factor que limitaría el crecimiento de las microalgas es el cambio en el ambiente. Un estudio realizado por Cole (1982) demostró cambios en el ambiente debido a las bacterias. El pH sufre variaciones a través de la producción de ácidos orgánicos y de la oxidación de varios componentes (e.g. NH_4^+) por parte de las bacterias. Estos cambios en pH pueden afectar la disponibilidad de carbón para la fotosíntesis de las algas (Mostafa et al., 2018).

4.3 REMOCIÓN DE NUTRIENTES

El estudio demostró niveles altos de remoción sobre algunos nutrientes como son el fósforo y el nitrógeno en este tipo de agua, con tasas de eliminación del 89% para fósforo y 97% para nitratos, en el agua con pretratamiento. El agua sin tratamiento mostró reducción menor en ambos compuestos, con eliminación de 85% para fósforo y 93% para nitratos. La menor reducción de estos elementos en el agua control pudo deberse a una competencia por la obtención de recursos entre las bacterias y las microalgas, como ya lo indicaron estudios previos como los de Currie &

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

Kalff (2013). Aunque no fue tan eficiente como el nitrógeno y fósforo, la eliminación de DQO tuvo reducciones entre el 80 % para el agua con pretratamiento y de 71% para el agua sin tratamiento. Según estudios realizados por Lee, Lee, Shukla, & Park, (2016), los valores de DQO, en algún momento, deberían aumentar. En dicho estudio, se comprobó que cuando el nitrógeno escasea, la reproducción y crecimiento tanto de bacterias como de microalgas se estanca mientras el DQO sobrepasa los valores iniciales antes de la inoculación. Ese no fue el caso del presente estudio ya que los valores de fósforo y nitrógeno no llegaron a su total remoción.

Con los datos de eliminación se denota que los valores permisibles para aguas residuales, de acuerdo con el TULAS (2011), alcanzan los niveles requeridos por la legislación ecuatoriana vigente, con números de nitrógeno menores a 60 mg L^{-1} , fósforo menor a 15 mg L^{-1} y DQO menor a 500 mg L^{-1} . Para mantener estos factores de DQO se debe tener en cuenta el tiempo de incubación, ya que mayores tiempos pueden ocasionar el desabastecimiento de nutrientes y el aumento de DQO por muerte de las microalgas.

5 CONCLUSIONES

La emisión directa de aguas residuales porcinas de faenamiento tendría un efecto hostil sobre el medio ambiente. Las técnicas que pueden vincular el control de la contaminación y la utilización de los recursos son necesarias. En este estudio se investigó el pretratamiento de las aguas residuales porcinas con diferentes métodos químicos y por UV. Por la inactivación total de UFC bacterianas, se determinó que la radiación por UV era el mejor medio de desinfección. La eficiencia del proceso de desinfección UV depende, en gran medida, del tiempo de exposición. Una dosis de 30 minutos parece ser el valor mínimo que cumple con los objetivos propuestos.

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

Tanto los residuos y las características del agua (sólidos en suspensión y otros componentes de aguas residuales) así como las características y el estado fisiológico de microorganismos pueden afectar la eficiencia de desinfección.

El cultivo de microalgas con aguas pretratadas tuvo diferencias significativas respecto al agua control sin desinfección, por lo que se dedujo que las aguas pretratadas fueron mejores para el cultivo de microalgas. Los nutrientes no se vieron afectados por la desinfección y fueron suficientes para el crecimiento sostenido de *C. vulgaris* inoculada. Con crecimiento tipo exponencial para las aguas pretratadas y sin llegar a la fase estacionaria en ningún momento del estudio, se consideró que las microalgas obtuvieron los nutrientes suficientes durante el periodo observado. Se diferenció del agua control que, a partir del día 13, mostró fase estacionaria; esto pudo ser debido al consumo de nutrientes por parte de bacterias y otros microorganismos, además de cambios en el medio, como es el pH.

También se investigó la capacidad de biorremediación que pudieran tener las microalgas en este tipo de agua residual. Las remociones se obtuvieron al final de los cultivos. La remoción fue suficiente para cumplir con los parámetros del TULAS con respecto a aguas residuales por porcicultura que pueden ser descargados en alcantarillado público. Los hallazgos en esta investigación podrían proporcionar una solución ambiental potencial ya que combina el control de la contaminación y la utilización de recursos con bajo costo y alta factibilidad para aumentar aún más la producción de biocombustible por microalgas.

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

6 RECOMENDACIONES

En este estudio se realizaron pruebas de laboratorio con agua estática, lo cual no sucedía en otros estudios publicados. Es por ello por lo que los tiempos de desinfección por UV no han sido los mismos que en pruebas de campo. Se sugiere hacer pruebas de campo para la validación de resultados a gran escala. También se recomienda el uso de lámparas UV de mayor potencia para evaluar una posible disminución del tiempo de desinfección.

La combinación de dos métodos de desinfección también podría destruir un rango más amplio de microorganismos que el logrado por un solo método, ya que algunos microorganismos son resistentes a los rayos UV, pero sensibles al desinfectante químico, mientras que otros se comportan de manera opuesta. Puede ser más eficiente y económico aplicar una combinación de baja dosis químicas y UV, en lugar de una dosis alta de un desinfectante para destruir estos microorganismos. Se debe realizar una investigación para verificar estos hallazgos en desinfección y a gran escala de aguas residuales.

Esta investigación demostró que las microalgas pueden crecer de manera sostenible en aguas que proceden de la industria porcina dedicada al faenamiento. Si bien este es un estudio preliminar, sería de gran importancia evaluar el crecimiento lipídico de las algas ya que esto favorecería a la real dimensión de posibles usos energéticos.

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

7 REFERENCIAS

- Bolton, J. R., Linden, K. G., & Asce, M. (2003). *Standardization of Methods for Fluence* , *UV Dose ... Determination in Bench-Scale UV Experiments*. (March), 209–215.
- Caretti, C., & Lubello, C. (2003). *Wastewater disinfection with PAA and UV combined treatment : a pilot plant study*. *37*, 2365–2371. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00025-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00025-3)
- Chiu, S. Y., Kao, C. Y., Chen, T. Y., Chang, Y. Bin, Kuo, C. M., & Lin, C. S. (2015). Cultivation of microalgal *Chlorella* for biomass and lipid production using wastewater as nutrient resource. *Bioresource Technology*, *184*, 179–189. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.11.080>
- Cole, J. J. (1982). *INTERACTIONS BETWEEN*. 291–314.
- Currie, D. J., & Kalff, J. (2013). A comparison of freshwater of the abilities algae and bacteria to acquire and retain phosphorus '. *American Society of Limnology and Oceanography*, *29*(2), 298–310.
- Gehr, R., Wagner, M., Veerasubramanian, P., & Payment, P. (2003). Disinfection efficiency of peracetic acid, UV and ozone after enhanced primary treatment of municipal wastewater. *Water Research*, *37*(19), 4573–4586. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00394-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00394-4)
- Guo, M., Hu, H., Bolton, J. R., & El-din, M. G. (2009). Comparison of low- and medium-pressure ultraviolet lamps : Photoreactivation of *Escherichia coli* and total coliforms in secondary effluents of municipal wastewater treatment plants. *Water Research*, *43*(3), 815–821. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.11.028>
- Jolis, D., Lam, C., & Pitt, P. (2001). Particle Effects on Ultraviolet Disinfection of Coliform

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

- Bacteria in Recycled Water. *Water Environment Research*, 73(2), 233–236.
<https://doi.org/10.2175/106143001x139218>
- Jones, C. S., & Mayfield, S. P. (2012). Algae biofuels: Versatility for the future of bioenergy. *Current Opinion in Biotechnology*, 23(3), 346–351.
<https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.10.013>
- Koivunen, J., & Heinonen-Tanski, H. (2005). Inactivation of enteric microorganisms with chemical disinfectants, UV irradiation and combined chemical/UV treatments. *Water Research*, 39(8), 1519–1526. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.01.021>
- Lantagne, D. S. (2008). Sodium hypochlorite dosage for household and emergency water treatment. *Journal / American Water Works Association*, 100(8).
<https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2008.tb09704.x>
- Lee, J., Lee, J., Shukla, S. K., & Park, J. (2016). *Effect of Algal Inoculation on COD and Nitrogen Removal, and Indigenous Bacterial Dynamics in Municipal Wastewater*. (March).
<https://doi.org/10.4014/jmb.1512.12067>
- Mata, T. M., Martins, A. A., & Caetano, N. S. (2010). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 217–232.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.020>
- McCarthy, P., Rasul, M. G., & Moazzem, S. (2011). Analysis and comparison of performance and emissions of an internal combustion engine fuelled with petroleum diesel and different bio-diesels. *Fuel*, 90(6), 2147–2157. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.02.010>
- Meher, L. C., Vidya Sagar, D., & Naik, S. N. (2006). Technical aspects of biodiesel production by

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

transesterification - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10(3), 248–268.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.09.002>

Mostafa, S. S. M., Shalaby, E. A., & Mahmoud, G. I. (2018). Cultivating Microalgae in Domestic Wastewater for Biodiesel Production. *Notulae Scientia Biologicae*, 4(1), 56.

<https://doi.org/10.15835/nsb417298>

Newman, S. E. (2004). Disinfecting Irrigation Water for Disease Management. *20th Annual Conference on Pest Management on Ornamentals*, (970), 1–10.

Qin, L., Shu, Q., Wang, Z., Shang, C., Zhu, S., Xu, J., ... Yuan, Z. (2014). Cultivation of chlorella vulgaris in dairy wastewater pretreated by UV irradiation and sodium hypochlorite. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 172(2), 1121–1130. <https://doi.org/10.1007/s12010-013-0576-5>

Schwartz, B. S., Parker, C. L., Hess, J., & Frumkin, H. (2011). Public health and medicine in an age of energy scarcity: The case of petroleum. *American Journal of Public Health*, 101(9), 1560–1567. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2010.205187>

Slade, R., & Bauen, A. (2013). Micro-algae cultivation for biofuels: Cost, energy balance, environmental impacts and future prospects. *Biomass and Bioenergy*, 53(0), 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.12.019>

Sutton, S. (2012). The limitations of CFU: compliance to CGMP requires good science. *The journal of GXP compliance*, 16, 74–80.

TULAS. (2011). Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes : Recurso Agua. *TULAS Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente*, 8–9.

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

8 INDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS

TABLA 1. UNIDADES FORMADORAS DE COLONIA POR TIPO, POST TRATAMIENTO.....	12
TABLA 2. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE NUTRIENTES DEL AGUA USADA PARA EL CULTIVO DE <i>C. VULGARIS</i>	14
FIGURA 1. MAPA CARTOGRÁFICO DEL SITIO DE DONDE LAS MUESTRAS DE AGUA FUERON ADQUIRIDAS.....	07
FIGURA 2. CONTEO DE UFC EN DIFERENTES EN MUESTRAS DE AGUA SOMETIDAS A LOS TRATAMIENTOS DE DESINFECCIÓN. LAS BARRAS REPRESENTAN PROMEDIOS DE TRES EXPERIMENTOS CON LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR ASOCIADA (MEDIA \pm DE)	11
FIGURA 3. CURVAS DE CRECIMIENTO DE <i>C. VULGARIS</i> EMPLEANDO AGUAS DE PORCICULTURA BAJO DIFERENTES CONDICIONES. LOS PUNTOS EN LAS CURVAS DENOTAN LOS DÍAS DE CONTEO Y VARIACIÓN POR DÍAS	13
FIGURA 4. VARIACIÓN DE PH A TRAVÉS DEL TIEMPO USANDO GRÁFICAS DE DISPERSIÓN. LOS PUNTOS SON PROMEDIOS DE TRES MUESTRAS.....	15

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA AGUAS RESIDUALES DE PORCICULTURA DESTINADAS AL CULTIVO DE CHLORELLA VULGARIS

9 ANEXOS

9.1 ANEXO A. LÍMITES DEL TULAS PARA DESCARGAS INDUSTRIALES PORCINAS

TABLA 9. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Solubles en hexano	mg/l	50,0
Explosivos o inflamables.	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	1,0
Cinc	Zn	mg/l	10,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de	DBO ₅	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Didoroetileno	Didoroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	60,0
Organofosforados y carbamatos	Especies Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables		ml/l	20,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	220,0
Sólidos totales		mg/l	1 600,0
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	400,0
Sulfuro de carbono	Sulfuro de carbono	mg/l	1,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 45,0
Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0