

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA EN ACUICULTURA**



**“TASA DE REMOCIÓN DE COLIFORMES TOTALES Y FECALES DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS POR *Scenedesmus acutus*, EN CONDICIONES DE LABORATORIO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE BIÓLOGO ACUICULTOR**

**AUTORES:**

**Bach. Cerna Ulloa Víctor Hugo**

**Bach. Rivera Ramírez Diego Alberto**

**ASESOR:**

**M. Sc. Mendoza Espinoza Sorayda**

**CO-ASESOR:**

**Dr. Azañero Díaz Carlos Alberto**

**NUEVO CHIMBOTE – PERÚ**  
**2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA EN ACUICULTURA**



**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE BIÓLOGO  
ACUICULTOR**

**“TASA DE REMOCIÓN DE COLIFORMES TOTALES Y FECALES DE AGUAS  
RESIDUALES DOMÉSTICAS POR *Scenedesmus acutus*, EN CONDICIONES DE  
LABORATORIO”**

**TESISTAS:**

**Bach. Cerna Ulloa Víctor Hugo**

**Bach. Rivera Ramírez Diego Alberto**

**REVISADO Y APROBADO POR:**

---

**M.Sc. Sorayda Mendoza Espinoza**

**NUEVO CHIMBOTE – PERÚ  
2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA EN ACUICULTURA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE BIÓLOGO  
ACUICULTOR**

**“TASA DE REMOCIÓN DE COLIFORMES TOTALES Y FECALIS DE AGUAS  
RESIDUALES DOMÉSTICAS POR *Scenedesmus acutus*, EN CONDICIONES DE  
LABORATORIO”**

**TESISTAS:**

**Bach. Cerna Ulloa Víctor Hugo**

**Bach. Rivera Ramírez Diego Alberto**

**APROBADO POR EL JURADO CALIFICADOR INTEGRADO POR LOS  
SIGUIENTES MIEMBROS:**

**Blgo. Mblgo. José Villanueva Carlos**  
**Presidente**

**Blgo. Mblgo. Eterio Alva Muñoz**  
**Integrante de jurado**

**M. Sc. Sorayda Mendoza Espinoza**  
**Integrante del Jurado**

**NUEVO CHIMBOTE – PERÚ**  
**2019**

## ACTA DE CALIFICACIÓN DE LA SUTENTACIÓN DE LA TESIS

En el Distrito de Nuevo Chimbote, en la Universidad Nacional de Santa, en el Lab. de Recursos Acuáticos y Cultivos de Especies Auxiliares, siendo las 18:00 horas del día 30-12-2019, dando cumplimiento a la Resolución N° 223-2019-UNS-FC, se reunió el Jurado Evaluador presidido por Blgo. Mcblgo. José Villanueva Carlos, teniendo como miembros a Blgo. Mcblgo. Eterio Alva Muñoz (secretario) (a), y Msc. Sorayda Mendoza Espinoza (integrante), para la sustentación de tesis a fin de optar el título de Biólogo Acuicultor realizado por el, (la) (los) tesista (as) Bach. Cerna Ulloa Víctor Hugo y Bach. Rivera Ramírez Diego Alberto, quien (es) sustentó (aron) la tesis intitulada: Tasa de remoción de coliformes totales y pecales de aguas residuales domésticas por *Scenedesmus acutus* en condiciones de laboratorio.

Terminada la sustentación, el (la), (los) tesista (as)s respondió (ieron) a las preguntas formuladas por los miembros del jurado.

El Jurado, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como Muy bueno asignándole un calificativo de 17 puntos, según artículo 103° del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, vigente (Resolución N° 492-2017-CU -R-UNS)

Siendo las 19:30 horas del mismo día se dio por terminado el acto de sustentación firmando los miembros del Jurado en señal de conformidad

  
Nombre: Blgo. Mcblgo. José Villanueva Carlos  
Presidente

  
Nombre: Blgo. Mcblgo. Eterio Alva Muñoz  
Secretario

  
Nombre: Msc. Sorayda Mendoza Espinoza  
Integrante

Distribución: Integrantes J.É ( ), tesistas ( ) y archivo (02);



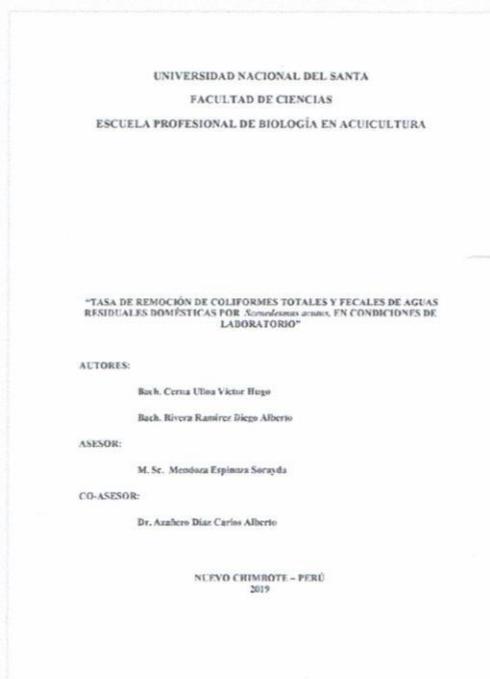


## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Victor Y Diego Cerna Y Rivera  
Título del ejercicio: INFORME DE TESIS  
Título de la entrega: INFORME DE TESIS  
Nombre del archivo: Informe\_de\_tesis\_tasa\_de\_remocio...  
Tamaño del archivo: 3.05M  
Total páginas: 32  
Total de palabras: 6,054  
Total de caracteres: 32,520  
Fecha de entrega: 07-ene-2020 11:12a.m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 1239800861



## **DEDICATORIA**

A Dios por sobre toda las cosas, la honra y gloria para él. A Amparito Ulloa, mi Madre, cuando te pienso o escribo tu nombre como en estas líneas, le doy gracias a Dios por tenerte a mi lado, eres la joya más valiosa que tengo en mi vida, pilar importante para nunca rendirme a pesar de las dificultades, ejemplo de lucha, constancia y dedicación.

A Víctor Cerna mi padre, siempre llevo conmigo cada conversación, donde el único objetivo es entender el mensaje de superación que me das.

A Rosy, Alex y Massiel, porque los amo.

### **Cerna Ulloa, Víctor Hugo**

Dios es el artífice para que los anhelos se hagan realidad, hoy y siempre las gracias por las bendiciones vertidas; a mis padres, Narda y Alberto que son mi mayor motivo para hacer realidad mis sueños, por su apoyo incondicional y no dejarme caer en este camino tan largo; quiero decirles que los amo.

A mi hermana Claudia, que dedica mucho tiempo en ayudarme cuando más la necesito, a Sindy que siempre me motivó para conseguir la titulación, a mis amigos y docentes de la Universidad Nacional del Santa que nos apoyaron constantemente para poder culminar este trabajo de investigación, muy agradecido con todos ellos.

**Rivera Ramírez, Diego Alberto**

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestros profesores Sorayda Mendoza Espinoza, Carlos Alberto Azañero Díaz y Juan Fernando Merino Moya, quienes desde el primer día nos acompañan con dedicación y cariño para llevar adelante esta investigación.

A cada una de las personas que permanecen en nuestras vidas, nuestro reconocimiento e inmensa gratitud por el apoyo incondicional, porque nos han inspirado, logrando conovernos e iluminarnos con su presencia.

El compañerismo, la amistad. Es algo que se forja con el tiempo y se mantiene con el respeto, es por ello que agradecemos a nuestros compañeros y amigos que durante la ejecución del proyecto nos brindaron su apoyo.



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1) Universidad Nacional del Santa, 2) Escuela Profesional de Biología en Acuicultura .....	12
Figura 2. Inóculo de <i>S. acutus</i> en condiciones de laboratorio .....	13
Figura 3. 1) Ubicación de la laguna de oxidación, 2) Laguna de oxidación (Imagen tomada de Google Earth, Agosto del 2019) .....	14
Figura 4. Colecta de agua residual doméstica de la laguna de oxidación del distrito de Casma .....	14
Figura 5. Distribución de las unidades experimentales y controles .....	15
Figura 6. Toma de muestras para análisis microbiológico .....	17
Figura 7. Crecimiento poblacional de los cultivos de <i>S. acutus</i> .....	20
Figura 8. Unidades experimentales en el día 7 del cultivo .....	22
Figura 9. Células de <i>S. acutus</i> en el tratamiento con 100% de agua residual doméstica.....	22
Figura 10. Remoción de coliformes totales con los cultivos de <i>S. acutus</i> .....	25
Figura 11. Remoción de coliformes totales en los tratamientos controles .....	25
Figura 12. Remoción de coliformes fecales con los cultivos de <i>S. acutus</i> .....	26
Figura 13. Remoción de coliformes fecales en los tratamientos controles.....	26
Figura 14. Variación de la concentración de oxígeno disuelto en los cultivos experimentales.....	27
Figura 15. Variación de la concentración de oxígeno disuelto en los tratamientos controles. ....	27
Figura 16. Variación de la temperatura de los cultivos de <i>S. acutus</i> .....	28
Figura 17. Variación del pH de los cultivos de <i>S. acutus</i> .....	29
Figura 18. Variación del pH en los tratamientos controles.....	29

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Volúmenes de los componentes empleados en el experimento.....	15
Tabla 2. Diseño experimental de la investigación.....	16
Tabla 3. Parámetros Físico-químicos del agua residual doméstica de la laguna de oxidación de Casma.....	19
Tabla 4. Tasa de crecimiento (u) y tiempo de duplicación (TD) de los cultivos.....	21
Tabla 5. Análisis estadístico del crecimiento poblacional (cel $\times 10^4$ ) de <i>S. acutus</i> .....	21
Tabla 6. Tasa de remoción de Coliformes totales.....	24
Tabla 7. Tasa de remoción de Coliformes fecales.....	24

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Niveles de oxígeno en los tratamientos experimentales.....	45
Anexo 2. Niveles de oxígeno en los tratamientos controles.....	45
Anexo 3. Temperatura de los cultivos experimentales.....	46
Anexo 4. Temperatura de los cultivos controles.....	46
Anexo 5. Niveles de pH de los cultivos experimentales.....	47
Anexo 6. Niveles de pH de los cultivos controles.....	47
Anexo 7. Crecimiento poblacional (cél mL <sup>-1</sup> ) de <i>S. acutus</i> .....	48
Anexo 8. Análisis de coliformes totales y fecales en COLECBI.....	48

## RESUMEN

La contaminación es uno de los principales problemas de la humanidad en esta época. Los vertimientos de agua residual representan la principal fuente de contaminación de cuerpos de agua, dado que contienen elevada carga de nutrientes y bacterias coliformes; lo cual representa un potencial riesgo para la salud. En ese sentido, el objetivo principal de esta investigación fue evaluar la tasa de remoción de coliformes totales y fecales de aguas residuales domésticas utilizando cultivos de *S. acutus*. El diseño del experimento consistió en tratamientos experimentales con *S. acutus* en diferentes concentraciones de agua residual (25, 50, 75 y 100%) y controles sin microalga, con las mismas concentraciones de agua residual. Los cultivos fueron mantenidos bajo condiciones regulares de cultivo, con agitación e iluminación constante. Se determinó el crecimiento poblacional y la tasa de remoción de coliformes, totales y fecales, mediante el cálculo del NMP durante el experimento. Los resultados indican una remoción de hasta el 100% de coliformes en todos los tratamientos experimentales con *S. acutus* en el día 7 de cultivo, mientras que la máxima remoción del 96.57% fue determinada en el tratamiento control con 25% de agua residual. Por otro lado, las tasas de remoción más bajas se observaron en los tratamientos controles (sin microalgas), sin embargo, se observó una remoción de 96.57% con el tratamiento de 25% en el día 7. Asimismo, se determinó que los cultivos de *S. acutus* presentan buen crecimiento en todas las concentraciones evaluadas, siendo el máximo crecimiento de  $1125.67 \pm 133.59$  cél mL<sup>-1</sup>, con 100% de efluente. Esta investigación demuestra el potencial de la microalga *S. acutus* para remover bacterias patógenas en ambientes acuáticos, siendo necesario el escalamiento de los cultivos para implementar una tecnología que pueda dar solución al problema de contaminación por vertimientos.

**Palabras clave:** *Scenedesmus acutus*, aguas residuales, coliformes, remoción.

## ABSTRACT

Pollution is one of the main problems of humanity at this time. Wastewater discharges represent the main source of contamination of water bodies, since they contain a high load of nutrients and coliform bacteria; which represents a potential health risk. In that sense, the main objective of this research was to evaluate the removal rate of total and faecal coliforms from domestic wastewater using *S. acutus* cultures. The design of the experiment consisted of experimental treatments with *S. acutus* in different concentrations of residual water (25, 50, 75 and 100%) and controls without microalgae, with the same concentrations of residual water. The crops were kept under regular growing conditions, with constant agitation and lighting. Population growth and removal rate of coliforms, total and fecal, were determined by calculating the NMP during the experiment. The results indicate a removal of up to 100% of coliforms in all experimental treatments with *S. acutus* on day 7 of culture, while the maximum removal of 96.57% was determined in the control treatment with 25% residual water. On the other hand, the lowest re-removal rates were observed in the control treatments (without microalgae), however, a 96.57% removal was observed with the 25% treatment on day 7. Likewise, it was determined that the cultures of *S. acutus* show good growth in all the concentrations evaluated, the maximum growth being  $1125.67 \pm 133.59 \text{ mL}^{-1} \text{ cell}$ , with 100% effluent. This research demonstrates the potential of the *S. acutus* microalgae to remove pathogenic bacteria in aquatic environments, requiring the scaling of crops to implement a technology that can solve the problem of pollution by dumping.

**Keywords:** *Scendesmus acutus*, sewage, coliforms, removal.

## I. INTRODUCCIÓN

El agua, a pesar de ser el recurso más importante sobre la tierra por poseer una molécula que interviene en los procesos vitales de todo organismo viviente, siempre ha quedado rezagada dentro de las prioridades de atención (Bolaños, 2017). Es así como los seres humanos han alterado la calidad de las fuentes hídricas, a través de los vertimientos domésticos e industriales (Meneses *et al.*, 2019). Esto debido al constante crecimiento poblacional, la sobreexplotación, los procesos de industrialización y el acelerado desarrollo económico, trayendo como consecuencia el incremento de desechos, que llegan a exceder la capacidad de asimilación de la naturaleza, provocando la eutrofización de los ecosistemas acuáticos (Macedo, 2018).

En el mundo, solo el 20 % de las aguas residuales reciben algún tipo de tratamiento (WWAP, 2017). Asimismo, en el Perú el deterioro de la calidad del agua es uno de los problemas más graves (MINAM, 2009); puesto que las entidades prestadoras de servicios de saneamiento (EPS) no brinda un servicio adecuado, a causa de la sobrecarga de aguas residuales e infraestructura insuficiente, generando que los efluentes excedan los límites máximos permisibles (OEFA, 2016).

Por lo tanto, el tratamiento de agua residual consiste en eliminar los desechos de rápida sedimentación (tratamiento primario) y oxidar los desechos orgánicos existentes (tratamiento secundario). Aun cuando el efecto del tratamiento (primario y secundario) deja un efluente parcialmente limpio, las aguas residuales son vertidas a cuerpos de aguas naturales (Abderl-Raouf *et al.*, 2012). Sin embargo, estos tratamientos no son eficaces, puesto que, las aguas residuales aun contienen patógenos, productos orgánicos y nutrientes (OMS, 2018). En tal sentido, también es de importancia reducir la cantidad de patógenos, con la finalidad de que el riesgo de transmisión de enfermedades relacionadas con aguas residuales sea bajas (Almasied *et al.*, 2016).

Los organismos patógenos presentes en las aguas residuales pueden provenir de desechos humanos que estén infectados o sean portadores de una enfermedad determinada (González *et al.*, 2019), encontrando a las bacterias coliformes totales y fecales causantes de enfermedades gastrointestinales (Rojas & Sánchez, 2019)

Como se puede inferir, los métodos de tratamiento convencionales, comúnmente requieren grandes aportes de energía, extensas áreas de tierra, alto presupuesto de

operación y mantenimiento (Mohd *et al.*, 2017). Por ello, y para evitar los impactos negativos asociados con el vertimiento de desechos a ecosistemas hídricos, se necesitan tratamientos efectivos, es así como las microalgas aparecen como una alternativa para la eliminación de nutrientes y microorganismos perjudiciales de ecosistemas acuáticos (Gonçalves *et al.*, 2017).

Las microalgas cumplen una función a nivel medio ambiental, fijando carbono atmosférico y aportando oxígeno a la biosfera. La abundancia, biodiversidad y la destreza para poder tolerar condiciones ambientales extremas, son características que las hacen importantes a nivel científico e industrial (Muñiz, 2019), debido a su resistencia y capacidad de acumular importantes concentraciones de compuestos tóxicos, sin afectar su actividad biológica (Vacca *et al.*, 2017).

Por lo tanto, el cultivo de microalgas adquiere protagonismo, ya que distintas especies muestran la capacidad depurativa que poseen; Eliminando de los ecosistemas acuáticos, fosfatos y nitratos utilizando *Scenedesmus rubescens* (Pandian & Thomas, 2019); amonio mediante el uso de *Desmodesmus* sp. (Ji *et al.*, 2014); amoniaco y sulfuro de hidrogeno empleando *Ankistrodesmus falcatus* (Aguirre, 2018). Por otro lado, también se demuestra la elevada eficiencia de remoción de DQO por medio de la microalga *Lagerheimia* sp. (Martínez-Hernández *et al.*, 2018) y DBO por *Scenedesmus* sp. (Rosales *et al.*, 2018).

De este modo, las clorofitas son el grupo que reúne una gran diversidad de especies con alto potencial para realizar investigaciones. Por ello, observamos que en nuestro entorno existen estudios con resultados positivos utilizando *S. acutus*, demostrando un acelerado crecimiento poblacional empleando aguas residuales como medio de cultivo (Jara & Roque, 2015; Vásquez & Zavaleta, 2017; Calderón y Chávez, 2019). Sin embargo, no se hallaron antecedentes del uso de *S. acutus* en aguas residuales, para la remoción de coliformes totales y fecales.

El género *Scenedesmus* tiene una gran capacidad para eliminar materiales orgánicos de aguas residuales (Amini *et al.*, 2019). La microalga *S. acutus* (Meyen, 1829) pertenece a la división Chlorophyta, familia Scenedesmaceae, es un alga colonial con 2, 4 u 8 cenobios, planctónico en estanques y lagos de agua dulce, distribuidos en todo el mundo (Rai, 2013).

En consecuencia, se formula el siguiente problema de investigación ¿Cuál será la tasa de remoción de coliformes totales y fecales de aguas residuales domésticas por *S. acutus*, en condiciones de laboratorio?

La hipótesis establece que, si cultivamos *S. acutus* en diferentes concentraciones 25%, 50%, 75% y 100% del efluente de agua residual doméstica, entonces se logrará la mayor tasa de remoción de coliformes totales y fecales con una concentración de 75% de agua residual.

Objetivo general:

Evaluar la tasa de remoción de bacterias coliformes totales y fecales mediante el cultivo de microalga *Scenedesmus acutus* en condiciones de laboratorio.

O. Específicos:

Determinar la tasa de remoción de coliformes totales y fecales por *S. acutus* en diferentes concentraciones (0, 25, 50, 75, 100%) del efluente de agua residual doméstica.

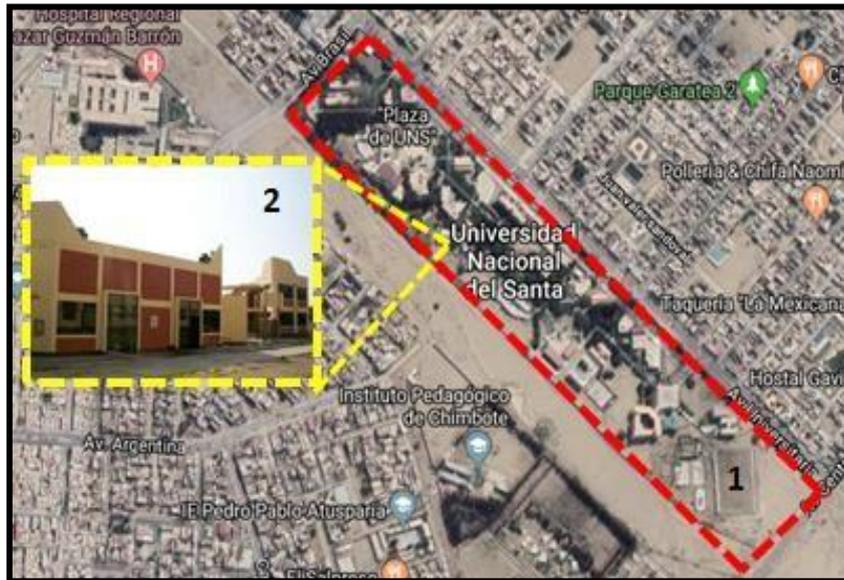
Determinar el crecimiento poblacional (cél mL<sup>-1</sup>) de *S. acutus*, con diferentes concentraciones (0, 25, 50, 75, 100%) del efluente de agua residual doméstica.

Determinar los parámetros que contribuyen a la remoción de los coliformes totales y fecales del efluente residual doméstico.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Localización del Proyecto

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el Laboratorio de Cultivos de Especies Auxiliares de la Escuela Académica Profesional de Biología en Acuicultura, de la Universidad Nacional del Santa (Nuevo Chimbote, Perú), durante el mes de Octubre del 2016.



**Figura 1.** 1) Universidad Nacional del Santa, 2) Escuela Profesional de Biología en Acuicultura

### 2.2. Procedencia de *S. acutus*

Se utilizó una cepa de *S. acutus* proporcionada por el Laboratorio de Cultivos de Especies Auxiliares de la Universidad Nacional del Santa, aclimatada a condiciones de laboratorio, en botellas plásticas de 2000 mL de capacidad y un volumen efectivo de 1500 mL de agua de caño y 1.5 mL de medio de cultivo HM (Merino, 2002), iluminación continua proporcionada por dos fluorescentes de 40 watts y aireación constante suministrada por blower ½ HP a una tasa de flujo de 300 mL min<sup>-1</sup>.

### 2.3. Preparación de los inóculos de *S. acutus*

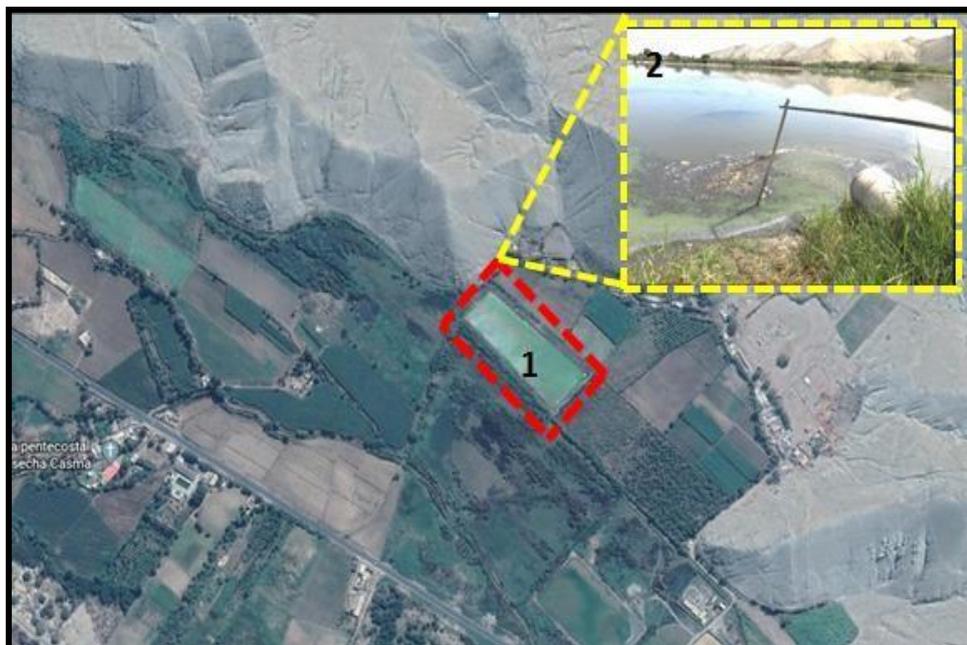
Los cultivos iniciales de *S. acutus* se realizaron en matraces de vidrio de 250 mL con medio de cultivo HM (Merino, 2002), y posteriormente se realizó un escalamiento del cultivo a botellas con 1.5 L para obtener el volumen de inóculo requerido. Los cultivos algales que se usaron fueron cosechados en fase de crecimiento exponencial y se emplearon en las unidades experimentales manteniendo una concentración inicial promedio de  $4.0 \times 10^4$  cél. mL<sup>-1</sup>.



**Figura 2.** Inóculo de *S. acutus* en condiciones de laboratorio

### 2.4. Obtención del agua residual

El agua residual fue captada de la laguna de oxidación del distrito de Casma, localizada en las siguientes coordenadas: 9°27'34''S, 78°19'13.8''W (Fig. 3). Las muestras de agua residual fueron colectadas siguiendo el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos (ANA, 2011). Asimismo, se transportaron 15 L de agua residual debidamente tamizados (Fig. 4); además, se determinó los parámetros de temperatura, pH, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, DBO, DQO. Inmediatamente, las muestras fueron transportadas hacia el Laboratorio de Cultivos de Especies Auxiliares de la Escuela de Biología en Acuicultura.



**Figura 3.** 1) Ubicación de la laguna de oxidación, 2) Laguna de oxidación (Imagen tomada de Google Earth, Agosto del 2019).



**Figura 4.** Colecta de agua residual doméstica de la laguna de oxidación del distrito de Casma. A) punto de muestreo. B) toma de muestra. C) llenado de la muestra. D) rotulación de la muestra.

## 2.5. Acondicionamiento de las unidades experimentales

Se utilizaron 24 fotobiorreactores plásticos de 1.5 L de capacidad con un volumen efectivo de 1 L para los tratamientos, experimentales y controles (Fig. 5). Los cultivos se iniciaron con concentración algal de  $4.0 \times 10^4$  cél mL<sup>-1</sup>. Durante el desarrollo de la experiencia se consideró como control agua residual sin *Sc. acutus*. Asimismo, se suministró iluminación constante con tubos fluorescentes de 40 watts, equidistante a 10 centímetros de las botellas de cultivo y agitación periódica por medio de un blower a un flujo de 300 mL min<sup>-1</sup>, con la finalidad de evitar la sedimentación de las células y homogenizar la exposición de las algas a la luz y nutriente. Cada tratamiento fue trabajado con una réplica que no contenía *S. acutus* para determinar el verdadero efecto de las microalgas sobre las variables de estudio (Tabla 1).

**Tabla 1.** Volúmenes de los componentes empleados.

Componente	TRATAMIENTOS							
	T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>		T <sub>3</sub>		T <sub>4</sub>	
	T <sub>c</sub> <sup>*</sup>	T <sub>250</sub>	T <sub>c</sub>	T <sub>500</sub>	T <sub>c</sub>	T <sub>750</sub>	T <sub>c</sub>	T <sub>1000</sub>
<b>ARD<sup>**</sup></b>	250	250	500	500	750	750	1000	1000
<b>H<sub>2</sub>O dest.<sup>***</sup></b>	750	750	500	500	250	250	0	0
<b><i>S. acutus</i></b>	0	4x10 <sup>4</sup>	0	4x10 <sup>4</sup>	0	4x10 <sup>4</sup>	0	4x10 <sup>4</sup>

\*: Tratamiento control sin *S. acutus*; \*\*: Agua residual doméstica; \*\*\*: Agua destilada y *Sc. acutus* a  $4 \times 10^4$  cel/ml.



**Figura 5.** Distribución de las unidades experimentales y controles.

## 2.6. Diseño experimental

Se utilizó el diseño experimental aleatorizado de estímulo creciente con cuatro tratamientos experimentales y 4 controles con tres repeticiones, en concentraciones diferentes para cada tratamiento.

**Tabla 2.** Diseño experimental de la investigación.

<b>Tratamientos</b>	<b>Especificaciones</b>
Tratamiento control	Agua residual 25, 50, 75 y 100% sin <i>S. acutus</i>
Tratamiento 1	<i>S. acutus</i> y 25% de agua residual
Tratamiento 2	<i>S. acutus</i> y 50% de agua residual
Tratamiento 3	<i>S. acutus</i> y 75% de agua residual
Tratamiento 4	<i>S. acutus</i> y 100% de agua residual

## 2.7. Determinación de Parámetros Operacionales

Diariamente, se registró el pH de los cultivos algales usando un pHmetro digital de la marca Oakton con  $\pm 00.1$  de sensibilidad. La temperatura se registró de la suspensión algal así como la del ambiente utilizando un termómetro digital de la marca Hanna, de  $\pm 0.1$  °C de sensibilidad. La iluminación fue determinada con un luxómetro digital Hanna de 0.1 de sensibilidad

## 2.8. Determinación de coliformes totales y fecales

El análisis de agua residual para determinar la concentración de coliformes totales y fecales se realizó a diario durante 7 días, las muestras fueron trasladadas en recipientes de vidrio esterilizados hasta COLECBI S.A.C., quien realiza el servicio de determinación de coliformes totales y fecales utilizando el Método de Número más Probable (NMP).



**Figura 6.** Toma de muestras para análisis microbiológico.

## 2.9. Determinación del crecimiento poblacional

El crecimiento poblacional en los cultivos se determinó por conteos diarios del número de células durante 7 días. Para ello se extrajo una muestra de la suspensión algal con ayuda de una micropipeta pasteur; dicha muestra fue inmovilizada con una solución de lugol para facilitar el conteo celular; se utilizó una cámara de Neubauer de 0.1 mm de profundidad y un microscopio compuesto marca Nikon con aumento de 40 x; el conteo se realizó tomando 5 campos al azar. Los cálculos de la densidad celular (cél.  $\text{ml}^{-1}$ ) en la cámara de Neubauer, se realizó de acuerdo a la siguiente fórmula descrita en Capa (2010).

$$\text{Número de cél. ml} = \frac{P \times 10^6}{4 \times D}$$

Dónde:

P es el número promedio de células de los campos de azar.

D es la dilución.

4 y  $10^6$  son las constantes usadas para expresar el volumen de la muestra en ml.

Para determinar la tasa de crecimiento poblacional por día ( $\mu$ ) y Tiempo de duplicación poblacional diaria ( $TD$ ) al séptimo día de cultivo se usaron las siguientes formulas:

$$\mu = \frac{\ln(N_f / N_0)}{t_f - t_0}$$

$N_f$  y  $N_0$  : Número de células, final e inicial.  
 $t_f$  y  $t_0$  : Tiempo (d), final e inicial.

## 2.10. Determinación de la tasa de remoción

Se calculó la tasa de remoción (Aslan & Kapdan, 2006) según la siguiente fórmula:

$$T.R = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

Dónde:

$C_i$ : concentración inicial.

$C_f$ : concentración final

## 2.11. Análisis estadísticos

Los datos de crecimiento poblacional y concentración de coliformes totales y fecales, Se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación múltiple de tukey para demostrar la existencia de diferencias significativas entre promedios obtenidos en los distintos tratamientos. En ambos casos se trabajó con un nivel de significancia de 0.05. El análisis estadístico fue desarrollado utilizando los programas, Microsoft Office Excel 2010 y SPSS Versión 15.0 para Microsoft Windows XP.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Parámetros Físico-químicos del agua residual doméstica

Los efluentes residuales domésticos de la ciudad de Casma se caracterizan por una elevada cantidad de coliformes totales y fecales (Tabla 3); además de una elevada demanda química y bioquímica de oxígeno. Asimismo, los nutrientes determinados ( $\text{NO}_3$  y  $\text{PO}_4$ ) fueron elevados, lo cual justificó su evaluación en el crecimiento de la microalga *S. acutus*.

**Tabla 3.** Parámetros Físico-químicos del agua residual doméstica de la laguna de oxidación de Casma.

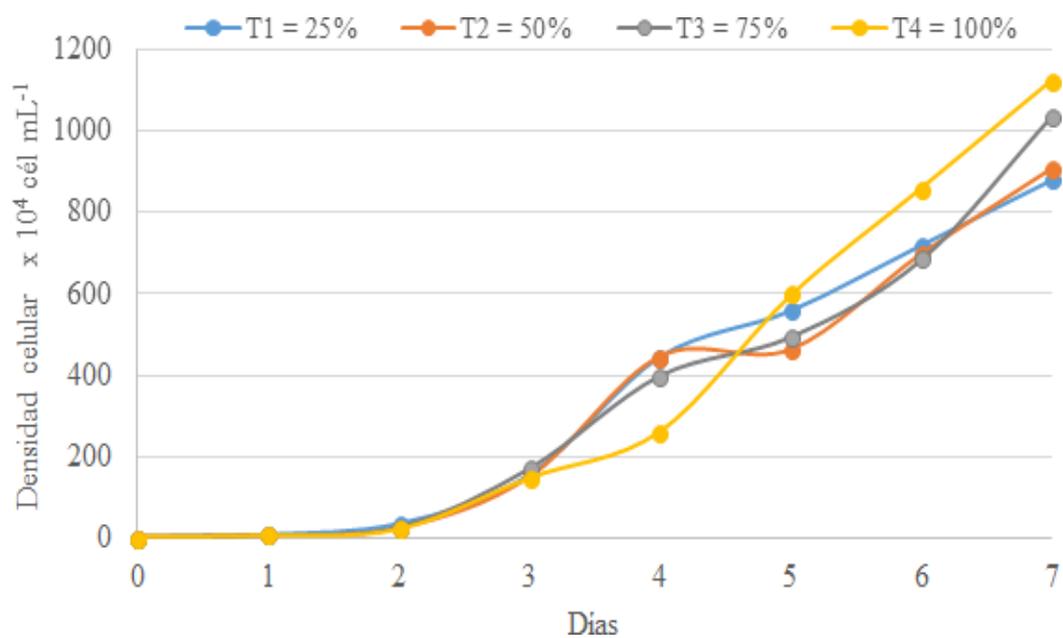
Parámetro	Valor
Temperatura	23.00 °C
pH	7.39
$\text{NO}_3$	130.00 mg L <sup>-1</sup>
$\text{PO}_4$	29.80 mg L <sup>-1</sup>
DBO	259.00 mg L <sup>-1</sup>
DQO	470.00 mg L <sup>-1</sup>
Coliformes totales	$35 \times 10^6$
Coliformes fecales	$13 \times 10^6$

#### 3.2. Crecimiento poblacional de los cultivos de *S. acutus*

Durante el experimento, todos los cultivos experimentales mantuvieron un crecimiento constante y continuo, con una fase de crecimiento lag (lenta) hasta el día 4, y una fase exponencial (acelerada) hasta el día 7 (Fig. 7). En la curva de crecimiento se destaca la fase lag, la cual fue más prolongada a comparación de la exponencial, ello debido a la aclimatación de las microalgas al medio de cultivo con el agua residual.

El máximo crecimiento se obtuvo en el tratamiento 4 con 100% de efluente doméstico, el cual fue de  $1125.67 \pm 133.59 \times 10^4$  cél mL<sup>-1</sup>, mientras que el menor crecimiento se obtuvo en el tratamiento 1, con 25% de efluente doméstico, el cual fue de  $879.67 \pm 56.80 \times 10^4$  cél mL<sup>-1</sup>. Estos resultados son consistentes con la dinámica del crecimiento, ya que a mayor disposición de nutrientes se obtiene mayor crecimiento

poblacional. Además, se observó diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ) en el crecimiento poblacional en los tratamientos de 75 y 100% de agua residual doméstica (con microalgas) en el día 7 (Tabla 4).



**Figura 7.** Crecimiento poblacional de los cultivos de *S. acutus*.

**Tabla 4.** Análisis estadístico del crecimiento poblacional ( $\text{cel} \times 10^4$ ) de *S. acutus*.

Días	Tratamientos con agua residual doméstica			
	T <sub>1</sub> = 25%	T <sub>2</sub> = 50%	T <sub>3</sub> = 75%	T <sub>4</sub> = 100%
0	4.00 ±0.00 <sup>a</sup>	4.00 ±0.00 <sup>a</sup>	4.00 ±0.00 <sup>a</sup>	4.00 ±0.00 <sup>a</sup>
1	8.46 ±0.33 <sup>a</sup>	7.00 ±0.10 <sup>a</sup>	6.69 ±0.16 <sup>a</sup>	6.17 ±0.21 <sup>a</sup>
2	35.27 ±9.57 <sup>a</sup>	24.80 ±3.97 <sup>a</sup>	26.23 ±6.13 <sup>a</sup>	21.87 ±6.76 <sup>a</sup>
3	154.87 ±56.78 <sup>a</sup>	150.67 ±3.06 <sup>a</sup>	170.50 ±1.83 <sup>a</sup>	147.33 ±7.75 <sup>a</sup>
4	445.00 ±75.79 <sup>a</sup>	446.67 ±142.86 <sup>a</sup>	398.33 ±114.14 <sup>a</sup>	261.67 ±69.39 <sup>a</sup>
5	558.33 ±53.93 <sup>a</sup>	463.67 ±145.50 <sup>a</sup>	493.33 ±87.37 <sup>a</sup>	596.00 ±43.71 <sup>a</sup>
6	719.23 ±27.85 <sup>a</sup>	698.47 ±42.04 <sup>a</sup>	683.33 ±65.26 <sup>a</sup>	859.63 ±63.18 <sup>a</sup>
7	879.67 ±56.80 <sup>a</sup>	908.63 ±98.75 <sup>a</sup>	1035.83 ±75.10 <sup>b</sup> <sup>a</sup>	1125.67 ±133.59 <sup>c</sup>

**Tabla 5.** Tasa de crecimiento (*u*) y tiempo de duplicación (TD) de los cultivos.

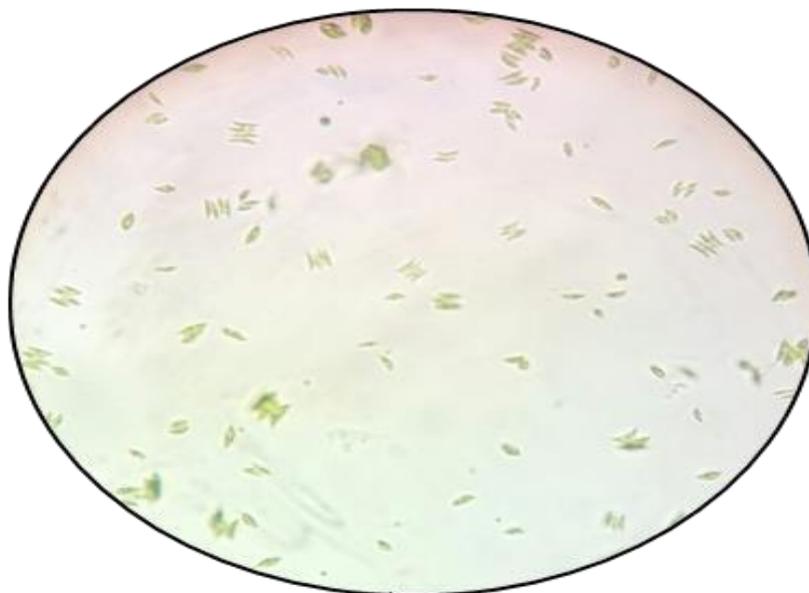
Valor	Tratamientos con agua residual doméstica			
	T <sub>1</sub> = 25%	T <sub>2</sub> = 50%	T <sub>3</sub> = 75%	T <sub>4</sub> = 100%
N <sub>1</sub>	4.00	4.00	4.00	4.00
N <sub>2</sub>	879.67	908.63	1035.83	1125.67
Día	7	7	7	7
<i>u</i>	0.77	0.78	0.79	0.81
TD	0.90	0.89	0.87	0.86

N1: Primer día de cultivo. N2: Último día de cultivo

Además, se observó que la tasa decrecimiento ( $\mu$ ) y el tiempo de duplicación (TD) se encuentran dentro de los parámetros normales para el crecimiento de *S. acutus*. La mayor tasa de crecimiento ( $\mu=0.81$ ) se obtuvo con el tratamiento 4 (100% de agua residual), mientras que la menor ( $\mu=0.77$ ) en el tratamiento 1 (25% de agua residual). Por otro lado, los tiempos de duplicación fueron menores en lo tratamientos con mayor cantidad de agua residual doméstica (Tabla 5). Los resultados reafirman lo planteando anteriormente con respecto a la concentración de nutrientes en el agua residual.



**Figura 8.** Unidades experimentales en el día 7 del cultivo.



**Figura 9.** Células de *S. acutus* en el tratamiento con 100% de agua residual doméstica.

### 3.3. Tasa de remoción de coliformes totales y fecales

En este experimento, se determinó que los cultivos experimentales (con microalgas) presentaron mayores tasas de remoción, tanto de coliformes totales como fecales, en comparación de los controles. Mientras que, en los tratamientos controles las tasas de remoción fueron menores con mayores concentraciones de efluente residual.

Durante el primer día, la máxima tasa de remoción de coliformes totales (T.R. = 54.17%) se alcanzó con el tratamiento de 75% de agua residual, y la menor tasa (T.R. = 17.14%) con el tratamiento de 100%. Es preciso señalar que las diferencias en las tasas de remoción entre estos tratamientos pueden estar relacionadas con la concentración final de bacterias con las que fueron dosificadas en cada tratamiento ( 8.7, 17.5, 24 y 35 NMP en 100mL) en cada tratamiento, además de la disposición de nutrientes en el medio. Sin embargo, las tasas de remoción en los tratamientos controles fueron inferiores a las obtenidas con los cultivos de microalgas, en donde se observó tasas de remoción de coliformes entre 25.71 y 2.29%. Estas bajas tasas de remoción resultan de la ausencia de microorganismos que aporten a la eliminación de los nutrientes en el medio.

Por otro lado, las tasas de remoción de coliformes totales en el día 7 alcanzaron el 99.99% en todos los tratamientos con *S. acutus*, a diferencia de los cultivos controles en donde la máxima tasa de remoción (T.R. = 96.57%) se obtuvo en el tratamiento con 25% de agua residual. En ambos tratamientos se ha obtenido una tasa de remoción considerable, sin embargo, resalta la capacidad de las microalgas, que independientemente de la concentración logran reducir hasta en un 100% las bacterias fecales del medio.

Las tasas de remoción de coliformes fecales presentaron una dinámica similar, sin embargo, los valores de remoción fueron inferiores en comparación de los obtenidos para la remoción de coliformes totales. En los tratamientos experimentales, se logró hasta una remoción del 99.99% con todas las concentraciones de agua residual al final del experimento, mientras que en los tratamientos controles (sin microalgas) se observó una disminución lenta en la concentración de bacterias y por consiguiente en la tasa de remoción (Tabla 7), que llegó hasta una tasa máxima de 92.31% en el tratamiento con 50% de agua residual doméstica.

**Tabla 4.** Tasa de remoción de Coliformes totales.

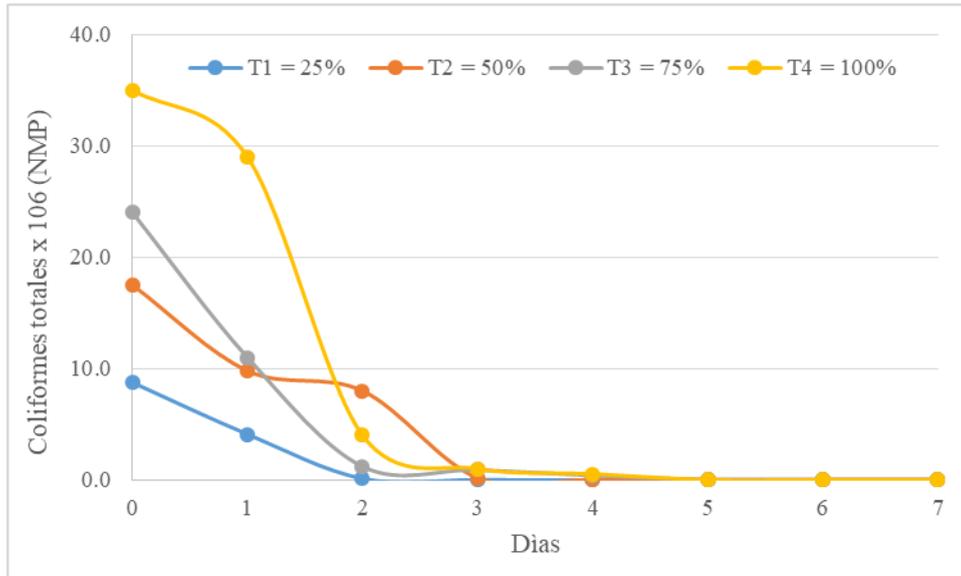
Día	Tratamientos con <i>S. acutus</i>				Tratamientos controles			
	25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
1	53.14	44.00	54.17	17.14	25.71	22.23	10.83	2.29
2	98.63	54.28	95.00	88.57	47.43	30.86	20.83	14.00
3	99.89	98.97	96.25	97.14	56.34	35.43	37.5	21.71
4	99.97	99.80	98.33	98.45	76.00	45.71	42.08	28.57
5	99.98	99.94	99.97	99.97	79.43	64.00	50.00	31.42
6	99.99	99.98	99.99	99.99	89.71	86.86	58.33	42.86
7	99.99	99.99	99.99	99.99	96.57	93.14	70.83	57.14
<b>Total**</b>	99.99	99.99	99.99	99.99	96.57	93.14	70.83	57.14

\*\*Total = representa la tasa de remoción desde el día inicial al final.

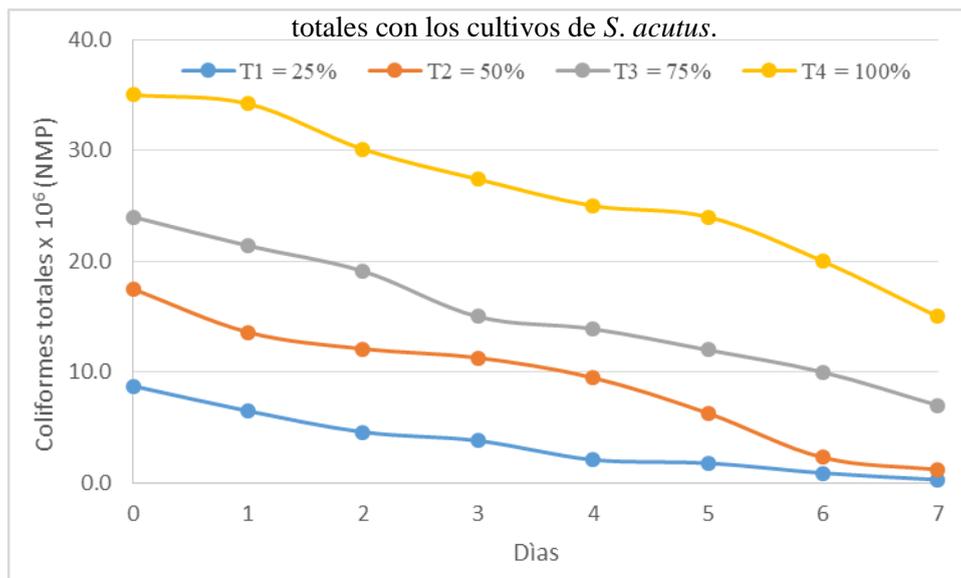
**Tabla 5.** Tasa de remoción de Coliformes fecales durante el experimento.

Valor	Tratamientos con <i>S. acutus</i>				Tratamientos controles			
	25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
1	37.50	53.85	58.76	61.54	6.25	6.15	5.15	14.60
2	95.31	83.08	77.32	90.77	46.88	38.46	17.52	30.00
3	99.75	98.15	91.75	99.38	62.50	50.77	57.73	36.92
4	99.96	99.99	99.85	99.96	68.75	67.69	69.07	47.69
5	99.99	99.99	99.99	99.97	75.00	83.07	79.38	63.84
6	99.99	99.99	99.99	99.99	84.38	86.15	89.69	70.76
7	99.99	99.99	99.99	99.99	87.50	92.30	91.75	78.46
<b>Total**</b>	99.99	99.99	99.99	99.99	87.50	92.31	91.75	78.46

\*\*Total = representa la tasa de remoción desde el día inicial al final.

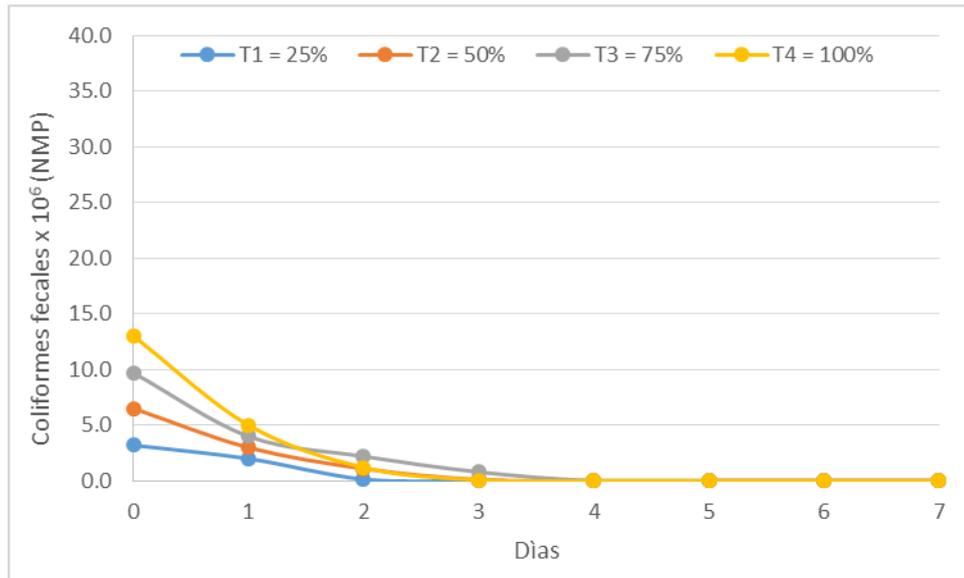


**Figura 10.** Remoción de coliformes totales con los cultivos de *S. acutus*.

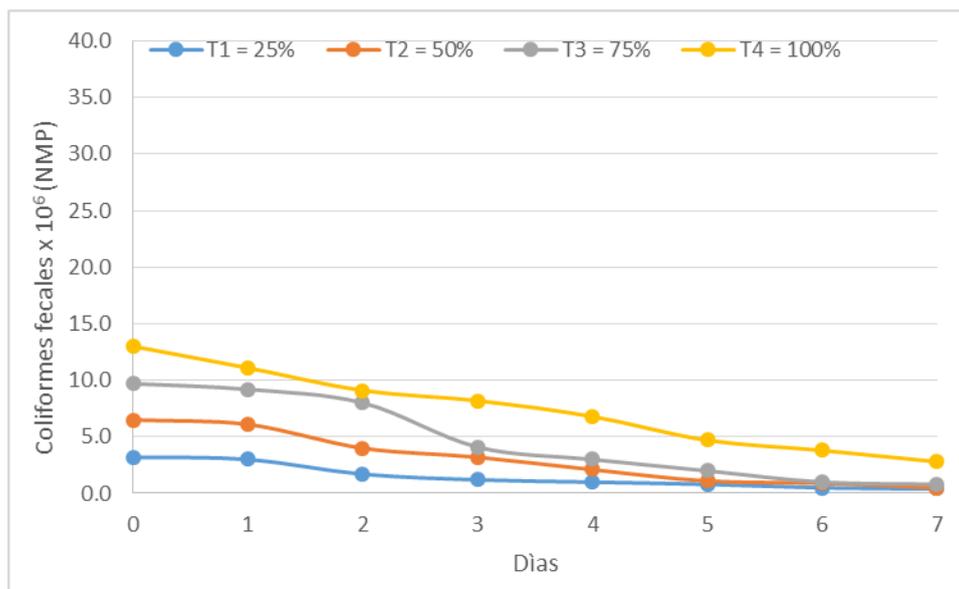


**Figura 11.** Remoción de coliformes totales en los tratamientos controles.

Además, se ha observado que la mayor remoción de coliformes totales y fecales ocurre durante el primer día en los tratamientos experimentales (Tabla 6 y 7, Fig. 10 y 12), a diferencia de los controles, en donde la mayor tasa de remoción es observada en el último día (Tabla 6 y 7, Fig. 11 y 13). Ello es atribuido a la presencia de microalgas y su actividad metabólica (fotosintética), de absorción de nutrientes y liberación de oxígeno al medio, además de la modificación del pH del medio; lo cual es favorable para la reducción de bacterias patógenas.



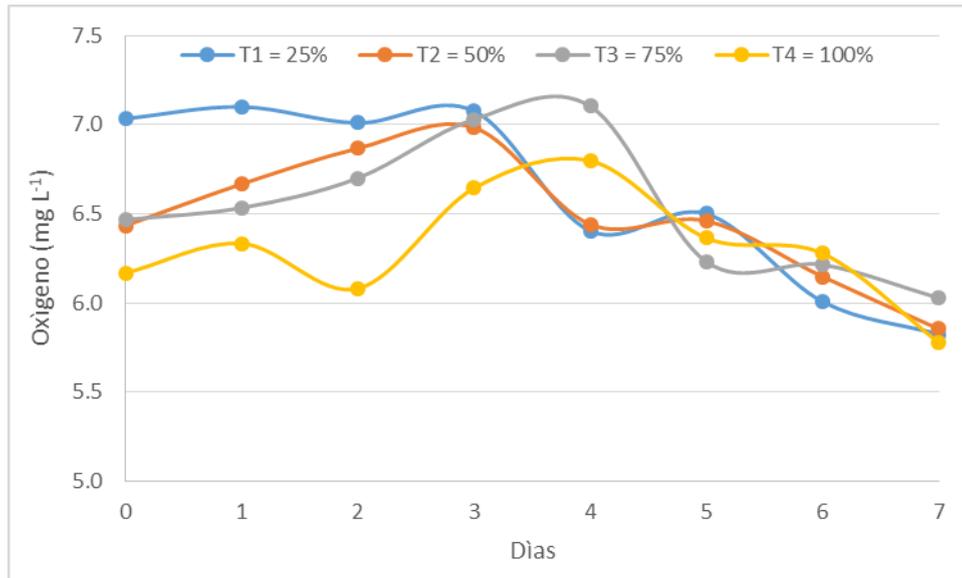
**Figura 12.** Remoción de coliformes fecales con los cultivos de *S. acutus*.



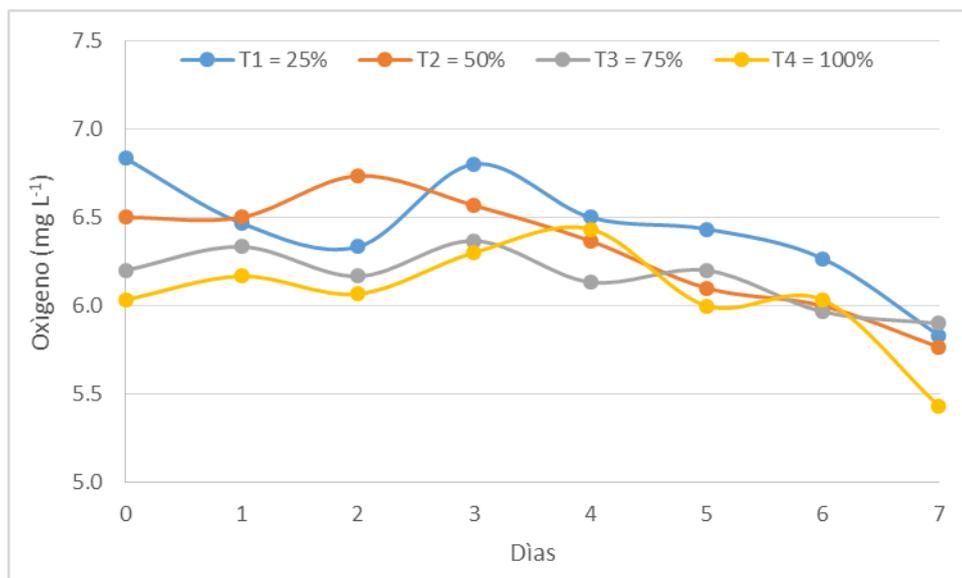
**Figura 13.** Remoción de coliformes fecales en los tratamientos controles.

### 3.4. Variación del oxígeno disuelto

El oxígeno delimita la presencia de bacterias patógenas. Sin embargo, los niveles registrados indican una reducción gradual durante el experimento, con respecto a la concentración de oxígeno inicial (Fig. 14 y 15). Ello puede estar relacionado al consumo de oxígeno (DBO) por bacterias reductoras que a su vez compiten y desplazan a las patógenas (coliformes totales y fecales).



**Figura 14.** Variación de la concentración de oxígeno disuelto en los cultivos experimentales.

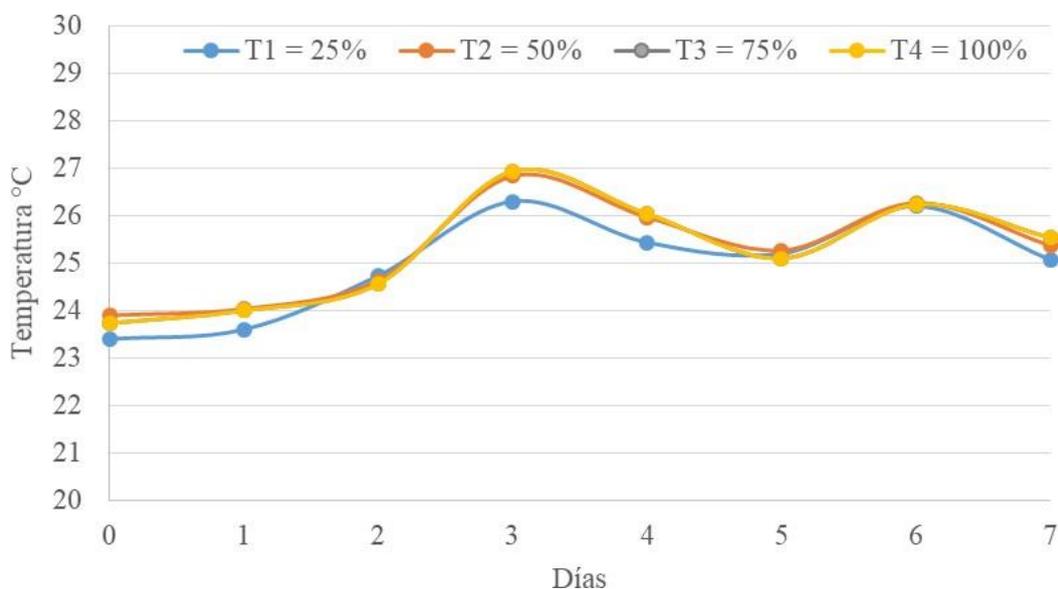


**Figura 15.** Variación de la concentración de oxígeno disuelto en los tratamientos controles.

Así también, se ha observado mayores concentraciones de oxígeno en los tratamientos experimentales (Fig. 14), lo que sugiere que la presencia de mi microalgas y su actividad fotosintética contribuye a la eliminación de los coliformes, sin embargo, es importantes mencionar que en ambos casos los niveles de oxígeno se han mantenido por encima de  $5.00 \text{ mg L}^{-1}$  (Fig. 15), lo cual indica que el oxígeno por sí solo no es el responsable de la eliminación de los coliformes.

### 3.5. Variación de la temperatura

En relación a la temperatura de los cultivos, no se observó variación significativa entre los tratamientos en cada día de cultivo. La temperatura máxima registrada fue de 26.93 °C y la mínima de 23.40 °C. Las leves variaciones observadas (Fig. 16) están relacionadas a las variaciones diarias correspondientes a los cambios de temperatura en el ambiente del laboratorio. Por consiguiente, las fluctuaciones en el experimento fueron iguales para todos los cultivos, infiriéndose que este parámetro no ha interferido con la remoción de los coliformes o la dinámica del crecimiento poblacional de *S. acutus*. Además, los valores registrados se encuentran dentro del rango óptimo para el cultivo, lo cual propicia un mejor crecimiento, captación de nutrientes, actividad fotosintética alta y consecuentemente la remoción de los coliformes del medio.

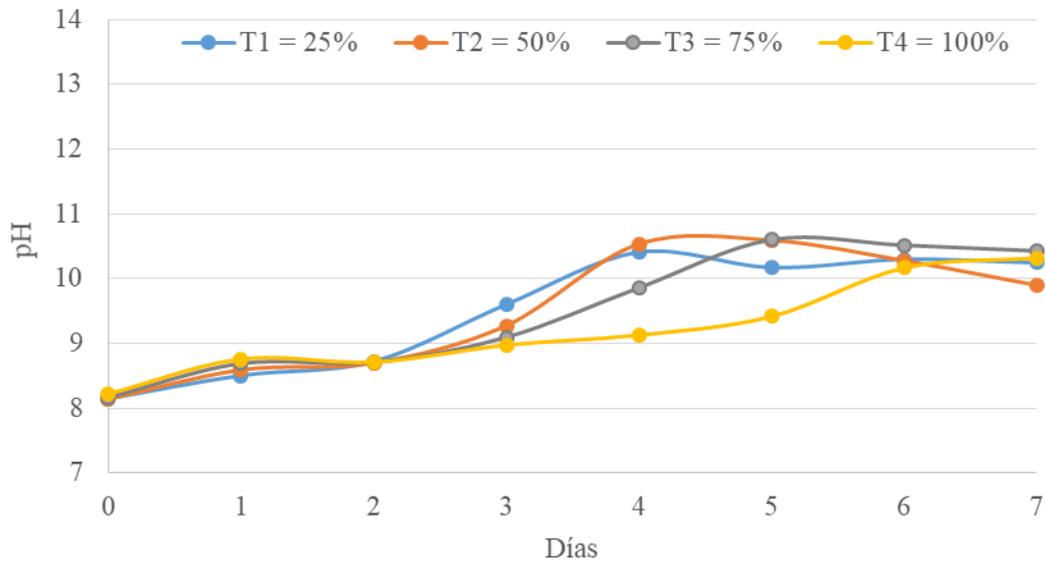


**Figura 16.** Variación de la temperatura de los cultivos de *S. acutus*.

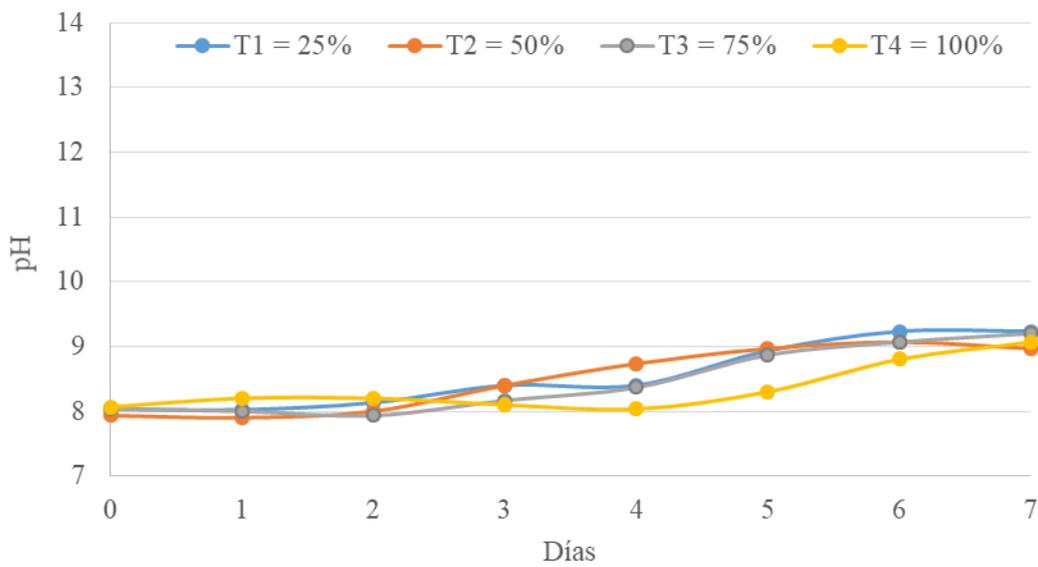
### 3.6. Variación de pH de los cultivos

Las variaciones del pH también se relacionan con la dinámica del crecimiento de las microalgas (Fig. 17). Se ha registrado mayores valores de pH en los cultivos experimentales en comparación, precisamente un incremento de pH que se mantiene alrededor de pH = 10.00. Sin embargo, en los tratamientos controles, se ha observado que este parámetro tiende a mantenerse e incrementarse ligeramente hasta un valor próximo a

pH = 9.00 (Fig. 18). Por lo cual podemos inferir que las diferencias en el pH también contribuyen a la reducción de coliformes en el agua residual doméstica.



**Figura 17.** Variación del pH de los cultivos de *S. acutus*.



**Figura 18.** Variación del pH en los tratamientos controles.

#### IV. DISCUSIÓN

En esta investigación se ha demostrado el potencial de la microalga *S. acutus* para la remoción de coliformes totales y fecales, dada la remoción total de bacterias determinado en el último día de cultivo (día 7); sugiriendo su uso para el tratamiento de agua residual domestica como una alternativa para el problema de contaminación por vertimientos (Ansa *et al.*, 2011; Abdel-Raouf *et al.*, 2012; Posadas *et al.*, 2017).

En otras investigaciones, se ha reportado altas tasas de remoción de coliformes empleando microalgas. Méndez *et al.* (2011), señala que cultivos de *S. quadricauda* logran remover coliformes totales desde 23000 NMP 100 mL<sup>-1</sup> hasta 3500 NMP 100 mL<sup>-1</sup>, en 12 días de cultivo. Schumacher *et al.* (2003), determinaron que, utilizando diferentes especies de microalgas, *Ulothrix sp.*, *Stigeoclonium sp.*, *Chlamydomonas sp.* y *Oscillatoria sp.*, en láminas de biofilm, se logra reducir las concentraciones de *E. coli* desde 1000000 UFC 100 mL<sup>-1</sup> hasta 100 UFC 100 mL<sup>-1</sup>. Por otro lado, Ansa *et al.* (2012), demostraron que con mayores concentraciones de biomasa algal de *Chlorella sp.* (19.6 mg L<sup>-1</sup>) la ratio de decaimiento de coliformes fecales ( $K_d$ ) aumenta (1.5  $K_d$  día<sup>-1</sup>), independientemente de la presencia de luz. Estos resultados son similares a los obtenidos, sin embargo, las tasas de remoción fueron mayores para *S. acutus* durante los primeros días de tratamiento (Tabla 7).

Muñoz y Guieysse (2006), indican que la remoción de bacterias coliformes en los cultivos de microalgas esta atribuida a la modificación de las características del medio, como resultado del metabolismo y la actividad fotosintética de las microalgas. Tohá *et al.* (1991), señalan que el pH resulta uno de los principales factores para la remoción de coliformes, siendo las microalgas una alternativa promisoría para conseguir estas condiciones y tratar efluentes residuales con alta carga bacteriana. Por su parte, Marois-Fiset *et al.* (2013), determinaron que la presencia de *E. coli* es limitada a un pH de 9.0 a temperatura ambiente, logrando ser reducida de efluente residuales desde una concentración inicial de  $4.6 \times 10^5$  a  $1.2 \times 10^2$  NMP 100 mL<sup>-1</sup> en 30 minutos a este pH. Por su parte, Ari (2014), determinó que niveles de pH ente 7.5 y 8.5 impactan en la mortalidad de las bacterias coliformes en el agua marina. Por ende, la variación del pH puede ser usada como una metodología para la remoción de bacterias coliformes en efluentes residuales domésticos.

Basado en ello, en este experimento se ha observado un incremento del pH en todos los cultivos, hasta  $10.60 \pm 0.40$  en el tratamiento 3 (75%), lo cual sugiere que la modificación de pH en el medio ha contribuido en la remoción de las bacterias coliformes, fecales y totales, hasta un 99.99%. Además, se observó que las variaciones del pH también se relacionan con la tasa de remoción (Tabla 7), siendo mayor en el primer día en los cultivos con *S. acutus*, lo cual concuerda con lo señalado por Marois-Fiset *et al.* Es importante señalar que las mejores tasas de remoción han sido alcanzadas en menor tiempo en los tratamientos experimentales en comparación de los controles, lo cual corrobora que la modificación del pH ocasionada por la presencia de *S. acutus* contribuye en la eliminación de bacterias coliformes.

La modificación del pH del medio es un proceso característico en el cultivo de microalgas, como resultado de la captación del CO<sub>2</sub> del medio y otros compuestos que causan que el pH se eleve (Kassim y Meng, 2017; Eloka-Eboka y Inambao, 2017). En *S. acutus*, se considera que un pH adecuado está en el rango de 7.0 a 9.0 (Difusa *et al.*, 2015). En comparación a nuestros resultados, los niveles de pH son inferiores a los obtenidos en el cultivo con medios de cultivos tradicionales, en este sentido, los niveles de pH observados están determinados por las características propias del efluente, tanto de nutrientes como de coliformes.

Contrariamente, Fernández *et al.* (1992), ensayaron cultivos de coliformes en diferentes niveles de pH y observaron que niveles de 8.2 son suficientes para remover los coliformes en 99.997%, sin embargo, indican que el pH no es el principal factor en la remoción de bacterias de este tipo. Además, Carrasquero-Ferrer *et al.* (2014), señalan que el incremento del pH, alrededor de 8.0, permite una mejor actividad de las bacterias nitrificantes Nitrosomonas y Nitrobacter. En ese sentido, se infiere que no solo la modificación del pH ha conllevado a la reducción de las bacterias en el efluente, sino también la presencia y actividad de otras bacterias (no coliformes) que logran prevalecer por las condiciones favorables.

Asimismo, se ha observado que la actividad fotosintética de *S. acutus* conduce a concentraciones elevadas de oxígeno disuelto (Fig. 13), las cuales fueron mayores a las encontradas en las aguas residuales (Tabla 3). El oxígeno disuelto, como elemento en el medio acuático, resulta altamente reactivo para las bacterias coliformes, limitando la presencia de *E. coli* (Hanes *et al.*, 1964). Los estudios realizados por Anda *et al.* (2012),

sugieren que el oxígeno resulta tóxico para estas bacterias debido a que en el agua forma peróxidos que interactúan dañando las membranas de las bacterias. Además, la presencia de oxígeno permite la degradación de componentes orgánicos en el medio por bacterias aeróbicas (Doble y Kumar, 2005), conllevando al desplazamiento de cualquier bacteria patógena por otro tipo de bacterias oxido-reductoras. Es por ello que, se atribuye la remoción de coliformes también a las concentraciones de oxígeno en el medio, las cuales fluctuaron alrededor de 7 y 6 mg L<sup>-1</sup> en los cultivos experimentales, entonces se infiere que estas concentraciones de oxígeno son las óptimas para remover coliformes totales y fecales de agua residual. (Fig. 13).

Por otro lado, se ha observado concentraciones de oxígeno similares en los tratamientos controles, en donde este se mantuvo entre 6 y 5 mg L<sup>-1</sup> como resultado de la aireación constante aplicada durante el experimento. Sin embargo, las tasas de remoción fueron menores en los controles durante el primer día y ligeramente menor al finalizar el experimento (día 7), indicando que el oxígeno por sí solo no es el único factor que contribuye a la reducción de coliformes totales y fecales. Es importante mencionar que la aireación es un proceso aplicado para reducir la saturación de oxígeno en los fotobiorreactores (Raso *et al.*, 2012), en ese sentido es necesario considerar que el oxígeno en los tratamientos con *S. acutus* pudo ser más reactivo, por consiguiente, se observaron mejores tasas de remoción.

La presencia de nutrientes, como nitrógeno y fósforo, condiciona la carga microbiana en los efluentes, siendo mayor en aguas eutrofizadas. Concentraciones de fósforo de 0.3 mg L<sup>-1</sup> permiten un crecimiento óptimo de *E. coli* (Juhna *et al.*, 2007); mientras que, concentraciones de 1.0 mg L<sup>-1</sup> son requeridas para que esta bacteria se desarrolle (Chen y Strevett, 2003); no obstante, pueden presentarse en el medio en condiciones limitantes de nutrientes (Brown, 2018). En tal sentido, los nutrientes en el efluente resultan una buena fuente de nutrientes para la proliferación de bacterias coliformes.

Las concentraciones de nitrógeno y fósforo determinadas en los efluentes fueron elevadas (Tabla 3) y conducen a la proliferación de microorganismos patógenos bajo ciertas condiciones (Shehata y Marr, 1971; Shimizu, 2013); sin embargo, al aplicar los inóculos de *S. acutus* en los tratamientos experimentales, estos nutrientes logran ser reducidos por el metabolismo de las microalgas, lo cual ha sido reportado en diferentes investigaciones (Gonzales *et al.*, 1997; Martínez, 2000; Patel *et al.*, 2012; Jia y Yuan,

2016; Bunce *et al.*, 2018). Es así que, la dinámica de los cultivos restringe el metabolismo de las bacterias coliformes, por competencia de nutrientes; además que, *S. acutus* se caracteriza por asimilar nutrientes de diferentes fuentes (Arumugan *et al.*, 2013; González-Garcinuño *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 2016), facilitando su crecimiento en el agua residual, lo cual supone una ventaja para su crecimiento.

En la experiencia realizada, no se ha determinado la concentración final de los nutrientes, sin embargo, se puede inferir que estos son reducidos por la presencia de las microalgas en los cultivos experimentales, dado el buen crecimiento poblacional y la pigmentación observado en estos cultivos, como ha sido descrito en otras investigaciones similares (Benítez *et al.*, 2018; Whitton *et al.*, 2018). Por otro lado, los tratamientos controles no expuestos a *S. acutus* podrían presentar mayores concentraciones de nutrientes, bajo formas reducidas.

La adaptabilidad de *S. acutus* ha sido observada en todos los tratamientos experimentales, incluso en los tratamientos que contuvieron 100% de efluente residual. Sin embargo, es de notar que el crecimiento de *S. acutus* atraviesa por una fase de aclimatación o adecuación (fase lag), lo cual es normal en cultivos iniciales (Price y Farag, 2013). Sin embargo, a partir del día 4, los cultivos experimentales con *S. acutus* mostraron un crecimiento exponencial continuo, lo que indica una buena adaptabilidad al efluente y las condiciones del medio.

A pesar de la prolongada fase lag de *S. acutus* observada todos los tratamientos experimentales, las tasas de remoción de coliformes totales y fecales, en el primer día, fueron mayores en estos tratamientos, con excepción de la tasa de remoción de coliformes totales en el tratamiento de 100%, en donde la tasa fue de 17.14 %, esto por la mayor carga bacteriana en estas condiciones. Asimismo, se ha observado que las tasas de remoción fueron considerablemente menores, en los tratamientos controles, en donde las condiciones constantes de aireación e iluminación pudieron favorecer la remoción de coliformes, siendo mucho menor en los tratamientos con mayor concentración de agua residual. En ese sentido, se corrobora la hipótesis planteada de que las microalgas cumplen un papel activo en la remoción de bacterias.

El crecimiento obtenido en los cultivos de *S. acutus* se relaciona con la disposición de nutrientes, como nitrógeno y fósforo, que fueron determinados en los análisis químicos

del agua. Además, se infiere que el agua residual contiene otros nutrientes contribuyen en el crecimiento de *S. acutus* (Acevedo *et al.*, 2017; Amenorfenyo *et al.*, 2019). Es así que, se observaron crecimientos poblacionales mayores en los cultivos con mayor porcentaje de efluente residual, siendo el máximo de  $125.67 \pm 133.59$  cel mL<sup>-1</sup> en el tratamiento con 100%.

Por otro lado, en concentraciones limitantes de nutrientes, el crecimiento de esta especie se mantiene mediante la alteración de su metabolismo, el cual se dirige a la síntesis de lípidos (Ho *et al.*, 2012; Arumugam *et al.*, 2013; Sajjadi *et al.*, 2018). En esta investigación, si bien no se ha determinado la composición química, se ha observado una pigmentación característica de los cultivos, por lo cual inferimos que las cantidades de nutrientes en el agua residual permiten un metabolismo adecuado para la síntesis de proteína.

En relación a la temperatura, se considera que las fluctuaciones son adecuadas para el crecimiento de *S. acutus* (Guedes *et al.*, 2011; Ruíz-Martínez *et al.*, 2015), así como para las bacterias coliformes (Farewell y Neidhardt, 1998), No obstante, como ya se ha mencionado, la modificación de otros parámetros (pH y oxígeno, principalmente) conllevó a la remoción de los coliformes fecales y totales del medio. En ese sentido, la temperatura no ha sido un factor incidente en las tasas de remoción observadas en este experimento. Sin embargo, resulta importante considerar a la temperatura como un parámetro importante para el crecimiento óptimo de las microalgas quienes propician la remoción de coliformes.

Finalmente, dado la dinámica observada, se considera que la temperatura no ha presentado diferencia significativa entre los tratamientos. Sin embargo, leves variaciones han sido observadas dado las variaciones de la temperatura ambiental en el laboratorio, las cuales no han afectado en crecimiento de *S. acutus*.

## V. CONCLUSIONES

- La mayor tasa de remoción (99.99%), tanto en coliformes totales y fecales, se obtuvo en el día 6 en todos los tratamientos experimentales con *S. acutus*, mientras que la más baja se obtuvo en el tratamiento control con 100% de efluente residual.
- Las fluctuaciones de pH y oxígeno están atribuidas al metabolismo de *S. acutus* y contribuyen a la remoción de los coliformes totales y fecales del efluente residual doméstico.
- El mejor crecimiento poblacional observado ( $1125.67 \pm 133.59$ ) se consiguió con 100% de efluente, mientras que el menor ( $879.67 \pm 56.80$ ) con la concentración de 25%.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Determinar las tasas de remoción de coliformes empleando otras especies de microalgas de interés comercial.
- Determinar las tasas de remoción de nitrógeno y fósforo para los efluentes residuales domésticos empleando microalgas.
- Corroborar experimentalmente los resultados obtenidos realizando cultivos masivos al aire libre.
- Evaluar la remoción de otros contaminantes no bacteriológicos con la misma metodología.
- Determinar la factibilidad y aceptabilidad de la biomasa microalgal obtenida con esta metodología.

## VII.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Raouf, N., Al-Homaidan, A., & Ibraheem, I. (2012). Microalgae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 19(3), 257-275.
- Acevedo, S., Peñuela, A. & Pino, J. (2017). Biomass production of *Scenedesmus* sp. and removal of nitrogen and phosphorus in domestic wastewater. *Ingeniería y competitividad*, 19(1), 185-193.
- Aguirre, R. (2018). Aislamiento, cultivo de la microalga *Ankistrodesmus facatus* y Biorremediación de los malos olores de las aguas residuales del Fren 3100 Chiclayo-Pimentel, del departamento de Lambayeque, enero – agosto de 2017. Tesis para optar el grado de Maestro en Ciencias con mención en Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo. Lambayeque – Perú. 70 p.
- Aslan, S. & Kapdan, I. (2006). Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae. *Ecol. Eng*(28), 64-70.
- Almasi, A., Mousavi, A., Mohammadi, M., Azemnia, S., Godini, K. & Zarei, A. (2016). Efficiency of integrated ultrasonic and anaerobic digestion of oil refinery wastewater sludge. *Glob Nest J*, 18(4), 771-777.
- Amenorfenyo, D., Huang, X., Zhang, Q., Zeng, N., Zhang, J. & Huang, J. (2019). Microalgae Brewery Wastewater Treatment: Potentials, Benefits and the Challenges. *International journal of environmental research and public health*, 16(11), 1910. doi:10.3390/ijerph16111910
- Amini, F., Jalilzadeh, Y. & Ghaeni, M. (2019). Efficimcy of Microalgae *Scenedesmus* in the Removal of Nitrogen From Municipal Wastewaters. *Iran. J. Toxicol.*, 2, 1-6.
- Ansa, E., Lubberding, H. & Gijzen, H. (2012). The effect of algal biomass on the removal of faecal coliform from domestic wastewater. *Applied Water Science*, 2(2), 87–94. doi:10.1007/s13201-011-0025-y
- Ansa E., Lubberding, H., Ampofo, J. & Gijzen, H. (2011). The role of algae in the removal of *Escherichia coli* in a tropical eutrophic lake. *Ecological Engineering*, 37(2), 317–324. doi:10.1016/j.ecoleng.2010.11.023

- Ari E. (2014). The Influence of pH Characteristics on The Occurance of Coliform Bacteria in Madura Strait. *Procedia Environmental Sciences* 23: 130–135.
- Arumugam, M., Agarwal, A., Arya, M. y Ahmed, Z. (2013). Influence of nitrogen sources on biomass productivity of microalgae *Scenedesmus bijugatus*. *Bioresource Technology*, 131, 246–249. doi:10.1016/j.biortech.2012.12.159
- Benítez M., Champagne, P., Ramos, A., Torres, A. y Ochoa-Herrera, V. (2018). Wastewater treatment for nutrient removal with Ecuadorian native microalgae. *Environmental Technology*, 1–9. doi:10.1080/09593330.2018.145987
- Bolaños-Alfaro, J., Cordero-Castro, G. y Segura-Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela. *Tecnología en Marcha*, 30(4), 15-27.
- Brown, D. (2018). Nitrogen Starvation Induces Persister Cell Formation in *Escherichia coli*. *J Bacteriol* 201:e00622-18. <https://doi.org/10.1128/JB.00622-18>.
- Bunce J., Ndam, E., Ofiteru, I., Moore, A. y Graham, D. (2018). A Review of Phosphorus Removal Technologies and Their Applicability to Small-Scale Domestic Wastewater Treatment Systems. *Frontiers in Environmental Science*, 6. doi:10.3389/fenvs.2018.00008
- Calderón, L. & Chávez, P. (2019). Efecto de la concentración de sanguaza (obtenida del procesamiento artesanal de especies hidrobiológicas) en el crecimiento poblacional y en el contenido de lípidos de *Scenedesmus acutus*. Tesis para optar el Título Profesional. Universidad Nacional del Santa. Nuevo Chimbote - Perú. 57p.
- Carrasquero-FerrerSedolfo, J., Rincón-Lizardo, N., Díaz-Montiel, A. y Pire-Sierra, C. (2014). Monitoreo de la remoción biológica de nitrógeno en efluentes de tenerías usando un reactor por carga secuencialMonitoring of Biological Nitrogen Removal in Tannery Wastewater Using a Sequencing Batch Reactor. *Ingeniería, Investigación y Tecnología* 15(2): 287-298.

- Chen, G. y Strevett, K. (2003). Impact of carbon and nitrogen conditions on E. coli surface thermodynamics. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 28(2-3), 135–146. doi:10.1016/s0927-7765(02)00143-1
- Da Silva, S. (2018). Análise microbiológica de coliformes totais e termotolerantes em água de bebedourus de um parque público de Brasília, distrito federal. *Rev. Cient. SenaAires*.2018;7(1):12-7
- Difusa, A., Talukdar, J., Kalita, M., Mohanty, K. y Goud, V. (2015). Effect of light intensity and pH condition on the growth, biomass and lipid content of microalgae *Scenedesmus* species. *Biofuels*, 6(1-2), 37–44. doi:10.1080/17597269.2015.1045274
- Doble, M. y Kumar, A. (2005). Aerobic and Anaerobic Bioreactors. *Biotreatment of Industrial Effluents*, 19–38. doi:10.1016/b978-075067838-4/50004-x
- Eloka-Eboka, A. y Inambao, F. (2017). Effects of CO2 sequestration on lipid and biomass productivity in microalgal biomass production. *Applied Energy*, 195, 1100–1111. doi:10.1016/j.apenergy.2017.03.071
- Farewell, A. y Neidhardt, F. (1998). Effect of Temperature on In Vivo Protein Synthetic Capacity in *Escherichia coli*. *Journal of Bacteriology*, 180(17): 4704–4710.
- Fernández, A., Tejedor, C. y Chordi, A. (1992). Influence of pH on the elimination of fecal coliform bacteria in waste stabilization ponds. *Water, Air, & Soil Pollution*, 63(3-4), 317–320. doi:10.1007/bf00475498
- Gonçalves, A., Pires, J. & SimOoes, M. (2017). A review on the use of microalgal consortia for wastewater treatment. *Algal Research*, 24, 403-415.
- González, L., Cañizares, R. y Baena, S. (1997). Efficiency of ammonia and phosphorus removal from a colombian agroindustrial wastewater by the microalgae *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus dimorphus*. *Bioresource Technology*, 60(3), 259–262. doi:10.1016/s0960-8524(97)00029-1
- González, J., González, A. & González, F. (2019). *Evaluación de un sistema de Filtración lenta en arena como alternativa para la Remoción de contaminación*

*bacteriológica en aguas residuales de efluentes secundarios Anaerobio*. Ecuador.  
Edit Colloquium.

- González-Garcinuño, Á., Taberero, A., Sánchez-Álvarez, J., Martín del Valle, E. y Galán, M. (2014). Effect of nitrogen source on growth and lipid accumulation in *Scenedesmus abundans* and *Chlorella ellipsoidea*. *Bioresource Technology*, 173, 334–341. doi:10.1016/j.biortech.2014.09.038
- Guedes, A., Amaro, H., Pereira, R. y Malcata, F. 2011. Effects of temperature and pH on growth and antioxidant content of the microalga *Scenedesmus obliquus*. *Biotechnology Progress*, 27(5), 1218–1224. doi:10.1002/btpr.649
- Hanes, N., Sarles, W. y Rohlich, G. (1964). Dissolved Oxygen and Survival of Coliform Organisms and Enterococci. *Journal - American Water Works Association*, 56(4), 441–446. doi:10.1002/j.1551-8833.1964.tb01232.x
- Ho, S., Chen, C. y Chang, C. (2012). Effect of light intensity and nitrogen starvation on CO<sub>2</sub> fixation and lipid/carbohydrate production of an indigenous microalga *Scenedesmus obliquus* CNW-N. *Bioresource Technology*, 113, 244–252. doi:10.1016/j.biortech.2011.11.133
- Jara, P. & Roque, M. (2015). Efecto de la concentración del efluente del procesamiento de la flor *Tagetes erecta* “marigold” en el crecimiento poblacional y contenido de lípidos totales de *Scenedesmus acutus* poblacional en condiciones de laboratorio. Tesis para optar el Título Profesional. Universidad Nacional del Santa. Nuevo Chimbote - Perú. 58p.
- Ji, F., Liu, Y., Hao, R., Li, G., Zhou, Y. & Dong, R. (2014). Biomass production and nutrients removal by a new microalgae strain *Desmodesmus* sp. in anaerobic digestion wastewater. *Bioresource Technology*, 161, 200-207.
- Jia, H. y Yuan, Q. (2016). Removal of nitrogen from wastewater using microalgae and microalgae bacteria consortia. *Cogent Environmental Science*, 2(1). doi:10.1080/23311843.2016.127508

- Juhna, T., Birzniece, D. y Rubulis, J. (2007). Effect of Phosphorus on Survival of *Escherichia coli* in Drinking Water Biofilms. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(11), 3755–3758. doi:10.1128/aem.00313-07
- Kassim, M. y Meng, T. (2017). Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) biofixation by microalgae and its potential for biorefinery and biofuel production. *Science of The Total Environment*, 584-585, 1121–1129. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.01.172
- Kim, G., Mujtaba, G. y Lee, K. (2016). Effects of nitrogen sources on cell growth and biochemical composition of marine chlorophyte *Tetraselmis* sp. for lipid production. *Algae*, 31(3): 257-266.
- Macedo, A. (2018). Evaluación de la capacidad de remoción de nitratos y fosfatos de la microalga, *Desmodesmus asymmetricus*, en aguas residuales de PETAR-TABOADA Callao. Tesis para optar el Título Profesional de Licenciada en Biología. Universidad Ricardo Palma. Lima-Perú. 83p.
- Marois-Fiset, J., Carabin, A., Lavoie, A. y Dorea, C. (2013). Effects of Temperature and pH on Reduction of Bacteria in a Point-of-Use Drinking Water Treatment Product for Emergency Relief. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(6), 2107–2109. doi:10.1128/aem.03696-12
- Martínez, M. (2000). Nitrogen and phosphorus removal from urban wastewater by the microalga *Scenedesmus obliquus*. *Bioresource Technology*, 73(3), 263–272. doi:10.1016/s0960-8524(99)00121-2
- Martínez-Hernández, M., Suastes-Acosta, S., Lozano-Ramírez, C. & Rodríguez-Palacio, M. (2018). Perfil lipídico de *Lagerheimia* sp. aislada de aguas residuales industriales. Tamaulipas, México, *Av. Cien. Ing*, 9(1), 25-33.
- Méndez, L., Albarracín, I., Cravero, M. y Salomón, R. (2011). Crecimiento de *Scenedesmus Quadricauda* en efluentes cloacales de la ciudad de Trelew, Chubut, Argentina. *Revista cubana de investigaciones pesqueras*, 28 (1), p. 36-41.
- Meneses, Y., Patiño, P. y Betancur, J. (2019). Remoción de cromo en aguas residuales industriales mediante el uso de biomasa de *Spirulina* sp., sedimentación primaria y

- precipitación química. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(1), 141-152.
- Meyen, F. (1829). Beobachtungen über einige niedere Algenformen. *Nova Acta Physico-Medica Academiae Caesareae Leopoldino-Carolinae Naturae* 14, 768-778.
- Ministerio del Ambiente. (2009). Política Nacional del Ambiente.
- Mohd, A., Abu, H., Sobri, M., y Sheikh, S. (2017). A review of the potentials, challenges and current status of microalgae biomass applications in industrial wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering*, 20, 8-21.
- Muñiz, R. (2019). Los fotobiorreactores de microalgas: Un recurso para el tratamiento terciario de aguas residuales. *Tekhné*, 22(3), 13-25.
- Muñoz, R. y Guieysse, B. (2006). Algal–bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: A review. *Water Research*, 40(15), 2799–2815. doi:10.1016/j.watres.2006.06.011
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). (2016) Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales.
- Organización Mundial de la Salud. (2018). Progresos en el tratamiento y el uso de las aguas residuales de manera adecuada: Prueba piloto de la metodología de monitoreo y primeras constataciones sobre el indicador 6.3.1 de los ODS. Ginebra.
- Pandian, S. y Thomas, J. (2019). Integrated Study on Nutrients and Heavy Metals Removal from Domestic Wastewater using Free and Immobilized *Scenedesmus rubescens* (Chlorophyta, Chlorophyceae), *International Journal on Algae*, 21(1), 83-96.
- Patel, A., Barrington, S. y Lefsrud, M. (2012). Microalgae for phosphorus removal and biomass production: a six species screen for dual-purpose organisms. *GCB Bioenergy*, 4(5), 485–495. doi:10.1111/j.1757-1707.2012.01159.x
- Posadas, E., Alcántara, C., García-Encina, P., Gouveia, L., Guieysse, B., Norvill, Z. y Muñoz, R. (2017). Microalgae cultivation in wastewater. *Microalgae-Based Biofuels and Bioproducts*, 67–91. doi:10.1016/b978-0-08-101023-5.00003-0

- Price, K. y Farag, I. (2013). Resources Conservation in Microalgae Biodiesel Production. *International Journal of Engineering and Technical Research*, 1(8): 49-55.
- Rai, S. (2013). Occurrence of genus *Scenedesmus* Mayen (Chlorophyceae) from East Nepal, *Nepalese Journal of Biosciences*, 3, 26-37.
- Raso, S., Van Genugten, B., Vermuë, M. y Wijffels, R. (2011). Effect of oxygen concentration on the growth of *Nannochloropsis* sp. at low light intensity. *Journal of Applied Phycology*, 24(4), 863–871. doi:10.1007/s10811-011-9706-z
- Rojas, E. y Sánchez, S. (2019). Diseño de un sistema de desinfección para Coliformes totales y *Escherichia coli* utilizando la resina de sangre de grado (*Croton lechleri*) in vitro en agua de consumo humano proveniente de la quebrada Falingao-Casería Requena-Distrito San Martín de Alao-El Dorado-San Martín-2018. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Peruana Unión. Tarapoto-Perú. 75p.
- Rosales, A., Rodríguez, C. y Ballen-Segura, M. (2018). Remoción de contaminantes y crecimiento de alga *Scenedesmus* sp. en aguas residuales de curtiembres, comparación entre células libres e inmovilizadas, *Ingeniería y Ciencia*, 14(28), 11-34.
- Ruiz-Martínez, A., Serralta, J., Seco, A. y Ferrer, J. (2015). Effect of temperature on ammonium removal in *Scenedesmus* sp. *Bioresource Technology*, 191, 346–349. doi:10.1016/j.biortech.2015.05.070
- Sajjadi, B., Chen, W., Raman A. y Ibrahim, S. (2018). Microalgae lipid and biomass for biofuel production: A comprehensive review on lipid enhancement strategies and their effects on fatty acid composition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 97, 200–232. doi:10.1016/j.rser.2018.07.050
- Schumacher, G., Blume, T. y Sekoulov, I. (2003). Bacteria reduction and nutrient removal in small wastewater treatment plants by an algal biofilm. *Water Science and Technology*, 47(11), 195–202. doi:10.2166/wst.2003.0605
- Shehata, T. y Marr, A. (1971). Effect of Nutrient Concentration on the Growth of *Escherichia coli*. *Journal of bacteriology*, 107(1): 210-216.

- Shimizu, K. (2013). Regulation Systems of Bacteria such as *Escherichia coli* in Response to Nutrient Limitation and Environmental Stresses. *Metabolites*, 4(1), 1–35. doi:10.3390/metabo4010001
- Tohá J., Soto, M. y Contreras, S. (1991). Removal of faecal coliform in high pH ponds using rapid growth alga biomass. *International Journal of Environmental Health Research*, 1(4), 236–239.
- Vaca, V., Angulo, E., Puentes, D., Torres, J. & Plaza, M. (2017). Uso de la microalga *Chlorella* sp. viva en suspensión en la decoloración del agua residual de una empresa textil. *Prospect*, 30(1), 93-99.
- Vásquez, E. & Zavaleta, T. (2017). Crecimiento poblacional y contenido de lípidos de la microalga *Scenedesmus acutus* cultivada con diferentes concentraciones de aguas residuales municipales en condiciones de laboratorio. Tesis para optar el título de Biólogo Acuicultor. Universidad Nacional del Santa. Nuevo Chimbote-Perú. 58p.
- Whitton, R., Santinelli, M., Pidou, M., Ometto, F., Henderson, R., Roddick, F. y Jefferson, B. (2018). Tertiary nutrient removal from wastewater by immobilised microalgae: impact of wastewater nutrient characteristics and hydraulic retention time (HRT). *H2Open Journal*, 1(1), 12–25. doi:10.2166/h2oj.2018.008
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso no explotado. París, UNESCO.

## ANEXOS

Anexo 1. Niveles de oxígeno en los tratamientos experimentales (mg.L<sup>-1</sup>)

Día	Tratamientos											
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
0	7.00	7.30	6.80	6.50	6.30	6.50	6.30	6.40	6.70	6.20	6.30	6.00
1	7.20	7.40	6.70	6.70	6.70	6.60	6.50	6.40	6.70	6.50	6.50	6.00
2	7.03	7.10	6.90	6.90	6.80	6.90	6.70	6.50	6.90	6.04	6.00	6.20
3	6.97	7.09	7.17	6.97	7.04	6.94	6.97	7.04	7.08	6.89	7.04	6.00
4	6.31	6.48	6.42	6.52	6.48	6.32	7.12	7.13	7.06	6.82	6.81	6.76
5	6.50	6.45	6.55	6.53	6.32	6.53	6.28	6.05	6.36	6.41	6.37	6.31
6	6.01	6.02	5.99	6.17	6.06	6.21	5.96	6.33	6.35	6.31	6.30	6.22
7	5.78	5.86	5.83	5.87	5.87	5.82	6.02	6.05	6.01	5.81	5.75	5.77

Anexo 2. Niveles de oxígeno en los tratamientos controles (mg.L<sup>-1</sup>)

Día	Tratamientos											
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
0	6.90	6.90	6.70	6.60	6.50	6.40	6.20	6.10	6.30	6.00	6.10	6.00
1	6.50	6.40	6.50	6.50	6.60	6.40	6.30	6.40	6.30	6.20	6.30	6.00
2	6.40	6.30	6.30	6.70	6.8	6.70	6.10	6.20	6.20	6.00	6.10	6.10
3	6.80	6.90	6.70	6.50	6.60	6.60	6.30	6.40	6.40	6.20	6.30	6.40
4	6.50	6.60	6.40	6.40	6.30	6.40	6.00	6.10	6.30	6.50	6.50	6.30
5	6.40	6.50	6.40	6.20	6.10	6.00	6.20	6.20	6.20	5.90	6.00	6.10
6	6.30	6.20	6.30	5.90	6.00	6.10	5.80	6.00	6.10	5.90	6.10	6.10
7	5.90	5.80	5.80	5.80	5.70	5.80	5.80	5.90	6.00	5.40	5.40	5.50

Anexo 3. Temperatura de los cultivos experimentales (C°)

<b>Día</b>	<b>Tratamientos</b>											
	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>	<b>T9</b>	<b>T10</b>	<b>T11</b>	<b>T12</b>
<b>0</b>	23.4	23.4	23.4	24.0	24	23.7	23.8	23.4	24.0	23.5	23.7	23.5
<b>1</b>	23.5	23.6	23.7	24.0	24.1	24.0	23.9	24.1	24.0	23.5	23.8	23.6
<b>2</b>	24.8	24.7	24.7	24.7	24.6	24.6	24.6	24.5	24.6	24.6	24.5	24.5
<b>3</b>	26.0	26.3	26.6	26.8	26.8	26.9	26.9	27.0	26.9	26.9	26.7	26.9
<b>4</b>	25.4	25.2	25.7	25.9	26.0	26.0	26.0	26.1	26.0	26.0	26.1	26.1
<b>5</b>	25.1	25.1	25.4	25.2	25.4	25.2	25.2	25.0	25.1	25.2	25.3	25.3
<b>6</b>	26.2	26.2	26.2	26.2	26.3	26.3	26.3	26.2	26.2	26.2	26.1	26.1
<b>7</b>	24.9	25.1	25.2	25.3	25.4	25.4	25.4	25.6	25.6	25.7	25.7	25.8

Anexo 4. Temperatura de los cultivos controles (C°)

<b>Día</b>	<b>Tratamientos</b>											
	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>	<b>T9</b>	<b>T10</b>	<b>T11</b>	<b>T12</b>
<b>0</b>	23.5	23.0	22.9	23.4	23.4	23.4	23.7	23.8	23.7	23.6	23.6	23.5
<b>1</b>	23.0	23.0	23.1	23.8	23.7	23.7	24.1	24.2	24.0	23.5	23.5	23.5
<b>2</b>	23.2	23.5	23.7	24.8	24.9	25.0	25.0	25.1	25.2	24.1	24.3	24.0
<b>3</b>	23.5	23.8	23.7	26.9	27.0	27.0	27.0	27.1	27.2	27.1	27.0	27.1
<b>4</b>	24.1	24.0	23.9	27.0	27.2	27.4	27.0	27.3	27.1	27.4	27.4	27.5
<b>5</b>	24.7	24.2	24.1	25.8	25.9	25.8	26.8	26.8	26.9	26.3	26.3	26.2
<b>6</b>	25.0	25.1	24.9	25.9	25.8	25.9	26.7	26.8	26.8	26.4	26.5	26.7
<b>7</b>	25.0	25.4	25.2	25.4	25.7	25.8	26.3	26.3	26.1	26.5	26.4	26.3

Anexo 5. Niveles de pH de los cultivos experimentales.

<b>Día</b>	<b>Tratamientos</b>											
	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>	<b>T9</b>	<b>T10</b>	<b>T11</b>	<b>T12</b>
<b>0</b>	8.12	8.23	8.09	8.20	8.06	8.16	8.40	8.10	8.00	8.2	8.46	8.00
<b>1</b>	8.63	8.48	8.40	8.66	8.51	8.60	8.70	8.69	8.68	8.76	8.71	8.80
<b>2</b>	8.59	8.78	8.79	8.70	8.70	8.69	8.71	8.69	8.72	8.78	8.69	8.66
<b>3</b>	9.01	9.87	9.92	9.17	9.34	9.31	9.04	9.04	9.20	9.02	8.99	8.91
<b>4</b>	9.82	10.67	10.73	10.28	10.78	10.54	9.56	9.61	10.4	9.26	9.14	8.98
<b>5</b>	9.55	10.34	10.62	10.57	10.73	10.47	10.55	10.63	10.62	9.56	9.55	9.13
<b>6</b>	9.84	10.46	10.59	10.08	10.43	10.32	10.43	10.53	10.58	10.46	10.64	9.39
<b>7</b>	9.82	10.45	10.46	9.72	9.89	10.08	10.35	10.48	10.45	10.48	10.68	9.79

Anexo 6. Niveles de pH de los cultivos controles.

<b>Día</b>	<b>Tratamientos</b>											
	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>	<b>T9</b>	<b>T10</b>	<b>T11</b>	<b>T12</b>
<b>0</b>	8.04	8.04	8.03	7.90	8.00	7.90	8.00	8.10	8.00	8.00	8.10	8.10
<b>1</b>	8.03	8.02	8.02	7.90	8.00	7.80	7.90	8.00	8.10	8.20	8.10	8.30
<b>2</b>	8.10	8.20	8.10	8.00	8.10	7.90	8.00	7.90	7.90	8.00	8.20	8.40
<b>3</b>	8.40	8.50	8.30	8.40	8.30	8.50	8.10	8.20	8.20	8.10	8.10	8.10
<b>4</b>	8.30	8.50	8.40	8.70	8.80	8.70	8.30	8.40	8.40	8.00	8.10	8.00
<b>5</b>	8.90	8.90	9.00	9.00	8.90	9.00	8.90	8.80	8.90	8.20	8.30	8.40
<b>6</b>	9.10	9.40	9.20	9.10	9.10	9.00	9.00	9.10	9.10	8.70	8.80	8.90
<b>7</b>	9.20	9.30	9.20	8.90	9.00	9.00	9.20	9.40	9.00	9.00	9.00	9.20

Anexo 7. Crecimiento poblacional  $\text{cél mL}^{-1} \times 10^4$  de *S. acutus*.

<b>Día</b>	<b>Tratamientos</b>											
	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>	<b>T9</b>	<b>T10</b>	<b>T11</b>	<b>T12</b>
<b>0</b>	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
<b>1</b>	9.75	9.25	9.10	8.75	8.52	8.10	7.00	6.90	7.1	6.75	6.51	6.80
<b>2</b>	16.3	22.8	21.5	24.5	38.5	42.8	20.6	25.3	28.5	19.25	28.7	30.75
<b>3</b>	86.5	99.5	79	115.8	128.8	220	150	154	148	172.5	168.9	170.1
<b>4</b>	262.5	177.5	215	400	402.5	532.5	610	385	345	530	327.5	337.5
<b>5</b>	477.5	430	372.5	620	535	520	630	401	360	590	470	420
<b>6</b>	707	505.1	699	722	745.6	690.1	650	720.4	725	615	745	690
<b>7</b>	842	712	845.1	945	852	842	1007.5	908.4	810	1122.5	995	990

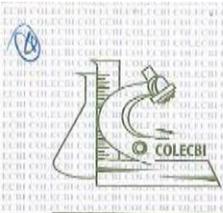
Anexo 8. Análisis de coliformes totales y fecales en COLECBI.

Día	Tratamiento con <i>S. acutus</i>				Tratamiento controles			
	25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
0	8.7	17.5	24	35	8.75	17.5	24	35
1	4.1	9.8	11	29	6.5	13.6	21.4	34.2
2	0.12	8.0	1.2	4	4.6	12.1	19	30.1
3	0.009	0.18	0.9	1	3.82	11.3	15	27.4
4	0.0024	0.035	0.4	0.54	2.1	9.5	13.9	25
5	0.0016	0.01	0.008	0.009	1.8	6.3	12	24
6	0.00065	0.002	0.0009	0.00025	0.9	2.3	10	20
7	0.00028	0.00035	0.00028	0.000092	0.3	1.2	7	15

Promedio de coliformes totales (NMP/100mL); todos los promedios  $\times 10^6$

Día	Tratamiento con <i>S. acutus</i>				Tratameinto controles			
	25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
0	3.2	6.5	9.7	13	3.2	6.5	9.7	13
1	2	3	4	5	3	6.1	9.2	11.1
2	0.15	1.1	2.2	1.2	1.7	4	8	9.1
3	0.008	0.12	0.8	0.08	1.2	3.2	4.1	8.2
4	0.0013	0.0004	0.014	0.005	1	2.1	3	6.8
5	0.0002	0.00002	0.00018	0.0035	0.8	1.1	2	4.7
6	0.00005	0.00008	0.00002	0.00008	0.5	0.9	1	3.8
7	0.0000018	0.000002	0.000002	0.000002	0.4	0.5	0.8	2.8

Promedio de coliformes fecales (NMP/100mL); todos los promedios  $\times 10^6$



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 046**



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL N° 3154-16**

Pág. 1 de 1

**SOLICITADO POR:** VÍCTOR CERNA ULLOA  
**DIRECCIÓN:** Urb. Banchoero Rossi D4 Lote 3 Nuevo Chimbote  
**PRODUCTO DECLARADO:** AGUA RESIDUAL  
**CANTIDAD DE MUESTRA:** 01 muestra x 0,5L  
**PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA:** Frasco de vidrio con tapa  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 2016-10-03  
**FECHA DE INICIO DEL ENSAYO:** 2016-10-03  
**FECHA DE TÉRMINO DEL ENSAYO:** 2016-10-07  
**CONDICIÓN DE LA MUESTRA:** En buen estado  
**ENSAYOS REALIZADOS EN:** Laboratorio de Microbiología  
**CÓDIGO COLECBI:** SS 001735-16

**ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS**

**RESULTADOS**

ENSAYOS	MUESTRA	
	Coliformes Totales (NMP/100mL)	Coliformes Fecales (NMP/100mL)
T1-03 R1	8,9 x 10 <sup>6</sup>	3,1 x 10 <sup>6</sup>
T2-03 R1	17,2 x 10 <sup>6</sup>	6,6 x 10 <sup>6</sup>
T3-03 R1	24 x 10 <sup>6</sup>	9,7 x 10 <sup>6</sup>
T4-03 R1	35 x 10 <sup>6</sup>	14 x 10 <sup>6</sup>

**METODOLOGÍA EMPLEADA**

**Coliformes Totales:** SMEWW-APIA AWWA-WEF Part 9221-B, 22nd Ed. 2012, Pág. 9-66 a 9-67. 9221-C 22nd Ed. 2012, Pág. 9-69 a 9-73.  
**Coliformes Fecales:** SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221-E, 22nd Ed. 2012, Pág. 9-74 a 9-75. 9221-C 22nd Ed. 2012, Pág. 9-89 a 9-73.

**NOTA:**

- Informe de ensayo emitido en base a resultados realizados por COLECBI S.A.C.
- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra ensayada
- Estos resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce
- No afecta al proceso de Dirimencia por ser la muestra Producto Percibible.

Fecha de Emisión: Nuevo Chimbote, Octubre 08 del 2016.

GVR/jms  
  
**A. Gustavo Vargas Ramos**  
 Gerente de Laboratorios  
 C.B.P. 326  
 COLECBI S.A.C.

LC-MP-HRIE  
 Rev. 04  
 Fecha 2015-11-30

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DE COLECBI S.A.C.

Urb. Buenos Aires Mz. A - Lt. 7 - I Etapa - Nuevo Chimbote - Telefax: 043-310752  
 Nextel: 839\*2893 - RPM # 902995 - Apartado 127  
 e-mail: [colecbi@speedy.com.pe](mailto:colecbi@speedy.com.pe) / [medioambiente\\_colecbi@speedy.com.pe](mailto:medioambiente_colecbi@speedy.com.pe)  
 Web: [www.colecbi.com](http://www.colecbi.com)

**Figura 19. Análisis de la primera repetición del día 0 de los 4 tratamientos**

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL N° 3154-16**

Pág. 1 de 1

**SOLICITADO POR:** VICTOR CERNA ULLOA.  
**DIRECCIÓN:** Urb. Banahero Rossi D4 Lote 3 Nuevo Chimbote.  
**PRODUCTO DECLARADO:** AGUA RESIDUAL.  
**CANTIDAD DE MUESTRA:** 01 muestra x 0,5l.  
**PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA:** Frasco de vidrio con tapa.  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 2016-10-03  
**FECHA DE INICIO DEL ENSAYO:** 2016-10-03  
**FECHA DE TERMINO DEL ENSAYO:** 2016-10-07  
**CONDICIÓN DE LA MUESTRA:** En buen estado.  
**ENSAYOS REALIZADOS EN:** Laboratorio de Microbiología.  
**CÓDIGO COLECBI:** SS 001736-16

**ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS**

**RESULTADOS**

ENSAYOS	MUESTRA	
	Coliformes Totales (NMP/100mL)	Coliformes Fecales (NMP/100mL)
T1 - 03 R2	8,9 x 10 <sup>6</sup>	3,2 x 10 <sup>6</sup>
T2 - 03 R2	1,2 x 10 <sup>6</sup>	6,2 x 10 <sup>6</sup>
T3 - 03 R2	26 x 10 <sup>6</sup>	9,8 x 10 <sup>6</sup>
T4 - 03 R2	36 x 10 <sup>6</sup>	14 x 10 <sup>6</sup>

**METODOLOGÍA EMPLEADA**

**Coliformes Totales:** SMEWW-APIA/AWWA-WEF Part 9221-B, 22nd Ed. 2012, Pág. 9-66 a 9-67. 9221-C 22nd Ed. 2012, Pág. 9-69 a 9-73.  
**Coliformes Fecales:** SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221-E, 22nd Ed. 2012, Pág. 9-74 a 9-75. 9221-C 22nd Ed. 2012, Pág. 9-69 a 9-73.

**NOTA:**

- Informe de ensayo emitido en base a resultados realizados por COLECBI S.A.C.
- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra ensayada.
- Estos resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- No afecta al proceso de Derivencia por ser la muestra Producto Perecible.

Fecha de Emisión: Nuevo Chimbote, Octubre 08 del 2016.

GVR/jms

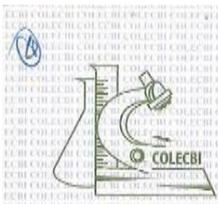
  
**A. Gustavo Vargas Ramos**  
 Gerente de Laboratorios  
 C.B.P. 328  
 COLECBI S.A.C.

LC-MP-HRIE  
 Rev. 04  
 Fecha 2015-11-30

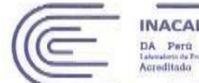
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DE COLECBI S.A.C.

Urb. Buenos Aires Mz. A - Lt. 7 - I Etapa - Nuevo Chimbote - Telefax: 043-310752  
 Nextel: 839-2893 - RPM # 902995 - Apartado 127  
 e-mail: colecbi@speedy.com.pe/ medioambiente - colecbi@speedy.com.pe  
 Web: www.colecbi.com

**Figura 20. Análisis de la segunda repetición del día 0 de los 4 tratamientos**



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 046**



Registro N° LE-046

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL N° 3154-16**

Pág. 1 de 1

SOLICITADO POR: **VICTOR GERNA ULLOA**  
 DIRECCIÓN: **Urb. Banchoero Rossi D4 Lote 3 Nuevo Chimbote**  
 PRODUCTO DECLARADO: **AGUA RESIDUAL**  
 CANTIDAD DE MUESTRA: **01 muestra x 0,5L**  
 PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA: **Frasco de vidrio con tapa.**  
 FECHA DE RECEPCIÓN: **2016-10-03**  
 FECHA DE INICIO DEL ENSAYO: **2016-10-03**  
 FECHA DE TERMINO DEL ENSAYO: **2016-10-07**  
 CONDICIÓN DE LA MUESTRA: **En buen estado.**  
 ENSAYOS REALIZADOS EN: **laboratorio de Microbiología**  
 CÓDIGO COLECBI: **SS 001737-16**

**RESULTADOS**

**ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS**

ENSAYOS	MUESTRA	
	Coliformes Totales (NMP/100mL)	Coliformes Fecales (NMP/100mL)
T1-03 R3	8,3 x 10 <sup>0</sup>	3,3 x 10 <sup>0</sup>
T2-03 R3	18,1 x 10 <sup>0</sup>	6,7 x 10 <sup>0</sup>
T3-03 R3	22 x 10 <sup>0</sup>	9,8 x 10 <sup>0</sup>
T4-03 R3	34 x 10 <sup>0</sup>	11 x 10 <sup>0</sup>

**METODOLOGÍA EMPLEADA**

Coliformes Totales : SMEWW-APIA /AWWA-WEF Part 9221-B, 22nd Ed. 2012, Pág. 9-66 a 9-67. 9221-C 22nd Ed. 2012, Pág. 9-69 a 9-73.

Coliformes Fecales : SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221-E, 22nd Ed. 2012, Pág. 9-74 a 9-75. 9221-C 22nd Ed. 2012, Pág. 9-80 a 9-73.

**NOTA:**

- Informe de ensayo emitido en base a resultados realizados por COLECBI S.A.C.
- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra ensayada
- Estos resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce
- No afecta al proceso de Dirimencia por ser la muestra Producto Perecible.

Fecha de Emisión: **Nuevo Chimbote, Octubre 08 del 2016.**

GVR/jms

**A. Gustavo Vargas Ramos**  
 Gerente de Laboratorios  
 C.B.P. 329  
 COLECBI S.A.C.

LC-MP-HRIE  
 Rev. 04

Fecha 2015-11-30

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DE COLECBI S.A.C

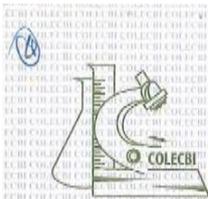
Urb. Buenos Aires Mz. A - Lt. 7 - I Etapa - Nuevo Chimbote - Telefax: 043-310752

Nextel: 839\*2893 - RPM # 902995 - Apartado 127

e-mail: [colecbi@speedy.com.pe](mailto:colecbi@speedy.com.pe) / [medioambiente\\_colecbi@speedy.com.pe](mailto:medioambiente_colecbi@speedy.com.pe)

Web: [www.colecbi.com](http://www.colecbi.com)

Figura 21. Análisis de la tercera repetición del día 0 de los 4 tratamientos



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 046**



**INACAL**  
DA Perú  
Laboratorio de Pruebas  
Acreditado

Registro N°LE-646

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL N° 3154-16**

Pág. 1 de 1

**SOLICITADO POR:** VICTOR CERNA ULLOA  
**DIRECCIÓN:** Urb. Banhero Rossi D4 Lote 3 Nuevo Chimbote  
**PRODUCTO DECLARADO:** AGUA RESIDUAL  
**CANTIDAD DE MUESTRA:** 01 muestra x 0,5l  
**PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA:** Frasco de vidrio con tapa.  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 2016-10-07  
**FECHA DE INICIO DEL ENSAYO:** 2016-10-07  
**FECHA DE TERMINO DEL ENSAYO:** 2016-10-11  
**CONDICIÓN DE LA MUESTRA:** En buen estado.  
**ENSAYOS REALIZADOS EN:** Laboratorio de Microbiología  
**CÓDIGO COLECEBI:** SS 001739-16

**RESULTADOS**

**ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS**

ENSAYOS	MUESTRA	
	Coliformes Totales (NMP/100mL)	Coliformes Fecales (NMP/100mL)
T1 - 10 R1	29 x 10	1,9
T2 - 10 R1	37 x 10	1,0
T3 - 10 R1	28 x 10	3,0
T4 - 10 R1	9,0	4,0

**METODOLOGÍA EMPLEADA**

**Coliformes Totales:** SMEVW-API/A /AWWA-WEF Part 9221-B, 22nd Ed. 2012, Pág. 9-66 a 9-67. 9221-C 22nd Ed. 2012, Pág. 9-69 a 9-73

**Coliformes Fecales:** SMEVW-APHA-AWWA-WEF Part 9221-E, 22nd Ed. 2012, Pág. 9-74 a 9-75. 9221-C 22nd Ed. 2012, Pág. 9-80 a 9-73

**NOTA:**

- Informe de ensayo emitido en base a resultados realizados por COLECEBI S.A.C.
- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra ensayada.
- Estos resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- No afecta al proceso de Dirimencia por ser la muestra Producto Perecible.

Fecha de Emisión: Nuevo Chimbote, Octubre 12 del 2016.

GVR/jms

**A. Gustavo Vargas Ramos**  
Gerente de Laboratorios  
C.B.P. 325  
COLECEBI S.A.C.

LC-MP-HRIE  
Rev. 04  
Fecha 2015-11-30

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DE COLECEBI S.A.C.

Urb. Buenos Aires Mz. A - Lt. 7 - "I Etapa" - Nuevo Chimbote - Telefax: 043-310752

Nextel: 839\*2893 / RPM # 902995 - Apartado 127

e-mail: colecebi@speedy.com.pe / medioambiente\_colecebi@speedy.com.pe

Web: www.colecebi.com

Figura 22. Análisis de la primera repetición del día 7 de los 4 tratamientos



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 046**



Registro N°LE-046

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL N° 3154-16**

Pág. 1 de 1

**SOLICITADO POR** : VICTOR CERNA ULLOA

**DIRECCIÓN** : Urb. Banhero Rossi D4 Lote 3 Nuevo Chimbote.

**PRODUCTO DECLARADO** : AGUA RESIDUAL.

**CANTIDAD DE MUESTRA** : 01 muestra x 0,5L

**PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA** : Frasco de vidrio con tapa.

**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2016-10-07

**FECHA DE INICIO DEL ENSAYO** : 2016-10-07

**FECHA DE TÉRMINO DEL ENSAYO** : 2016-10-11

**CONDICIÓN DE LA MUESTRA** : En buen estado.

**ENSAYOS REALIZADOS EN** : Laboratorio de Microbiología

**CÓDIGO COLECBI** : SS 001752-16

**ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS**

**RESULTADOS**

ENSAYOS	MUESTRA	
	Coliformes Totales (NMP/100mL)	Coliformes Fecales (NMP/100mL)
T1-10R2	27 x 10	1,8
T2-10R2	36 x 10	3,0
T3-10R2	27 x 10	1,0
T4-10R2	9,4	1,0

**METODOLOGÍA EMPLEADA**

**Coliformes Totales** : SMEWW-APIA AWWA-WEF Part 9221-B, 22nd Ed. 2012, Pág. 9-66 a 9-67. 9221-C 22nd Ed. 2012, Pág. 9-69 a 9-73.

**Coliformes Fecales** : SMEWW-APHA AWWA-WEF Part 9221-E, 22nd Ed. 2012, Pág. 9-74 a 9-75. 9221-C 22nd Ed. 2012, Pág. 9-69 a 9-73.

**NOTA:**

- Informe de ensayo emitido en base a resultados realizados por COLECBI S.A.C.
- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra ensayada
- Estos resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce
- No afecta al proceso de Dirimencia por ser la muestra Producto Perecible.

Fecha de Emisión : Nuevo Chimbote, Octubre 12 del 2016.

GVR/jms

*(Firma)*

**A. Gustavo Vargas Ramos**  
Gerente de Laboratorios  
C.B.P. 929  
COLECBI S.A.C.

LC-MPHRE

Rev. 04

Fecha 2015-11-30

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DE COLECBI S.A.C.

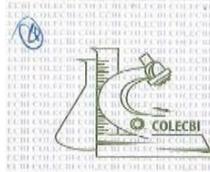
Urb. Buenos Aires Mz. A - Lt. 7 - I Etapa - Nueva Chimbote - Telefax: 043-310752

Nxtel: 83972893 - RPM # 902995 - Apartado 127

e-mail: [colecbi@speedy.com.pe](mailto:colecbi@speedy.com.pe) / [medioambiente\\_colecbi@speedy.com.pe](mailto:medioambiente_colecbi@speedy.com.pe)

Web: [www.colecbi.com](http://www.colecbi.com)

**Figura 23. Análisis de la segunda repetición del día 7 de los 4 tratamientos**



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 046**



**INACAL**  
DA Peru  
Acreditado

Registro N° LE-046

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL N° 3154-16**

Pág. 1 de 1

**SOLICITADO POR:** VICTOR CERNA ULLOA.  
**DIRECCION:** Urb. Banchoero Rossi D4 Lote 3 Nuevo Chimbote.  
**PRODUCTO DECLARADO:** AGUA RESIDUAL.  
**CANTIDAD DE MUESTRA:** 01 muestra x 0,5L.  
**PRESENTACION DE LA MUESTRA:** Frasco de vidrio con tapa.  
**FECHA DE RECEPCION:** 2016-10-07  
**FECHA DE INICIO DEL ENSAYO:** 2016-10-07  
**FECHA DE TERMINO DEL ENSAYO:** 2016-10-11  
**CONDICION DE LA MUESTRA:** En buen estado.  
**ENSAYOS REALIZADOS EN:** Laboratorio de Microbiología.  
**CODIGO COLECBI:** SS 001753-16

**RESULTADOS**

**ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS**

ENSAYOS	MUESTRA	
	Coliformes Totales (NMP/100mL)	Coliformes Fecales (NMP/100mL)
T1 - 10 R3	28 x 10	1,7
T2 - 10 R3	32 x 10	2,0
T3 - 10 R3	29 x 10	2,0
T4 - 10 R3	9,2	1,0

**METODOLOGIA EMPLEADA**

**Coliformes Totales:** SMEWW-APIA AWWA-WEF Part 9221-B, 22nd Ed. 2012, Pág. 9-66 a 9-67. 9221-C 22nd Ed. 2012, Pág. 9-69 a 9-73.

**Coliformes Fecales:** SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221-E, 22nd Ed. 2012, Pág. 9-74 a 9-75. 9221-C 22nd Ed. 2012, Pág. 9-69 a 9-73.

**NOTA:**

- Informe de ensayo emitido en base a resultados realizados por COLECBI S.A.C.
- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra ensayada.
- Estos resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- No afecta al proceso de Derivación por ser la muestra Producto Perecible.

Fecha de Emisión: Nuevo Chimbote, Octubre 12 del 2016.  
GVR/jms

A. Gustavo Vargas Ramos  
Gerente de Laboratorios  
C.B. 325  
COLECBI S.A.C.

LC-MP-HR/IE  
Rev. 04  
Fecha 2015-11-30

PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME SIN LA AUTORIZACION ESCRITA DE COLECBI S.A.C.

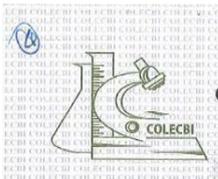
Urb. Buenos Aires Mz. A - Lt. 7 - I Etapa, N° Nuevo Chimbote - Telef: 043-310752

Nextel: 839\*2893; RPM #: 902995; Apartado 127.

e-mail: colecbi@speedy.com.pe/ medioambiente\_colecbi@speedy.com.pe

Web: www.colecbi.com

Figura 24. Análisis de la tercera repetición del día 7 de los 4 tratamientos



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 046**



Registro N°LE-046

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL N° 3154-16**

Pág. 1 de 1

**SOLICITADO POR:** VÍCTOR CERNA ULLOA.  
**DIRECCIÓN:** Urb. Banquero Rossi D4 Lote 3 Nuevo Chimbote.  
**PRODUCTO DECLARADO:** AGUA RESIDUAL.  
**CANTIDAD DE MUESTRA:** 01 muestra x 0,5L.  
**PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA:** Frasco de vidrio con tapa.  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 2016-10-07  
**FECHA DE INICIO DEL ENSAYO:** 2016-10-07  
**FECHA DE TÉRMINO DEL ENSAYO:** 2016-10-11  
**CONDICIÓN DE LA MUESTRA:** En buen estado.  
**ENSAYOS REALIZADOS EN:** Laboratorio de Microbiología.  
**CÓDIGO COLECBI:** SS 001754-16

**RESULTADOS**

**ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS**

ENSAYOS	MUESTRA	
	Coliformes Totales (NMP/100mL)	Coliformes Fecales (NMP/100mL)
C1 - 10 R1	29 x 10 <sup>5</sup>	4 x 10 <sup>5</sup>
C2 - 10 R1	11 x 10 <sup>5</sup>	5 x 10 <sup>5</sup>
C3 - 10 R1	8 x 10 <sup>5</sup>	8 x 10 <sup>5</sup>
C4 - 10 R1	16 x 10 <sup>5</sup>	29 x 10 <sup>5</sup>

**METODOLOGÍA EMPLEADA**

**Coliformes Totales:** SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221-B, 22nd Ed. 2012, Pág. 9-66 a 9-67. 9221-C 22nd Ed. 2012, Pág. 9-69 a 9-73.

**Coliformes Fecales:** SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221-E, 22nd Ed. 2012, Pág. 9-74 a 9-75. 9221-C 22nd Ed. 2012, Pág. 9-69 a 9-73.

**NOTA:**

- Informe de ensayo emitido en base a resultados realizados por COLECBI S.A.C
- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra ensayada.
- Estos resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce
- No afecta al proceso de Derivación por ser la muestra Producto Perecible

Fecha de Emisión: Nuevo Chimbote, Octubre 12 del 2016.

GVR/jms

**A. Gustavo Vargas Ramos**  
Gerente de Laboratorios  
C.B.P. 326  
COLECBI S.A.C

LC-MP-HRIE  
Rev. 04

Fecha 2016-11-30

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DE COLECBI S.A.C

Urb. Buenos Aires Mz. A - Lt. 7 - I Etapa - Nuevo Chimbote - Telefax: 043-310752

Nextel: 839\*2893 - RPM # 902995 - Apartado 127

e-mail: [colecbi@speedy.com.pe](mailto:colecbi@speedy.com.pe) / [mediambiente\\_colecbi@speedy.com.pe](mailto:mediambiente_colecbi@speedy.com.pe)

Web: [www.colecbi.com](http://www.colecbi.com)

**Figura 25. Análisis de la primera repetición del día 7 del tratamiento control**

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL N° 3154-16** Pág. 1 de 1

**SOLICITADO POR:** VICTOR CERNA ULLOA.  
**DIRECCIÓN:** Urb. Bancharo Rossi D4 Lote 3 Nuevo Chimbote.  
**PRODUCTO DECLARADO:** AGUA RESIDUAL.  
**CANTIDAD DE MUESTRA:** 01 muestra x 0,5L  
**PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA:** Frasco de vidrio con tapa.  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 2016-10-07  
**FECHA DE INICIO DEL ENSAYO:** 2016-10-07  
**FECHA DE TERMINO DEL ENSAYO:** 2016-10-11  
**CONDICIÓN DE LA MUESTRA:** En buen estado.  
**ENSAYOS REALIZADOS EN:** Laboratorio de Microbiología.  
**CÓDIGO COLECEBI:** SS 001755-16

**RESULTADOS**

ENSAYOS	MUESTRA	MUESTRA
	Coliformes Totales (NMP/100mL)	Coliformes Fecales (NMP/100mL)
C1 - 10 R2	30 x 10 <sup>2</sup>	3 x 10 <sup>2</sup>
C2 - 10 R2	13 x 10 <sup>2</sup>	4 x 10 <sup>2</sup>
C3 - 10 R2	7 x 10 <sup>2</sup>	40 x 10 <sup>2</sup>
C4 - 10 R2	14 x 10 <sup>2</sup>	26 x 10 <sup>2</sup>

**METODOLOGÍA EMPLEADA**  
**Coliformes Totales:** SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221-B, 22nd Ed. 2012, Pág. 9-66 a 9-67. 9221-C 22nd Ed. 2012. Pág. 9-69 a 9-73.  
**Coliformes Fecales:** SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221-E, 22nd Ed. 2012, Pág. 9-74 a 9-75. 9221-C 22nd Ed. 2012. Pág. 9-69 a 9-73.

**NOTA:**

- Informe de ensayo emitido en base a resultados realizados por COLECEBI S.A.C.
- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra ensayada.
- Estos resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- No afecta al proceso de Derivación por ser la muestra Producto Perecible.

Fecha de Emisión: Nuevo Chimbote, Octubre 12 del 2016.

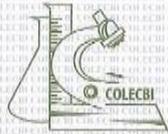
GVR/jms

  
**A. Gustavo Vargas Ramos**  
 Gerente de Laboratorios  
 C.B.P. 326  
**COLECEBI-S.A.C.**

**LC-MP-HRRIE**  
**Rev. 04**  
**Fecha 2016-11-30**

**PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DE COLECEBI S.A.C.**  
 Urb. Buenos Aires Mz. A + Lt. 7 - I Etapa - Nuevo Chimbote - Telefax: 043-310752  
 Nextel: 839\*2893 - RPM # 902995 - Apartado 127  
 e-mail: colecebi@speedy.com.pe / medioambiente\_colecebi@speedy.com.pe  
 Web: www.colecebi.com

**Figura 26. Análisis de la segunda repetición del día 7 del tratamiento control**



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 046**



Registro N° LE-046

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL N° 3154-16**

Pág. 1 de 1

**SOLICITADO POR** VICTOR CERNA ULLOA.  
**DIRECCIÓN** Urb. Banchemo Rossi D4 Lote 3 Nuevo Chimbote.  
**PRODUCTO DECLARADO** AGUA RESIDUAL.  
**CANTIDAD DE MUESTRA** 01 muestra x 0,5L  
**PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA** Frasco de vidrio con tapa.  
**FECHA DE RECEPCIÓN** 2016-10-07  
**FECHA DE INICIO DEL ENSAYO** 2016-10-07  
**FECHA DE TERMINO DEL ENSAYO** 2016-10-11  
**CONDICIÓN DE LA MUESTRA** En buen estado.  
**ENSAYOS REALIZADOS EN** Laboratorio de Microbiología  
**CÓDIGO COLECBI** SS 001756-16

**RESULTADOS**

ENSAYOS	MUESTRA	
	Coliformes Totales (NMP/100mL)	Coliformes Fecales (NMP/100mL)
C1 - 10 R3	31 x 10 <sup>3</sup>	5 x 10 <sup>3</sup>
C2 - 10 R3	12 x 10 <sup>3</sup>	6 x 10 <sup>3</sup>
C3 - 10 R3	6 x 10 <sup>3</sup>	6 x 10 <sup>3</sup>
C4 - 10 R3	15 x 10 <sup>3</sup>	29 x 10 <sup>3</sup>

**METODOLOGÍA EMPLEADA**

**Coliformes Totales** : SMEWW-APIA AWWA-WEF Part 9221-B, 22nd Ed. 2012, Pág. 9-66 a 9-67, 9221-C 22nd Ed. 2012, Pág. 9-69 a 9-73.

**Coliformes Fecales** : SMEWW-APHA AWWA-WEF Part 9221-E, 22nd Ed. 2012, Pág. 9-74 a 9-75, 9221-C 22nd Ed. 2012, Pág. 9-69 a 9-73.

**NOTA:**

- Informe de ensayo emitido en base a resultados realizados por COLECBI S.A.C.
- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra ensayada
- Estos resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce
- No afecta al proceso de Dirimencia por ser la muestra Producto Perecible.

**Fecha de Emisión:** Nuevo Chimbote, Octubre 12 del 2016.

**A. Gustavo Vargas Ramos**  
 Gerente de Laboratorios  
 C.B.P. 325  
 COLECBI S.A.C.

LG-MP-HRIE  
 Rev. 04  
 Fecha 2015-11-30

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DE COLECBI S.A.C.

Urb. Buenos Aires Mz. A - Lt. 7 - I Etapa - Nuevo Chimbote - Telefax: 043-310752  
 Nextel: 839\*2893 ; RPM # 902995 ; Apartado 127  
 e-mail: colecbi@speedy.com.pe / medioambiente\_colecbi@speedy.com.pe  
 Web: www.colecbi.com

Figura 27. Análisis de la tercera repetición del día 7 del tratamiento control

Anexo 9. Costos de análisis en laboratorio certificado

<b>ANÁLISIS</b>	<b>COSTO</b>
<b>COLIFORMES TOTALES</b>	S/ 40.00
<b>COLIFORMES FECALES</b>	S/ 40.00

# INFORME DE TESIS

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

<b>7</b> %	<b>4</b> %	<b>2</b> %	<b>5</b> %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

---

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

---

1%

★ Submitted to Universidad Nacional de Colombia

Trabajo del estudiante

---

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado