

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



**Efecto de la concentración de lodo procedente del cultivo semiintensivo de
Arapaima gigas “paiche” en el crecimiento poblacional y contenido de lípidos de
*Scenedesmus acutus***

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

AUTORES:

Bach. Saucedo Sabalú, Fabiola
DNI N°: 41637468
ORCID: 0009-0002-1517-5156
Bach. Rodríguez Oviedo, Rosa Victoria
DNI N°: 41715072
ORCID: 0009-0003-6403-8825

ASESORA:

Msc. Mendoza Espinoza, Sorayda
DNI N° 32924785
ORCID: 0000-0002-9212-8030

Nuevo Chimbote - Perú

2024

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



**Efecto de la concentración de lodo procedente del cultivo semiintensivo de
Arapaima gigas “paiche” en el crecimiento poblacional y contenido de lípidos de
*Scenedesmus acutus***

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

AUTORES:

Bach. Fabiola Saucedo Sabalú

Bach. Rosa Victoria Rodríguez Oviedo

REVISADO Y APROBADO POR EL ASESOR

MSC. SORAYDA MENDOZA ESPINOZA
DNI N° 32924785
ORCID: 0000-0002-9212-8030

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



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**Efecto de la concentración de lodo procedente del cultivo semiintensivo de
Arapaima gigas "paiche" en el crecimiento poblacional y contenido de lípidos de
*Scenedesmus acutus***

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

AUTORES:

Bach. Fabiola Saucedo Sabalú

Bach. Rosa Victoria Rodriguez Oviedo

APROBADO POR LOS SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO

Dr. Walter Eduardo Reyes Avalos
Presidente
DNI N° 17878579
ORCID: 0000-0002-4277-9521

Msc. Carmen Rosa Chimbor Mejía
Secretaria
DNI N° 32965907
ORCID: 0009-0009-8053-6545

Msc. Sorayda Mendoza Espinosa
Integrante
DNI N° 32924785
ORCID: 0000-0002-9212-8030

ACTA DE CALIFICACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN DE LA TESIS

En el Distrito de Nuevo Chimbote, en la Universidad Nacional de Santa, en el Aula de Multimedia 5^{to} Piso - Facultad de Ciencias, siendo las 11:00 horas del día 14 de Agosto del 2024, dando cumplimiento a la Resolución N° 251-2024-UNS-FC, se reunió el Jurado Evaluador presidido por Dr. Walter Eduardo Rey Avalos, teniendo como miembros a H.Sc. Carmen Rosa Chimbor Mejía (secretario) (a), y M.Sc. 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) Fabiola Saucedo Sabala y Rosa Victoria Rodríguez Uribe

quien (es) sustentó (aron) la tesis intitulada: "Efecto de la Concentración de Codo procedente del Cultivo Semiintensivo de Arapaima gigas "paiche" en el crecimiento poblacional y contenido de lípidos de Scenedesmus olerius"

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 Aprobada 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 13:00 horas del mismo día se dio por terminado el acto de sustentación firmando los miembros del Jurado en señal de conformidad


Nombre: Dr. Walter Rey Avalos
Presidente


Nombre: Carmen Rosa Chimbor Mejía
Secretario


Nombre: M.Sc. Sorayda Mendoza Espinoza
Integrante

Distribución: Integrantes (1), 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: ROSA VICTORIA RODRIGUEZ OVIE3DO
Título del ejercicio: Efecto de la concentración de lodo procedente del cultivo se...
Título de la entrega: Efecto de la concentración de lodo procedente del cultivo se...
Nombre del archivo: Informe_final_tesis_FR_2024_corregido_para_imprimir_3_.pdf
Tamaño del archivo: 516.23K
Total páginas: 56
Total de palabras: 16,674
Total de caracteres: 84,622
Fecha de entrega: 03-ene.-2025 08:34a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega... 2559539472

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



Efecto de la concentración de lodo procedente del cultivo microbiano de
Artemia salina "pachá" en el crecimiento poblacional y mortalidad de lipidos de
Serranodon mosoti

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE BIÓLOGO ACUICULTOR

AUTORES:

Drch. Fabiola Sarmiento Salcedo
ORCID: 0009-0002-1017-0156
DNI N° 41637068

Drch. Rosa Victoria Rodríguez Oviedo
ORCID: 0009-0003-44030822
DNI N° 81713072

ASESORA:

Msc. Soraya Sarmiento Espinoza
ORCID: 0009-0002-9212-0030
DNI N° 32924780

Nuevo Ché debate - Perú
2024

Efecto de la concentración de lodo proveniente del cultivo semiintensivo de Arapaima gigas "paiche" en el crecimiento poblacional y contenido de lípidos de Scenedesmus acutus

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional del Santa Trabajo del estudiante	8%
2	core.ac.uk Fuente de Internet	2%
3	fr.slideshare.net Fuente de Internet	2%
4	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	1%
5	repository.lasalle.edu.co Fuente de Internet	1%
6	repositoriodigital.uns.edu.ar Fuente de Internet	<1%
7	ciencia.lasalle.edu.co Fuente de Internet	<1%
8	1library.co Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

A Dios por permitirme culminar esta etapa. Ser el apoyo y fortaleza.

A mi madre por el apoyo incondicional. Y a mis hijos por mi mayor motivación.

A mis maestros de la escuela de Biología en Acuicultura por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión.

Fabiola Saucedo Sabalú.

Agradecida con Dios por estar siempre presente, dedico mi tesis a mis queridos padres por darme siempre su apoyo y amados hijos que son la fuente de mi motivación. A mis profesores de la Escuela de Biología en Acuicultura. por ser ejemplo de inspiración.

RosaVictoria Rodriguez Oviedo.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento de la Escuela de Biología en Acuicultura. A mis profesores de Biología en Acuicultura por ser nuestros guías, a mis amigos Verónica Pedemonte y Julio Pisfil por la ayuda incondicional. Este logro es en parte gracias a ustedes. En especial a mi madre que recibí siempre su apoyo.

Fabiola Saucedo Sabalú

En primer lugar, agradezco a mis padres por su esfuerzo incondicional y por todo el apoyo que me han proporcionado, su ayuda fue fundamental para la culminación de la tesis. A mis queridos docentes de la Escuela de Biología en Acuicultura por su apoyo en todas las etapas de la vida universitaria.

Rosa Victoria Rodríguez Oviedo

Los Autores

ÍNDICE DE CONTENIDOS

HOJA DE ASESOR.....	ii
HOJA DE JURADO EVALUADOR	iii
ACTA DE SUSTENTACIÓN	ivi
RECIBO DIGITAL	v
TURNITIN	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo General	6
Objetivos Específicos	6
Hipótesis.....	6
II. MARCO TEÓRICO.....	7
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
3.1. Localización de la investigación.....	9
3.2. Material experimental	9
3.2.1. Material biológico.....	9
3.3. Preparación de los medios de cultivo para el experimento con <i>S. acutus</i>	9
3.3.1. Preparación de la solución stock del medio de cultivo con lodo del cultivo de paiche (LCP)	9
3.3.2. Preparación de la solución stock del medio de cultivo HM.....	10
3.4. Diseño experimental de la investigación	11
3.5. Acondicionamiento de las unidades experimentales.....	12
3.6. Tratamiento del agua de cultivo para el experimento	13
3.7. Análisis químico del lodo del cultivo de paiche	13
3.8. Determinación de los parámetros de cultivo de <i>S. acutus</i>	14
3.9. Determinación del crecimiento poblacional de <i>S. acutus</i>	15
3.10. Contenido de lípidos de <i>S. acutus</i>	15

3.11. Biomasa de <i>S. acutus</i>	17
3.12. Análisis estadístico	17
IV. RESULTADOS	18
4.1. Crecimiento poblacional en el cultivo de <i>S. acutus</i>	18
4.1.1. Densidad celular de <i>S. acutus</i>	18
4.1.2. Tasa de crecimiento y tiempo de duplicación	19
4.2. Porcentaje y biomasa de lípidos en <i>S. acutus</i>	20
4.3. Parámetros ambientales del cultivo de <i>S. acutus</i>	21
4.3.1. Temperatura en el cultivo de <i>S. acutus</i>	21
4.3.2. pH en el cultivo de <i>S. acutus</i>	22
V. DISCUSIÓN	23
VI. CONCLUSIONES	31
VII. RECOMENDACIONES	32
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
IX. ANEXOS	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del medio HM.....	9
Tabla 2. Diseño experimental utilizando lodo del cultivo de paiche y control HM.	9
Tabla 3. Concentraciones de los componentes utilizados en el diseño experimental de los cultivos de <i>S. acutus</i> , utilizando medios de cultivo LCP y control HM... ..	10
Tabla 4. Valores proximales de los principales componentes del lodo utilizado en el cultivo de <i>S. acutus</i>	12
Tabla 5. Concentración de nutrientes en el medio HM y LCP utilizados en los cultivos de <i>S. acutus</i>	12
Tabla 6. Tasa de crecimiento (μ) y tiempo de duplicación (TD) promedio y desviación estándar, en el quinto día de los cultivos de <i>S. acutus</i> dosificados con LCP y control HM.... ..	19
Tabla 7. Porcentaje y biomasa (mg.L^{-1}) de lípidos promedio y desviación estándar, en el quinto día de los cultivos de <i>S. acutus</i> dosificados con LCP y control HM.. ..	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Protocolo de preparación del LCP del cultivo de paiche para los cultivos de <i>S. acutus</i>	8
Figura 2. Unidades experimentales al inicio del cultivo de <i>S. acutus</i>	11
Figura 3. Procedimiento para la determinación del contenido de lípidos en <i>S. acutus</i>	14
Figura 4. Densidad celular de <i>S. acutus</i> cultivados con LCP y control HM.	17
Figura 5. Unidades experimentales al quinto día de cultivo de <i>S. acutus</i> dosificados con LCP y control HM.	17
Figura 6. Temperatura promedio (°C) en los tratamientos de <i>S. acutus</i> dosificados con LCP y grupo control HM.	21
Figura 7. pH promedio (unid.) en los cultivos de <i>S. acutus</i> dosificados con LCP y control HM.	21

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo determinar el efecto de la concentración de lodo procedente del cultivo semiintensivo de *Arapaima gigas*, denominado lodo de cultivo de paiche (LCP), en el crecimiento poblacional y contenido de lípidos de *Scenedesmus acutus*. Se encontraron que al quinto día de cultivo los mejores promedios para la densidad celular, μ y TD, estuvieron en los tratamientos con 1,5 y 2,0 g L⁻¹ de LCP, con 23,67 x10⁶ cél. mL⁻¹, 0,489 d⁻¹ y 1,417 d, y 24,53 x10⁶ cél.mL⁻¹, 0,497 d⁻¹ y 1,396 d, respectivamente. Los lípidos como porcentaje al quinto día de cultivo de *S. acutus*, tuvo su mayor promedio significativo en el tratamiento a 1,0 g L⁻¹ de LCP con 24,23 %, seguido de los tratamientos a 1,5 y 2,0 g.L⁻¹ de LCP con 22,87 y 22,74 %, respectivamente; y para la biomasa de lípidos, se presentaron promedios significativamente similares en los tratamientos a 1,0, 1,5 y 2,0 g L⁻¹ de LCP con 161,5, 172,4 y 177,4 mg.L⁻¹, respectivamente.

Keywords: microalgae, *Scenedesmus acutus*, sludge, lipids, paiche.

ABSTRACT

The objective of the study was to determine the effect of the concentration of sludge from the semi-intensive culture of *Arapaima gigas*, called paiche culture sludge (PCS), on the population growth and lipid content of *Scenedesmus acutus*. It was found that on the fifth day of culture the best averages for cell density, μ and TD, were in the treatments with 1.5 and 2.0 g L⁻¹ of LCP, with 23.67 x10⁶ cells. mL⁻¹, 0.489 d⁻¹ and 1.417 d, and 24.53 x10⁶ cells.mL⁻¹, 0.497 d⁻¹ and 1.396 d, respectively. Lipids as a percentage at the fifth day of culture of *S. acutus*, had its highest significant average in the treatment at 1.0 g L⁻¹ of LCP with 24.23 %, followed by the treatments at 1.5 and 2.0 g.L⁻¹ of LCP with 22.87 and 22.74 %, respectively; and for lipid biomass, significantly similar averages were presented in the treatments at 1.0, 1.5 and 2.0 g L⁻¹ of LCP with 161.5, 172.4 and 177.4 mg.L⁻¹, respectively.

Key words: microalgae, *Scenedesmus acutus*, sludge, lipids, paiche.

I. INTRODUCCIÓN

Cada actividad de piscicultura debe contar con una zona designada para la acumulación de sedimentos generados, donde se almacenan durante períodos variables para facilitar la descomposición orgánica (Aguilar-Manjarrez *et al.*, 2018). El control y gestión de estos sedimentos se limita a verificar la presencia de lagunas de sedimentación u otras medidas de mitigación con el fin de prevenir posibles impactos adversos en el entorno (González, 2012; Chaverra-Garcés, 2022). Por lo tanto, en las piscifactorías, es esencial mantener un flujo constante de agua en el estanque, y se aconseja realizar un cambio diario de al menos el 5% al 10% del volumen de agua para eliminar los desechos ricos en nitrógeno, como el amonio, nitrito y fósforo. Estos desechos se originan a partir de las excreciones de los organismos acuáticos y de la descomposición de los restos de alimento no consumido. Normalmente, el fitoplancton ayuda a metabolizar estos compuestos, pero si hay un exceso, puede ser perjudicial para los animales criados (Franco-Rojas y Peláez-Rodríguez, 2007; Correa *et al.*, 2021).

Por lo tanto, los sedimentos juegan un papel esencial en la actividad de la piscicultura, definiéndose como la capa superficial en el fondo del estanque formada por la acumulación de partículas sólidas en suspensión, nutrientes y elementos del suelo en contacto con el agua (González-Acosta y Rosado-Puccini, 2022). Se estima que aproximadamente el 5% del alimento suministrado a los peces no es consumido, y alrededor del 15% del alimento entregado se convierte en desechos, lo que lleva a la conclusión de que alrededor del 20% de la comida proporcionada en las instalaciones acuícolas se convierte en sedimento (González, 2012). Del mismo modo, Basaure (2009), Sena-Ceniagua (2010) y Burbano-Gallardo *et al.* (2021), afirman que la piscicultura intensiva y semi-intensiva modifica el fondo de cultivo y formando sedimentos o lodos, afectando la microbiota en los cuerpos de agua, cuyos residuos son sustancias químicas y desechos provenientes del metabolismo o son parte alimento que no es consumido.

Vialori *et al.* (2004) y Charruau *et al.* (2022), y sostienen que las dimensiones de las partículas que constituyen el sedimento tienen un impacto significativo en la textura del lecho del estanque, la biodiversidad que reside en él, la capacidad para retener residuos de procesos metabólicos, como el amonio y los fosfatos, y la afinidad para absorber sustancias añadidas al estanque, como cal y fertilizantes tanto orgánicos como inorgánicos; así como Piedrahita (2003), encontró que los desechos en los centros de

cultivo de peces contienen variedad de componentes que podrían causar impactos negativos al ambiente, y Viadero *et al.* (2005), recomiendan que reciban un tratamiento adecuado antes de ser vertidos en los cuerpos de agua natural. En el cultivo de *Arapaima gigas* paiche, se generan estos desechos produciéndose una problemática ambiental a tenerse en cuenta en futuros planes de manejo ambiental e incluirlos en cada empresa (Gonzales, 2019); y cuyo alto contenido en materia orgánica y nitrógeno, pueden ser fuente de nutrientes para las microalgas como *Scenedesmus acutus*; más aún, que las concentraciones de metales pesados no sobrepasan los límites establecidos (González, 2012; Mendoza, 2022), entendiéndose que el sedimento está conformado por materia orgánica, fósforo, nitrógeno y carbono orgánico (Burbano-Gallardo *et al.*, 2021).

Hasta la fecha, no se han documentado investigaciones específicas sobre la generación de lodos en la cría de paiches, pero se pueden inferir datos de otros cultivos de peces. Por ejemplo, Salazar *et al.* (2005), calcularon que, por cada tonelada métrica de salmón producida, se generan aproximadamente 1.4 toneladas métricas de lodo, y subrayaron la importancia de buscar alternativas para su gestión y uso adecuado. Además, en relación a la composición de estos lodos, Yossa *et al.* (2009), observaron que más del 50% estaba compuesto por arena, seguido de limo y arcilla, con una capa superficial caracterizada por limo y arcilla, que se clasifican como un suelo tipo arenoso con niveles de materia orgánica cercanos al 10%.

Existen investigaciones que se centran en el tratamiento de los lodos generados por la cría de peces. Por ejemplo, Troncoso *et al.* (2007), llevaron a cabo un estudio para evaluar la viabilidad del tratamiento de los sedimentos anaeróbicos ubicados debajo de las jaulas de cultivo de salmónes utilizando hidróxido de magnesio. Este enfoque mostró resultados prometedores, ya que permitió elevar los valores potenciales de redox de los sedimentos a niveles positivos, aumentar el pH, reducir el contenido de materia orgánica total y aumentar la abundancia de especies presentes en el sedimento. Sin embargo, aún no se ha establecido un estándar y persiste el desafío de encontrar la dosis óptima. No obstante, esta problemática podría evitarse utilizando los sedimentos como fuente de nutrientes para el cultivo de microalgas, lo que representa una solución interesante para su tratamiento.

En Brasil, Glauco *et al.* (2009), llevaron a cabo experimentos que involucraron cultivos hidropónicos de *Lactuca sativa* en combinación con la cría intensiva de *Brycon cephalus*,

con el objetivo de reducir la acumulación de lodos. En este sistema, el agua circulaba de manera continua entre ambos sistemas productivos. El agua pasaba a través de los tanques de cría y luego se dirigía hacia un decantador rectangular de fibra de vidrio, donde se reducía la velocidad del agua, lo que permitía que los residuos sólidos (lodos) se asentaran y fueran removidos diariamente. Estos estanques de peces tenían una capacidad de 2.5 m³ cada uno y albergaban a 60 peces. A pesar de que estos lodos contenían nutrientes esenciales para el cultivo de *L. sativa*, no se encontraban en cantidades suficientes, especialmente en lo que respecta al potasio y el magnesio, por lo que fue necesario complementar con minerales para lograr un crecimiento óptimo de las plantas.

Una excelente alternativa de tratamiento y aprovechamiento de estos lodos sería el empleo de microalgas, microorganismos que se han investigado por su capacidad para eliminar cantidades significativas de nitrógeno y fósforo a medida que se desarrollan. Además, estas microalgas son eficaces en la absorción de metales y en la aceleración de la desactivación de bacterias patógenas y compuestos tóxicos mediante procesos tanto aeróbicos como anaeróbicos. Esta aplicación de las microalgas ha sido objeto de estudio en diversas investigaciones, como las de Pellon *et al.* (2003), Choonawala y Swalaha (2002), Hanuk y Acoul-Gyun (2002), Glauco *et al.* (2009), Brunet-Ramos (2021), García *et al.* (2021) y López-Hernández *et al.* (2022).

Las microalgas también tienen una tasa de reproducción que está relacionada con las condiciones fisicoquímicas del entorno, y esto depende del contenido de varios nutrientes y factores que pueden limitar su crecimiento. Los parámetros más importantes incluyen carbono, nitrógeno, fósforo, silicio, magnesio, potasio y calcio, que se requieren en mayores cantidades. Por otro lado, los micronutrientes como hierro, manganeso, cobre, zinc, sodio, molibdeno, cloro y cobalto son necesarios en cantidades más pequeñas. Para utilizar los lodos como fuente de nutrientes para el cultivo de microalgas, es esencial asegurarse de que el medio contenga estos nutrientes en las cantidades adecuadas para garantizar el éxito del cultivo, como lo han señalado Toyub *et al.* (2008), Garibay *et al.* (2009) y Li *et al.* (2019).

Desde hace muchos años, existe el interés por mitigar los impactos negativos de la industria (González *et al.*, 2020), así, se reporta el tratamiento de las aguas residuales en sistemas de depuración en Estados Unidos de América que consistían en sistemas de

tratamientos con microalgas bajo cultivo abierto y producción de metano en base a la biomasa (Piedrahita, 2003; Ugwu, 2008).

Las microalgas han sido aprovechadas por la humanidad en diversos aspectos, incluyendo la alimentación humana y animal. Estas diminutas formas de vida se utilizan para la producción de proteínas, vitaminas, carbohidratos, así como en el tratamiento de aguas residuales y como biofertilizantes, como se ha observado en investigaciones como las de Mosqueira *et al.* (2022) y Mora *et al.* (2004). Además, se evidencia un creciente interés en su producción, mediante el cual se puede obtener alimento vivo, ya que poseen un alto valor nutricional, son de tamaño adecuado, fácilmente digeribles y accesibles para diversas etapas de organismos acuáticos, como lo han destacado Rodríguez *et al.* (2007) y Tejido-Nuñez *et al.* (2020).

En su mayoría, las microalgas son fotosintéticas, pero su crecimiento poblacional está influenciado por una serie de factores, entre los que se incluyen la luz, la temperatura, el dióxido de carbono, el pH y nutrientes como el nitrógeno, el fósforo, así como algunos metales como el magnesio y el hierro, que son componentes fundamentales de su composición, tal como han señalado Pellon *et al.* (2003), Hu *et al.* (2008) y Musa *et al.* (2019).

Como alternativa, se ha propuesto el uso de *Scenedesmus acutus*. Esta especie se puede encontrar tanto en forma de colonias (cenobios) como de células individuales en ríos, lagos y lagunas. Esta microalga muestra un óptimo crecimiento en condiciones de temperatura de $28 \pm 2^\circ\text{C}$ y en un rango de pH de 6.5 a 9.5 unidades, según lo indicado por Garibay *et al.* (2009) y Shayesteh *et al.* (2021).

S. acutus demuestra una notable capacidad para tolerar altas concentraciones de nutrientes y presenta una alta actividad metabólica que le permite sobrevivir ante variaciones bruscas en las condiciones ambientales, incluso bajo condiciones extremas, como se ha documentado en investigaciones anteriores, como las de Andrade (2009) y Garibay *et al.* (2009).

En relación al cultivo de *Scenedesmus* sp., se han llevado a cabo extensos experimentos a nivel de laboratorio. Barreto & Purizaga (2013), llevaron a cabo experimentos empleando diferentes concentraciones del efluente del cultivo semiintensivo de *S. acutus*,

incluyendo un grupo con 100% de efluente (con una densidad de 37.93×10^5 cél mL⁻¹) y grupos con menores concentraciones, como el 25% y 50% de efluente, que tenían densidades de 10.29×10^5 cél mL⁻¹ y 11.96×10^5 cél mL⁻¹, respectivamente. Se observó que la mayor proporción de lípidos (28.61%) se obtuvo con el grupo que tenía un 25% de efluente.

Por otro lado, Quiroz & Vereau (2015), utilizaron un extracto acuoso del sedimento de la bahía El Ferrol (EAS) en *S. acutus*. Descubrieron que la mayor densidad poblacional se alcanzó con 15 mL/L de EAS, con una concentración de 36.92×10^6 cél mL⁻¹. Además, los porcentajes más elevados de lípidos en *S. acutus* se obtuvieron el quinto día de cultivo con 10 mL L⁻¹ y 15 mL L⁻¹ de EAS, que representaron 26.13% y 24.58%, respectivamente. También, los contenidos más altos de biomasa de lípidos se registraron con 15 y 20 mL L⁻¹ de EAS, alcanzando 223.7 mg L⁻¹ y 203.2 mg L⁻¹, respectivamente.

En vista de la creciente preocupación por el impacto ambiental provocado por las diversas actividades económicas (Gómez, 2007), resulta esencial implementar acciones dirigidas a mitigar el medio ambiente contaminado, lo cual incluye realizar la remediación de efluentes y suelos. En este contexto, las microalgas representan una potencial alternativa y un recurso factible para abordar este problema, como lo respaldan investigaciones previas de Kwangyong & Choul-Gyun (2002), Gómez (2007), Quiroz & Vereau (2015) y Ortiz & Senmanche (2016), además de la depuración, es posible bioconvertir diversos residuos industriales en biomasa microalgal y ser derivados a la obtención de productos de gran demanda (proteínas, lípidos, pigmentos, etc. También, resulta posible dar un valor agregado a la biomasa, ya que los productos derivados generarán recursos económicos que harían atractiva y rentable esta producción, y siendo la biotransformación de los lodos un agente mitigador de los impactos negativos al ambiente, los que disminuirán los costos en la producción de microalgas generando ingresos a la empresa que decida realizar dicho cultivo microalgal, a la vez que genera empleos directos e indirectos en beneficio de la sociedad.

Además, es determinante considerar que al realizar el estudio debemos mantener ciertos parámetros de cultivo con el fin de obtener resultados óptimos, dado que, al cultivar microalgas en sistemas cerrados, se conoce como el éxito o fracaso de los mismos tienen influencia por algunos factores ambientales y que pueden modificar su crecimiento y

composición proximal, estos factores principalmente son el pH, temperatura, luz, nutrientes (Barsanti & Gualtieri, 2014)

Por todo ello, generamos el problema de investigación: ¿Cuál será el efecto de la concentración de lodo procedente del cultivo semiintensivo de *Arapaima gigas* “paiche” en el crecimiento poblacional y contenido de lípidos de *Scenedesmus acutus*?

Objetivo General

El objetivo general de la investigación fue: determinar el efecto de la concentración de lodo procedente del cultivo semiintensivo de *Arapaima gigas* “paiche” en el crecimiento poblacional y contenido de lípidos de *Scenedesmus acutus*.

Objetivos Específicos

- Los objetivos específicos planteados en el proyecto de trabajo de investigación fueron: Determinar el crecimiento poblacional de *Scenedesmus acutus* cultivados a diferentes concentraciones de lodo procedente del cultivo semiintensivo de *Arapaima gigas* paiche.
- Determinar el contenido de lípidos de *Scenedesmus acutus* cultivados a diferentes concentraciones de lodo procedente del cultivo semiintensivo de *Arapaima gigas* paiche.

Hipótesis

Si utilizamos diferentes concentraciones ($1,0 \text{ g L}^{-1}$, $1,5 \text{ g L}^{-1}$ y $2,0 \text{ g L}^{-1}$) de lodo del estanque de cultivo semiintensivo de *Arapaima gigas* “paiche”, en el crecimiento y contenido de lípidos de la microalga *Scenedesmus acutus*, serán significativamente mejores en las dosificaciones con $1,5 \text{ g L}^{-1}$ y $2,0 \text{ g L}^{-1}$ de lodo.

II. MARCO TEÓRICO

A. gigas, conocido como paiche, es una de las especies de peces de agua dulce más grandes del mundo, y su cultivo se ha convertido en una actividad productiva importante en América Latina, especialmente en el Perú y Brasil (Sánchez, 2021). Los sistemas de cultivo semiintensivo permiten una alta densidad en su producción con un menor costo operativo comparado con sistemas intensivos, ya que requieren menos inversión en alimento y en sistemas de filtración complejos (Cueva, 2018). No obstante, estos sistemas suelen producir una cantidad considerable de residuos en forma de lodo, que es una mezcla de restos de alimentos, heces y otros materiales en descomposición. Dicho lodo puede convertirse en una fuente rica en nutrientes para otros usos, como la fertilización de cultivos vegetales o microalgales.

El lodo generado en los cultivos de paiche contiene altos niveles de nutrientes esenciales, tales como nitrógeno y fósforo (Richarte, 2003), que son esenciales para el crecimiento de diversas especies de microalgas. Estudios han demostrado que el uso de lodos como fertilizante en microalgas tiene el potencial de ser un método ecológicamente sustentable y económicamente eficiente, ya que se aprovechan los residuos que de otro modo se requerirían adicionar a los cultivos microalgales (Wagner *et al.*, 2016; Merino *et al.*, 2024). Además, provee la ventaja de ayudar a reducir el impacto ambiental de los sistemas de acuicultura, promoviendo la economía circular en las prácticas acuícolas.

La microalga *S. acutus* es reconocida por su alto potencial en la producción de biomasa y lípidos, lo que la convierte en un recurso de interés para diversos usos industriales, incluyendo la bioenergía, la producción de alimentos y la biorremediación (Udaiyappan *et al.*, 2021). Esta microalga presenta una estructura celular adaptable que le permite prosperar en ambientes con alta disponibilidad de nutrientes. Además, no solo absorben nutrientes, sino que también pueden bioacumular compuestos orgánicos e inorgánicos, lo cual las hace útiles en procesos de purificación de aguas y de captura de dióxido de carbono (Merino *et al.*, 2024).

El crecimiento de las microalgas se ve afectado por factores como la luz, la temperatura y, especialmente, la concentración de nutrientes disponibles en el medio de cultivo (Chowdury *et al.*, 2020). Estudios previos han demostrado que la biomasa de

Scenedesmus aumenta significativamente cuando se cultiva en medios enriquecidos con compuestos nitrogenados y fosfatados (Cheng *et al.*, 2020; Tan *et al.*, 2024), similares a los que se encuentran en el lodo de acuicultura. En este contexto, el uso de lodo de cultivo semiintensivo de paiche podría proporcionar un ambiente nutritivo adecuado que optimice el crecimiento poblacional de *S. acutus*. Sin embargo, la concentración de lodo debe ser controlada cuidadosamente, ya que concentraciones excesivas pueden causar efectos adversos, como la inhibición del crecimiento debido a la acumulación de compuestos tóxicos o el exceso de nutrientes (García *et al.*, 2020).

La capacidad de *S. acutus* para acumular lípidos en su estructura celular es de gran interés para la biotecnología, dado que los lípidos son la materia prima principal para la producción de biodiesel (Pugazhendhi *et al.*, 2020). El estrés fisiológico, como la limitación de nitrógeno o el incremento de ciertos nutrientes, puede inducir a *Scenedesmus* a acumular lípidos en mayores proporciones como un mecanismo de supervivencia (Anand *et al.*, 2021). Por lo tanto, la adición de lodo de paiche en concentraciones específicas podría desencadenar esta acumulación de lípidos sin perjudicar el crecimiento celular, maximizando así la producción tanto de biomasa como de lípidos, considerando que estos lodos contienen nutrientes como N y P (Richarte, 2024).

Asimismo, algunos estudios sugieren que la fuente de nutrientes puede influenciar en la dinámica de los cultivos algales, por lo cual es necesario establecer una concentración óptima (Figueroa-Torres *et al.*, 2021). En el caso de *S. acutus*, se espera que concentraciones de lodo de 1,5 g L⁻¹ a 2,0 g L⁻¹ promuevan tanto el crecimiento poblacional como la acumulación de lípidos, gracias a la alta disponibilidad de nutrientes sin causar un exceso que interfiera con el metabolismo de las algas (Vereau y Quiroz, 2015). Sin embargo, aún se requiere investigar los efectos específicos de distintas concentraciones de lodo de *A. gigas* para confirmar estos resultados, ya que el impacto puede diferir según la composición química del lodo y la tolerancia de la microalga.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización de la investigación

Los ensayos experimentales se realizaron en el Laboratorio de Evaluación de los Recursos Acuáticos y Cultivo de Especies Auxiliares, de la Escuela Profesional de Biología en acuicultura, en la Universidad Nacional del Santa, localizada en el distrito de Nuevo Chimbote, Áncash, Perú. Los cultivos experimentales se realizaron bajo condiciones de laboratorio.

3.2. Material experimental

3.2.1. Material biológico

La microalga *S. acutus* provino del cepario del laboratorio, la cual se cultiva bajo condiciones de crecimiento semi-contínuo. Se empezó a partir de inóculos cultivados en matraces de 500 mL, con un volumen de cultivo efectivo de 200 mL. Posteriormente, los cultivos se llevaron a volúmenes de 1 L en botellas plásticas de 1.1 L de volumen, a partir del cual se iniciaron los cultivos experimentales.

3.3. Preparación de los medios de cultivo para el experimento con *S. acutus*

3.3.1. Preparación de la solución stock del medio de cultivo con lodo del cultivo de paiche (LCP)

Para preparar el medio experimental, se recolectó una muestra de 3 kg de lodo de 3 estanques de tierra en donde se cultiva *A. gigas*, “paiche” de la empresa de cultivos Amazon Fish Products S.A. localizado en la región Ucayali – Perú. Para ello, se tomaron muestras de forma manual en una caja de tecnopor sellados herméticamente, para luego transportarlos al laboratorio, primero por vía aérea a la ciudad de Trujillo y luego vía terrestre a la ciudad de Chimbote.

Una vez en el laboratorio, se realizó la preparación del medio experimental. Para ello, se pesó 1 kg de la muestra de lodo, la cual fue previamente secado al medio ambiente y luego llevada a la estufa para terminar el secado a 60°C por 12 h. Para determinar que la muestra perdió toda la humedad, se realizó el pesaje con una balanza de laboratorio hasta

obtener peso constante. Seguidamente, se tomó 100 g de la muestra seca y se pulverizó con ayuda de un mortero. Luego, se disolvió con agua potable, aforando hasta 1 L, teniendo como dilución final 1: 10 (p/v). Posteriormente, se llevó a cocción a 100°C por 15 minutos; seguidamente, se enfrió a temperatura ambiente y se aforó nuevamente a 1000 mL. Finalmente, el medio de cultivo fue almacenado en refrigeración en un frasco de vidrio a 5 °C. El protocolo de la elaboración del medio experimental se detalla en la figura 1.

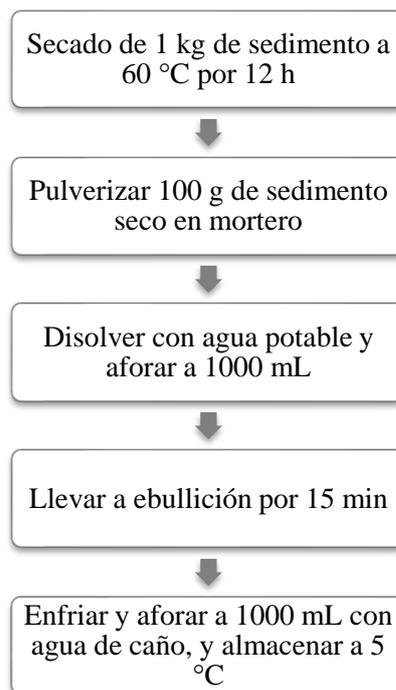


Figura 1. Protocolo de preparación del medio LCP para los cultivos de *S. acutus*.

3.3.2. Preparación de la solución stock del medio de cultivo HM

Para los tratamientos controles se utilizó el medio HM. Este medio está compuesto por sales minerales inorgánicas, como se menciona en el estudio de Quiroz & Vereau (2015), y las soluciones stock se preparan con agua potable. Para nuestro ensayo experimental, el agua potable se esterilizó previamente mediante autoclave a 121 °C por 15 minutos. Con la finalidad de mantener la inocuidad del medio HM, este se mantuvo en refrigeración a 5 °C hasta su uso. En la tabla 1 se describe la composición química de cada solución que compone el medio HM.

Tabla 1. Composición química del medio HM.

COMPONENTE	CONCENTRACIÓN (mg L ⁻¹)
Urea	206,0
H ₃ PO ₄	35,0
KCl	19,0
FeCl ₃	2,5

Fuente: Quiroz & Vereau (2015).

3.4. Diseño experimental de la investigación

Nuestro experimento utilizó un diseño experimental de estímulo creciente, en el cual el estímulo (variable independiente) fue las concentraciones del medio experimental en el cultivo de *S. actus*. Todos los cultivos se trabajaron por triplicado y para ello se emplearon botellas plásticas de 1100 mL de volumen total. Cada unidad de cultivo contuvo un volumen efectivo de 100 mL. Además, para evitar posibles influencias que ocurran por la distribución de las unidades de cultivo, estas se distribuyeron aleatoriamente por sorteo, como se describe en el estudio de Hernández *et al.* (2010). Nuestro diseño considero evaluar tres tratamientos experimentales (LCP) y un control (HM), como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 2. Diseño experimental utilizando lodo del cultivo de paiche y control HM.

TRATAMIENTOS	ESPECIFICACIONES
Tc	Cultivo de <i>Scenedesmus acutus</i> con medio HM.
T1	Cultivo de <i>S. acutus</i> con 1,0 g L ⁻¹ de LCP.
T2	Cultivo de <i>S. acutus</i> con 1,5 g L ⁻¹ de LCP.
T3	Cultivo de <i>S. acutus</i> con 2,0 g L ⁻¹ de LCP.

Para determinar las concentraciones más adecuadas para el cultivo de *S. acutus*, se realizaron pre-ensayos experimentales con el medio LCP, utilizando mayores y menores concentraciones a las utilizadas en esta investigación. Los ensayos experimentales nos

condugeron a determinar que las concentraciones más adecuadas se podrían encontrar en los rangos de concentraciones utilizadas en nuestro trabajo. Además, dichas concentraciones coinciden con estudios preliminares realizados con otros sedimentos, como el de Quiroz & Vereau (2015) en *S. acutus*.

3.5. Acondicionamiento de las unidades experimentales

Todos los cultivos experimentales iniciaron con un inóculo en proporción de 1:10 v/v, es decir 100 mL de inóculo de *S. acutus* diluido en 900 mL de agua fertilizada con el medio HM para los controles; para los tratamientos experimentales se siguió el diseño experimental con el medio LCP (Tabla 2). Cabe señalar que el inóculo se tomó en la fase de crecimiento exponencial, los cuales contuvieron una densidad celular de $20,35 \times 10^6$ cél mL⁻¹, cuya densidad posterior a la dilución fue de $2,05 \times 10^6$ cél mL⁻¹. En la tabla 3 se detalla las cantidades de inóculo, medio y agua que se utilizó para iniciar los cultivos experimentales.

Tabla 3. Concentraciones de los componentes utilizados en el diseño experimental de los cultivos de *S. acutus*, utilizando medios de cultivo LCP y control HM.

PARÁMETROS	Control TC (HM)	TRATAMIENTOS (LCP)		
		T1 (1,0 g L ⁻¹)	T2 (1,5 g L ⁻¹)	T3 (2,0 g L ⁻¹)
LCP (mL)	0	10	15	20
Agua potable (mL)	900	890	885	880
Inóculo (mL)	100	100	100	100
TOTAL (mL)	1000	1000	1000	1000

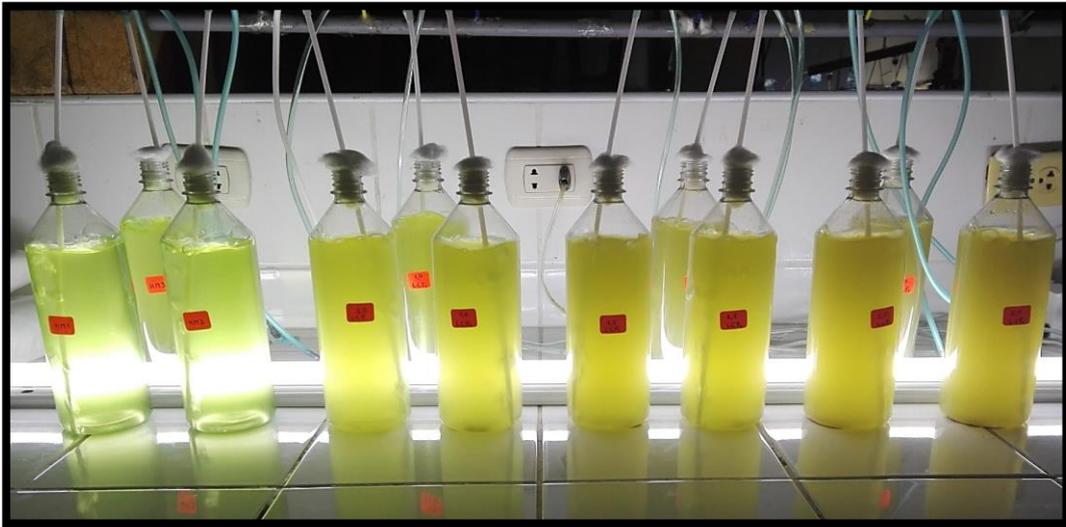


Figura 2. Unidades experimentales al inicio del cultivo de *S. acutus*.

3.6. Tratamiento del agua de cultivo para el experimento

Con la finalidad de evitar contaminantes, así como otras microalgas que puedan competir con el cultivo de *S. acutus*, realizamos una esterilización previa al agua potable, que proviene de la red de abastecimiento de Seda Chimbote. Primero, se colectó 20 L de agua y se dejó sedimentar en recipientes de plástico por 48 horas, antes de su utilización en los cultivos de *S. acutus*. Luego, se procedió a filtrar el agua, pasando por tamices de malla Nytal de 125, 53 y 5 μm . Seguidamente, se agregó 1 mL de hipoclorito de sodio (4%) por cada litro de agua y dejó actuar por un periodo de 24 horas. Finalmente, se adicionó 1 mL de tiosulfato de sodio (15%) por cada litro de agua y se colocó aireación a un flujo de 2 $\text{L}\cdot\text{mL}^{-1}$ para volatilizar los residuos de cloro.

3.7. Análisis químico del lodo del cultivo de paiche

El contenido de nutrientes del lodo fue determinado, incluyendo compuestos como nitrógeno en sus formas de nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal, así como fósforo e hierro. Para ello, se utilizaron las metodologías estandarizadas por APHA (2005), realizando pruebas colorimétricas principalmente. Para los análisis, se tomó una solución de lodo al 10% (p/v) y se extrajo 10 mL de esta solución para realizar los análisis de nutrientes. Estos análisis se condujeron en el Laboratorio de Biología y Ecología de la Facultad de Ciencias, en la Universidad Nacional del Santa. Los análisis se realizaron utilizando reactivos de CHEMetrics Inc., como se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores proximales de los principales componentes del lodo utilizado en el cultivo de *S. acutus*.

PARÁMETROS *	CONCENTRACIÓN
Fe (mg-Fe kg ⁻¹)	729,0
Nitratos (mg-N kg ⁻¹)	46813,0
Nitritos (mg-N kg ⁻¹)	14,3
Nitrógeno Amoniacal (mg-N kg ⁻¹)	12260,0
Fosfatos (mg-P kg ⁻¹)	3653,6

*Parámetros determinados en el laboratorio de Biología y Ecología de la Universidad Nacional del Santa.

Mediante la cuantificación determinada en la tabla 4 y las dosificaciones experimentales, se calculó el contenido de fósforo y nitrógeno en los tratamientos basados en HM y LCP (Tabla 5).

Tabla 5. Concentración de nutrientes en el medio HM y LCP utilizados en los cultivos de *S. acutus*.

PARÁMETROS	Control TC (HM)	TRATAMIENTOS (LCP)		
		T1 (1,0 g L ⁻¹)	T2 (1,5 g L ⁻¹)	T3 (2,0 g L ⁻¹)
Nitrógeno (N-mg L ⁻¹)	96,09	59,09	88,63	118,17
Fósforo (P-mg L ⁻¹)	11,06	3,65	5,48	7,31
Hierro (Fe-mg L ⁻¹)	0,52	0,73	1,09	1,46

*Valores obtenidos por cálculo del contenido de los componentes del lodo del cultivo de paiche.

3.8. Determinación de los parámetros de cultivo de *S. acutus*

Diariamente, se registró el pH en unidades, con ayuda de un pH-metro digital marca Hanna, de $\pm 0,01$ de sensibilidad. También, se registró la temperatura con un termómetro digital, marca Hanna, de $\pm 0,01$ de sensibilidad. Para suministrar el mismo flujo de aireación a los cultivos, se ajustó el flujo en 1 L.min⁻¹, mediante calibraciones con ayuda de un flujometro marca Cole Parmer de rango 0-5 L.min⁻¹. Para asegurar el crecimiento

constante de las microalgas, se suministró iluminación constante a un fotoperiodo 24:0, para ello se utilizó un fluorescente de luz blanca de 40 watts, colocado a 5 cm de distancia de los cultivos. Esto proporciona una fuente de iluminación de 2000 lux, determinado con un luxómetro digital marca Hanna de $\pm 0,1$ lux de sensibilidad.

3.9. Determinación del crecimiento poblacional de *S. acutus*

Determinamos diariamente el crecimiento poblacional de *S. acutus* mediante conteos celulares, utilizando un microscopio compuesto marca Nikon y una cámara Neubauer. Con las densidades celulares estimadas, se construyeron las curvas de crecimiento poblacional y se calculó la tasa de crecimiento específico (μ) y el tiempo de duplicación (TD) al quinto día de cultivo. Para estos cálculos se utilizaron las ecuaciones de Guillard (1975), mediante las siguientes fórmulas:

$$U = \frac{\ln(N_f / N_0)}{t_f - t_0} \quad N_f \text{ y } N_0 : \text{Número de células final e inicial (cél. mL}^{-1}\text{)}.$$

$$TD = \frac{\ln(2)}{U} \quad t_f \text{ y } t_0 : \text{Tiempo de cultivo final e inicial (d)}.$$

3.10. Contenido de lípidos de *S. acutus*

El contenido de lípidos totales fue determinado en el día 5, debido a que coincidió con el final de la fase exponencial de los cultivos de *S. acutus* en todos los tratamientos. La determinación del contenido de lípidos totales se realizó siguiendo la metodología descrita por Marsh & Weinstein (1966), como se detalla en la Figura 3. Para ello, se tomaron 10 mL de muestra de microalga de cada unidad experimental, se centrifugaron a 6000 rpm durante 10 minutos en tubos de ensayo, y se eliminó el sobrenadante, dejando la pasta de microalga en el fondo. Luego, se añadió agua destilada, se resuspendió y se volvió a centrifugar a 6000 rpm durante 10 minutos. Posteriormente, se eliminó el sobrenadante, y el material sedimentado se secó en una estufa a 60 °C durante 3 horas.

Después de secar la materia sedimentada, se agregaron 3 mL de una solución de cloroformo:metanol (2:1) a cada tubo de ensayo. Luego, se dejaron reposar los tubos durante 12 horas en refrigeración a 5 °C y en condiciones de oscuridad, cubiertos con papel aluminio para evitar su degradación.

A continuación, se añadieron 2 mL de agua destilada a cada tubo de ensayo y se centrifugaron a 6000 rpm durante 10 minutos. Luego, se procedió a evaporar la solución en baño María a 80 °C y se secaron los tubos en una estufa a 105 °C durante 30 minutos. Posteriormente, a cada tubo de ensayo se le agregaron 2 mL de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄) y se calentaron a 200 °C durante 1 hora. Una vez enfriados a temperatura ambiente, se realizaron lecturas en un espectrofotómetro UV-VIS utilizando celdas de cuarzo de 1 cm de longitud de onda a una longitud de onda de 375 nm. La fórmula utilizada para determinar el contenido de lípidos se ajustó con las curvas de calibración preparadas utilizando colesterol y aceite vegetal (de oliva), como se indica en la metodología.

La ecuación para calcular el porcentaje de lípidos quedó de la siguiente manera:

$$L(\%) = \frac{\left(\left(\frac{\text{Absorbancia}}{4,4624} \right) \times V \right)}{M} \times 100$$

Donde:

V: Volumen final de muestra analizada (10 mL).

M: Peso seco (mg) en 10 mL de cultivo.

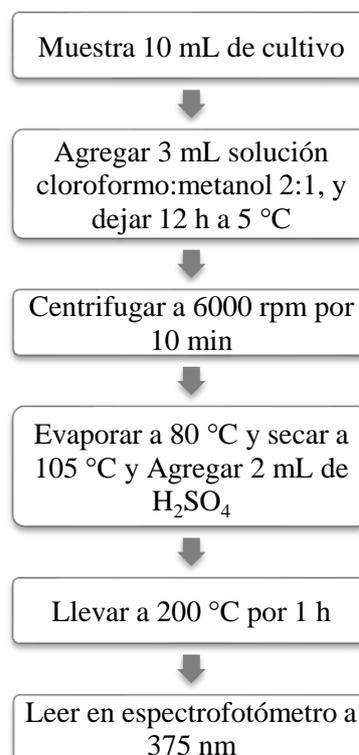


Figura 3. Procedimiento para la determinación del contenido de lípidos en *S. acutus*.

3.11. Biomasa de *S. acutus*

La biomasa de microalgas se determinó mediante un proceso gravimétrico. Para ello, se etiquetaron tubos de ensayo con 10 mL de suspensión microalgal de cada unidad experimental. Estos tubos se centrifugaron a 6000 rpm durante 10 minutos, se eliminó el sobrenadante y se resuspendieron en agua destilada. Luego, se volvieron a centrifugar a 6000 rpm durante 10 minutos, se eliminó el sobrenadante y se procedió a secar los tubos en una estufa a 60 °C durante 6 horas y posteriormente a 105 °C durante 30 minutos. Luego se dejaron enfriar durante 1 hora y se pesaron en una balanza analítica Hanna, con una alta sensibilidad de 0,01 mg.

Los valores de biomasa obtenidos se utilizaron para calcular la biomasa total y la biomasa de lípidos de *S. acutus* por litro de cultivo en cada unidad experimental utilizando las siguientes fórmulas:

$$\text{Biomasa (mg L}^{-1}\text{)} = (P2 - P1) \times 1000 / 10$$

Donde:

P1: Peso tubo de ensayo sin muestra (mg)

P2: Peso de tubo de ensayo con muestra (mg)

$$\text{Biomasa de Lípidos (g L}^{-1}\text{)} = \text{Biomasa} \times \% \text{Lípidos}$$

Donde:

Biomasa : Peso de las microalgas en un litro de cultivo (mg L⁻¹).

%Lípidos : Porcentaje de lípidos en cada muestra.

3.12. Análisis estadístico

Los valores de los parámetros de crecimiento poblacional y contenido de lípidos en cada unidad experimental fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existían diferencias significativas entre los tratamientos. En caso de encontrarse diferencias significativas, se realizaron pruebas de Tukey HSD para identificar cuál tratamiento era el mejor. El nivel de significancia establecido en todos los casos fue de 0,05. Para llevar a cabo este proceso estadístico, se utilizaron los programas Microsoft Excel 2016 y SPSS 24.0 en el entorno de Microsoft Windows 10.

IV. RESULTADOS

4.1. Crecimiento poblacional en el cultivo de *S. acutus*

4.1.1. Densidad celular de *S. acutus*

En la Figura 4 y 5, muestran los promedios de las densidades celulares de *S. acutus* cultivados con LCP y con el medio control (HM). El crecimiento exponencial de los cultivos empieza a partir del día 2 y llegan a una fase estacionaria al día 7.

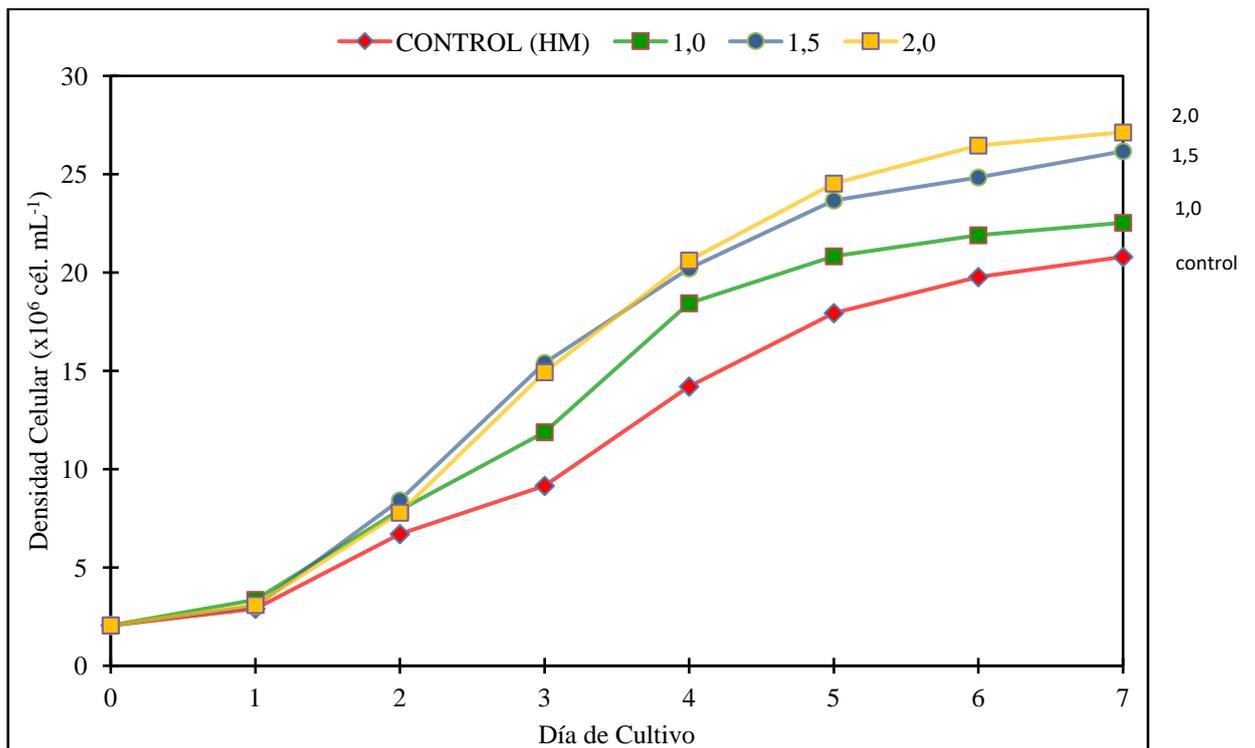


Figura 4. Densidad celular de *S. acutus* cultivados con LCP y control HM.



Figura 5. Unidades experimentales al quinto día de cultivo de *S. acutus* dosificados con LCP y control HM.

El experimento inició en todos los tratamientos con densidades celulares de *S. acutus* significativamente similares ($p > 0,05$) de $2,05 \times 10^6$ cél. mL⁻¹, incrementándose en todos los tratamientos al primer día de cultivo. Transcurrido el segundo día de cultivo de *S. acutus*, los tratamientos mostraron promedios significativamente mayores ($p < 0,05$) para las densidades celulares en los dosificados a 1,0 g L⁻¹, 1,5 g L⁻¹ y 2,0 g L⁻¹ de LCP comparados con el grupo control basado en HM, con $7,92 \times 10^6$ cél mL⁻¹, $8,42 \times 10^6$ cél mL⁻¹ y $7,78 \times 10^6$ cél mL⁻¹, respectivamente; y $6,70 \times 10^6$ cél mL⁻¹ para el grupo control con HM.

Al quinto día del experimento, los mayores promedios significativos ($p < 0,05$) de las densidades celulares de *S. acutus* se presentaron en los tratamientos dosificados con 1,5 g L⁻¹ y 2,0 g L⁻¹ de LCP con $23,67 \times 10^6$ cél mL⁻¹ y $24,53 \times 10^6$ cél mL⁻¹, respectivamente; seguido del tratamiento dosificado a 1,0 g L⁻¹ de LCP con una densidad celular de $20,83 \times 10^6$ cél mL⁻¹; mientras que, el menor promedio significativo ($p < 0,05$) para las densidades celulares lo presentó el grupo control basado en HM con $17,93 \times 10^6$ cél mL⁻¹.

El último día del experimento (día 7), los mayores promedios significativos ($p < 0,05$) de las densidades celulares de *S. acutus* se presentaron en los tratamientos dosificados a 1,5 g L⁻¹ y 2,0 g L⁻¹ de LCP con valores de $26,17 \times 10^6$ cél mL⁻¹ y $27,13 \times 10^6$ cél mL⁻¹, respectivamente; seguido del tratamiento dosificado a 1,0 g L⁻¹ de LCP con una densidad celular promedio de $22,53 \times 10^6$ cél mL⁻¹; mientras que, el menor promedio significativo ($p < 0,05$) para las densidades celulares lo presentó el grupo control basado en HM con $20,80 \times 10^6$ cél mL⁻¹.

4.1.2. Tasa de crecimiento y tiempo de duplicación

Los promedios de la tasa de crecimiento (μ) y tiempo de duplicación (TD) fueron evaluados al quinto día de cultivo de *S. acutus* con medio LCP y control HM (Tabla 6 y Fig. 8).

Se observó que, al llegar al quinto día cultivo, las tasas de crecimiento promedio (μ) de *S. acutus* mostraron diferencias estadísticamente significativas mayores ($p < 0,05$) entre los diferentes tratamientos. En particular, se destacaron los grupos que se cultivaron con 1,5 g L⁻¹ y 2,0 g L⁻¹ de LCP, ya que lograron tasas de crecimiento de $0,489$ d⁻¹ y $0,497$ d⁻¹.

¹ otros tratamientos. Así mismo, el grupo que recibió una dosis de 1,0 g L⁻¹ de LCP también exhibió una tasa de crecimiento respetable de 0,464 d⁻¹.

Tabla 6. Tasa de crecimiento (μ) y tiempo de duplicación (TD) promedio y desviación estándar, en el quinto día de los cultivos de *S. acutus* dosificados con LCP y control HM.

PARÁMETRO	LCP (g L ⁻¹)			
	CONTROL (HM)	1,0	1,5	2,0
N0	2,05 ±0,00	2,05 ±0,00	2,05 ±0,00	2,05 ±0,00
Nf	17,93 ±0,76	20,83 ±0,87	23,67 ±0,71	24,53 ±1,12
μ (d⁻¹)	0,434 ±0,009c	0,464 ±0,008b	0,489 ±0,006a	0,497 ±0,009 ^a
TD (d)	1,599 ±0,032c	1,495 ±0,027b	1,417 ±0,018a	1,396 ±0,026 ^a

La letra diferente en una misma fila indica diferencia significativa ($\alpha=0,05$).

Para el tiempo de duplicación promedio (TD) en *S. acutus* para el quinto día de cultivo fue significativamente mayor ($p<0,05$) en el grupo control HM con 1,599 d; seguido por el dosificado con 1,0 g L⁻¹ de LCP con 1,495 d; mientras que, se encontraron los menores promedios significativos ($p<0,05$) de TD en *S. acutus* para los dosificados con 1,5 g L⁻¹ y 2,0 g L⁻¹ de LCP con 1,417 d y 1,396 d, respectivamente.

4.2. Porcentaje y biomasa de lípidos en *S. acutus*

El contenido en porcentaje y biomasa de los lípidos de *S. acutus* se evaluó al quinto día del experimento con LCP y control HM, mostrados en la Tabla 7. El porcentaje de lípidos en el quinto día de cultivo de *S. acutus*, presentó el mayor promedio significativo ($p<0,05$) en el tratamiento dosificado con 1,0 g L⁻¹ de LCP con 24,32 %; seguido de los tratamientos dosificados con 1,5 g L⁻¹ y 2,0 g L⁻¹ de LCP con 22,87 % y 22,74 %, respectivamente; mientras que el menor promedio de lípidos en porcentaje estuvo en el grupo control HM con 21,59 %.

Los lípidos como biomasa (mg L⁻¹) encontrados al quinto día de cultivo en *S. acutus*, presentaron los mayores promedios significativos ($p<0,05$) en los tratamientos dosificados con 1,0 g L⁻¹, 1,5 g L⁻¹ y 2,0 g L⁻¹ de LCP con 161,5 mg L⁻¹, 172,4 mg L⁻¹ y 177,4 mg L⁻¹, respectivamente; mientras que, el promedio de lípidos en biomasa fue significativamente menor ($p<0,05$) en el grupo control HM con 123,2 mg L⁻¹.

Tabla 7. Porcentaje y biomasa (mg L⁻¹) de lípidos promedio y desviación estándar, en el quinto día de los cultivos de *S. acutus* dosificados con LCP y control HM.

PARÁMETROS	LCP (g L ⁻¹)			
	CONTROL (HM)	1,0	1,5	2,0
Lípidos (%)	21,59 ±0,48c	24,32 ±0,44a	22,87 ±0,41b	22,74 ±0,42b
Lípidos (mg L ⁻¹)	123,2 ±6,1b	161,5 ±9,5a	172,4 ±2,7a	177,4 ±4,9 ^a

La letra diferente en una misma fila indica diferencia significativa ($\alpha=0,05$).

4.3. Parámetros ambientales del cultivo de *S. acutus*

4.3.1. Temperatura en el cultivo de *S. acutus*

Las temperaturas registradas en las unidades experimentales de *S. acutus*, son mostradas en la Fig. 6, encontrándose durante el experimento promedios entre una mínima de 26,4 °C y una máxima de 27,3 °C; cuyos promedios al compararlos entre tratamientos en un mismo día, se presentaron estadísticamente similares ($p>0,05$).

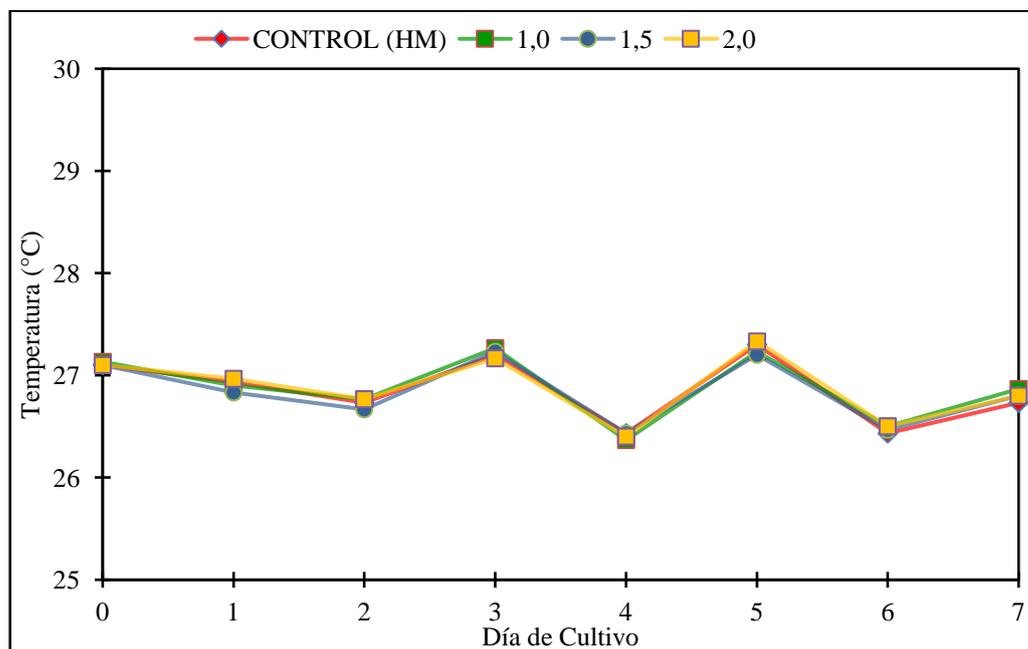


Figura 6. Temperatura promedio (°C) en los tratamientos de *S. acutus* dosificados con LCP y control HM.

4.3.2. pH en el cultivo de *S. acutus*

Los promedios de pH en los cultivos de *S. acutus*, presentaron promedios entre un mínimo de 7,46 unid. y un máximo de 8,90 unid. (Fig. 7).

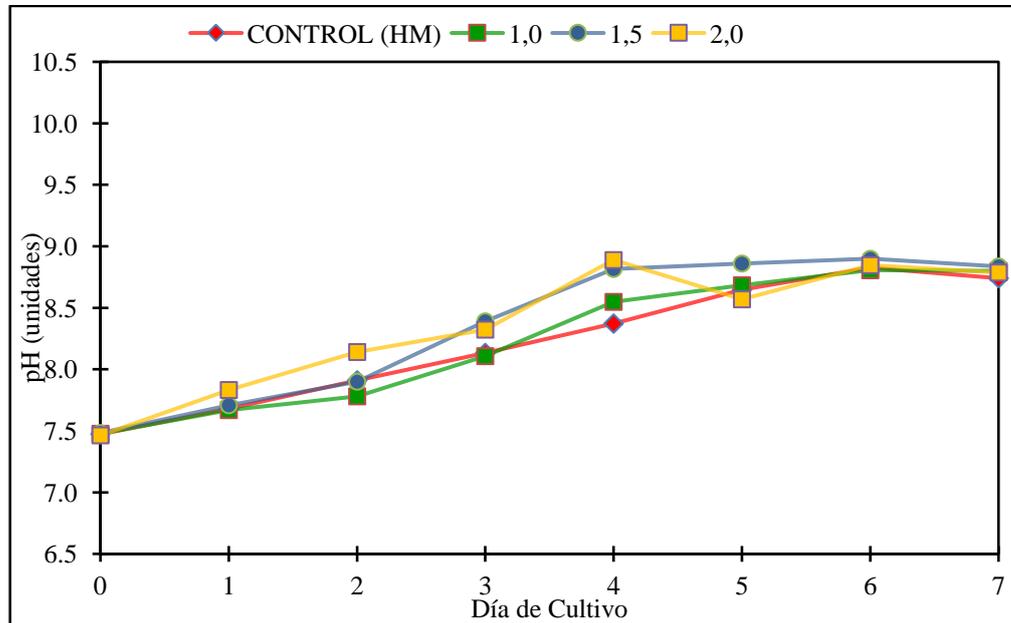


Figura 7. pH promedio (unid.) en los cultivos de *S. acutus* dosificados con LCP y control HM.

Empezado la investigación, los valores de pH promedio en los cultivos fueron estadísticamente similares ($p > 0,05$). En los días posteriores se incrementaron los promedios, estableciéndose al día 6 y 7 de cultivo con valores estadísticamente similares ($p > 0,05$).

V. DISCUSIÓN

Varias especies de microalgas han demostrado un notable incremento en el crecimiento celular cuando se le suministran nutrientes procedentes de residuos industriales, tal como han señalado investigaciones anteriores (Fernández y Paredes, 2007; Ipanaqué y Paredes, 2009; Vereau y Quiroz, 2015; Dávila y Dávila, 2016; Ortiz y Senmache, 2016; Chai *et al.*, 2021.). Los resultados de nuestro estudio concuerdan con estas tendencias, ya que en todos los tratamientos observamos un crecimiento celular significativo a lo largo de los 7 días de cultivo (Figura 4). Además, debemos destacar el uso del medio alternativo LCP, el cual tiene alto potencial para ser utilizado recurrentemente en instalaciones acuícolas.

De esta manera, durante el quinto día de experimentación, notamos que las mayores densidades celulares promedio para la especie *S. acutus* se alcanzaron en los tratamientos con concentraciones de 1,5 g L⁻¹ y 2,0 g L⁻¹ de LCP, con 23,67 x10⁶ cél mL⁻¹ y 24,53 x10⁶ cél mL⁻¹, respectivamente. Le siguió en densidad celular promedio el tratamiento con 1,0 g L⁻¹ de LCP, el cual registró 20,83 x10⁶ cél mL⁻¹. En contraste, el control basado en HM mostró la densidad celular promedio más baja con 17,93 x10⁶ cél mL⁻¹ y esta baja diferencia fue estadísticamente significativa (p<0,05). Estos resultados muestran la eficacia de la utilización de nutrientes derivados de residuos acumulados en el cultivo del paiche, como lo son los lodos, que han demostrado promover el crecimiento celular de microalgas, particularmente el caso de *S. acutus*, y sugieren que estos enfoques pueden ser valiosos para aplicaciones en la producción de microalgas de escala industrial, como también ha sido demostrado con lodos de la bahía el Ferrol (Merino *et al.*, 2024) y con lodos generados por efluentes municipales (Khodaparasti *et al.*, 2022).

Toyub *et al.* (2008), llevaron a cabo un estudio en el que observaron el crecimiento de *S. obliquus* cultivado con residuos de una fábrica de dulces, con alta fuente de glucosa. En sus investigaciones, lograron obtener una densidad máxima de 13,63 x10⁶ células por mililitro (mL) utilizando un medio basal Bold. Además, al utilizar residuos a concentraciones específicas, obtuvieron densidades celulares de 9,71 x10⁶ cél. mL⁻¹, 8,32 x10⁶ cél. mL⁻¹, 6,52 x10⁶ cél. mL⁻¹ y 5,12 x10⁶ cél. mL⁻¹, al emplear concentraciones de 2,5 %, 3,0 %, 2,0 % y 1,5 % respectivamente. Nuestro trabajo en comparación logró superar dichas concentraciones (Figura 4), a pesar de no incorporar directamente una

fuentes de carbono como lo es la glucosa; sin embargo, nuestro medio presentó un mejor balance de nutrientes como N, P, K, que se derivan de los residuos de los alimentos y las heces en el cultivo del paiche.

Por otro lado, Barreto & Purizaga (2013), cultivaron *S. acutus* y evaluaron el impacto de distintas concentraciones de efluente procedente del cultivo semiintensivo de *Oreochromis niloticus*. Tras cinco días de experimentación, observaron que la mayor densidad celular se encontró en el tratamiento a 100 % alcanzando una cifra de $37,93 \times 10^5$ cél. mL⁻¹. En contraste, las densidades celulares más bajas se encontraron en los tratamientos con el 25 % y 50 % de efluente, con valores de $10,29 \times 10^5$ cél. mL⁻¹ y $11,96 \times 10^5$ cél. mL⁻¹, respectivamente. Estos resultados sugieren que los efluentes a concentraciones específicas pueden influenciar la dinámica del crecimiento en las microalgas, lo que puede ser relevante en diferentes contextos, como en la biotecnología, pensando en producir un metabolito de interés, o en la acuicultura, para dirigirlo al alimento vivo. En nuestro estudio determinamos que el medio LCP puede lograr producir más lípidos ($24,32 \pm 0,44$ %) con $1,0 \text{ g L}^{-1}$ del medio, siendo atractivo para su uso energético.

Por su parte, Jara & Roque (2016), evaluaron diferentes concentraciones del efluente del procesamiento de la flor de *Tagetes erecta* “marigold” (EPT) en el crecimiento poblacional y contenido de lípidos totales de *S. acutus*, encontrando que el cultivo con 5 mL L^{-1} de EPT se obtuvo $24,17 \times 10^6$ cél. mL⁻¹, densidad similar al control ($24,41 \times 10^6$ cél. mL⁻¹ y). Mientras que Quiroz & Verau (2015), trabajando con el efecto de diferentes concentraciones de extracto acuoso del sedimento de la bahía “El Ferrol” (EAL) en el crecimiento poblacional y contenido de lípidos de la microalga *S. acutus*; al quinto día de cultivo de *S. acutus*, obtuvieron mayor densidad celular, en comparación a Jara y Roque (2016), con 15 mL L^{-1} de extracto acuoso de lodo $36,92 \times 10^6$ cél. mL⁻¹.

Sin embargo, en este estudio las densidades celulares no superaron a los obtenidos por Quiroz & Verau (2015), logrando como máximo valor de crecimiento $25,90 \times 10^6$ cél. mL⁻¹ con $2,0 \text{ mL L}^{-1}$ de LCP. Esta diferencia se debe a que el medio usado por Quiroz & Verau (2015), contuvieron mayores concentraciones de nutrientes, principalmente N y P; habiéndose reportado la presencia de un nivel balanceado entre N y P, además de altas concentraciones de Mg (285 ppm), Ca (138,5 ppm) y Fe (11,08 ppm) en el lodo de la

bahía “El Ferrol” (Merino *et al.*, 2022). A pesar de ello, los resultados demuestran el potencial de esta especie para adaptarse a los medios alternativos, ya que sostuvieron buenos crecimientos en todas las concentraciones utilizadas en este estudio (Figura 4 y 5). Además, se debe destacar el menor costo que tiene obtener el lodo del cultivo de paiche en comparación a los medios de cultivo tradicionales.

También, se debe resaltar que, el grupo control se mantuvo en condiciones normales de crecimiento (con medio HM). En este tratamiento, se registró la tasa de crecimiento más baja, con un valor de $0,434 \text{ d}^{-1}$. Esto se puede atribuir a la ausencia de una fuente orgánica, en comparación a la obtenida en los lodos, reportado por Merino *et al.* (2024), con una concentración de $0,10 \pm 0,007 \text{ ppm}$ de carbono orgánico total en el medio elaborado con lodo de la bahía “El Ferrol”. Además, se debe considerar la carga bacteriana que crece en los lodos, las cuales pueden poseer un metabolismo nitrificante o sulfuroxidante que enriquece el lodo y el medio antes de su esterilización (Aparicio *et al.*, 2024).

Nuestros resultados permiten optimizar las tasas de crecimiento de *S. acutus* ajustando las concentraciones de LCP en el medio de cultivo (de 1 a 2 g L^{-1}), lo que podría ser de importancia para el escalamiento y futuras aplicaciones biotecnológicas relacionadas con la producción de biomasa y lípidos. Además, estos resultados son relevantes para comprender y controlar los factores que afectan la tasa de crecimiento de las microalgas en entornos de cultivos controlados, entre las cuales el medio de cultivo es uno de los factores más importantes (Belachqer-El *et al.*, 2023).

Según Griffiths *et al.* (2012) y Roleda *et al.* (2013), la tasa máxima de crecimiento microalgal refleja el potencial biológico de una especie cultivada en condiciones óptimas, donde la concentración celular o biomasa está limitada principalmente por los nutrientes y la intensidad lumínica. En nuestro experimento, la tasa de crecimiento promedio (μ) de *S. acutus* al quinto día de cultivo fue mayor con concentraciones de $1,5 \text{ g L}^{-1}$ y $2,0 \text{ g L}^{-1}$ de LCP, alcanzando valores de $0,489 \text{ d}^{-1}$ y $0,497 \text{ d}^{-1}$, respectivamente. Estas fueron seguidas por la concentración de $1,0 \text{ g L}^{-1}$ de LCP con $0,464 \text{ d}^{-1}$, mientras que el menor crecimiento se observó en el control HM, con $0,434 \text{ d}^{-1}$. Estos resultados coinciden con lo señalado por Griffiths *et al.* (2012) y Roleda *et al.* (2013), ya que evidencian que las tasas más altas de crecimiento promedio de *S. acutus* se lograron en condiciones óptimas de nutrientes proporcionadas por el LCP.

Ortega-Salas & Reyes-Bustamante (2012), cultivaron algunas microalgas dulceacuícolas como *Kirchneriella obesa*, *S. quadricauda* y *Chlorococcum infusorium*, con tres medios de cultivo, Guillard f/2, Fert I y Fert II, y encontraron que *S. quadricauda* obtuvo la μ más alta con $0,72 \text{ d}^{-1}$ con el medio Guillard f/2 y la más baja de $0,64 \text{ d}^{-1}$ con el tratamiento Fert II. Las especies del género *Scenedesmus*, aunque no son las más cultivadas, tienen un gran potencial para la acuicultura, pues además de adaptarse a amplias condiciones de cultivo, logran rendimientos considerables. Por ejemplo, Quiroz & Vereau (2015), en *S. acutus*, determinaron el mayor $\mu = 0,564 \text{ d}^{-1}$ con 15 mL L^{-1} de EAL; seguido con 20 mL L^{-1} de EAL ($0,548 \text{ d}^{-1}$), y HM ($0,515 \text{ d}^{-1}$) y la menor μ ($0,504 \text{ d}^{-1}$) se encontró con 10 mL L^{-1} de EAL. Dávila & Dávila (2016), experimentaron con lodo en *Tetraselmis suecica* encontraron valores de $\mu = 0,429 \text{ d}^{-1}$ al sexto día con 10 mL L^{-1} de EAL y $\mu = 0,447 \text{ d}^{-1}$ con Guillard f/2. Estos valores de μ son cercanos a los obtenidos en nuestro experimento, siendo mayores que los reportados por Dávila & Dávila (2016), y cercanos a los reportados por Quiroz & Vereau (2015), en los que encontramos que los mayores promedios estuvieron en los dosificados con $1,5 \text{ g L}^{-1}$ y $2,0 \text{ g L}^{-1}$ de LCP (Tabla 6).

El tiempo de duplicación (TD) promedio en *S. acutus*, sigue la tendencia de las densidades celulares y μ , en los que los mejores promedios estuvieron con $1,5 \text{ g L}^{-1}$ y $2,0 \text{ g L}^{-1}$ de LCP; así, el TD del control (medio HM) fue más alto con $0,434 \text{ d}$; seguido con $1,0 \text{ g L}^{-1}$ de LCP con $1,495 \text{ d}$; y menores promedios con $1,5 \text{ g L}^{-1}$ y $2,0 \text{ g L}^{-1}$ de LCP con $1,417 \text{ d}$ y $1,396 \text{ d}$, respectivamente, promedios cercanos a los reportados por Quiroz & Vereau (2015), que obtuvieron TD al quinto día de cultivo de *S. acutus* con 10 mL L^{-1} de EAS un TD = $1,374 \text{ d}$, seguido del HM con un TD = $1,345 \text{ d}$, y con 20 mL L^{-1} de EAS un TD = $1,265 \text{ d}$, y el menor TD = $1,229 \text{ d}$ con 15 mL L^{-1} de EAS. Un estudio ha sugerido que se puede lograr un TD de hasta 8 h (Liu *et al.*, 2011). Conforme a la Figura 4, determinamos una fase de crecimiento máxima en el día 6, entrando a la fase estacionaria entre el día 6 y 7, siendo necesario evaluar mayores concentraciones de LCP para determinar las posibilidades de mejorar los TDs y reducir el tiempo de cultivo.

Por lo obtenido en los parámetros de crecimiento, se evidencia que *S. acutus* tendría la capacidad de utilizar los nutrientes del medio LCP y convertirlos en biomasa con mayor valor, ya que mantiene durante los 7 días de cultivo concentraciones importantes de células mayores al control. Esto concuerda con lo mencionado por Sánchez (2022), el que indica que la fase exponencial de los cultivos microalgales se presentan al segundo o

tercer día de inoculados y se pueden prolongar cuatro días, demostrando que *S. acutus* estaría utilizando satisfactoriamente los nutrientes presentes en un determinado medio de cultivo, esto lo haría un medio de cultivo adecuado para los cultivos microalgales, para este caso en *S. acutus*.

Además, se conoce que las mayores concentraciones de nutrientes tienen un punto de saturación en donde el incremento en la tasa de crecimiento se ve limitado, necesitando dosis más equilibradas para evitar efectos inhibitorios del medio de cultivo (Rodríguez *et al.*, 2007), esto sumado al efecto de una menor penetración de la luz en el cultivo, que afectaría el crecimiento poblacional (Helm *et al.*, 2006); siendo evidenciado en el tratamiento con 2,0 g L⁻¹ de LCP, en el que comparado con el dosificado a 1,5 g L⁻¹ de LCP, no existe diferencia significativa en los promedios de sus densidades celulares, μ y TD, posiblemente 2,0 g L⁻¹ de LCP por una concentración de mayor saturación de nutrientes, por lo que una concentración intermedia y óptima estaría cercana a los 1,5 g L⁻¹ de LCP en cultivos de *S. acutus*.

La composición química de las microalgas está influenciada también por cambios de los parámetros físicos y químicos del medio de cultivo (de Lima *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2012). Encontramos que el porcentaje de lípidos al quinto día de cultivo de *S. acutus*, presentó el mayor promedio con 1,0 g L⁻¹ de LCP con 24,32 %; seguido con 1,5 g L⁻¹ y 2,0 g L⁻¹ de LCP con 22,87 % y 22,74 %, respectivamente; siendo menor en el HM con 21,59 %. Estando los promedios de lípidos en porcentaje de los cultivados con LCP cercanos a los reportados por Vereau & Quiroz (2015), que utilizaron lodo marino como fuente de nutrientes para *S. acutus* y dosificados con 10 mL.L⁻¹, 15 mL.L⁻¹ y 20 mL.L⁻¹ de EAS, cuyos promedios fueron 26,13 %, 24,58 % y 24,21 % de lípidos, respectivamente.

Estos porcentajes de lípidos al expresarse en términos de biomasa se muestran similares en todos los tratamientos con LCP, pero son mayores a los contenidos en el control con HM; así, encontramos al quinto día de cultivo en *S. acutus* se presentaron los mayores promedios con 1,0, 1,5 y 2,0 g L⁻¹ de LCP con 161,5 mg L⁻¹, 172,4 mg L⁻¹ y 177,4 mg L⁻¹, respectivamente; y fue menor en el control HM con 123,2 mg L⁻¹. Siendo estos promedios menores a lo reportado por Quiroz & Vereau (2015), en *S. acutus* al quinto día de cultivo, en donde los mayores promedios estuvieron a 15 mL.L⁻¹ y 20 mL.L⁻¹ de EAS con 223,7 mg L⁻¹ y 203,2 mg L⁻¹, respectivamente; y menores en el control HM y con 10

mL L⁻¹ de EAS con 158,2 mg L⁻¹ y 176,4 mg L⁻¹, respectivamente. Aunque los reportados en el presente experimento fueron mayores que los promedios de biomasa de lípidos encontrados por Ortiz & Senmache (2016), con lodos en *T. suecica*, que al quinto día de cultivo fueron mayores con 30 mL L⁻¹ y 40 mL L⁻¹ de EALS con 125,7 mg L⁻¹ y 126,4 mg L⁻¹, respectivamente, y menor con 20 mL L⁻¹ de EALS con 100,7 mg L⁻¹.

La acumulación de lípidos en las células microalgales es un proceso estrechamente relacionado con su crecimiento poblacional, y esta interacción ha sido objeto de estudio en diversas investigaciones (Nzayisenga *et al.*, 2020; Ma *et al.*, 2022; Merino *et al.*, 2024). Un ejemplo claro de este fenómeno se presenta en el trabajo de Chiu *et al.* (2009), quienes llevaron a cabo un estudio con células de *Nannochloropsis oculata* en un entorno con limitaciones de nitrógeno, sus observaciones revelaron que los porcentajes de lípidos en las células variaban significativamente a lo largo de las diferentes fases de crecimiento. Durante la fase logarítmica, se registró un contenido de lípidos del 30.8%, que aumentó a un 39.7% en la fase estacionaria temprana y finalmente alcanzó un nivel de 50.4% en la fase estacionaria final (Chiu *et al.*, 2009). Esto sugiere claramente que, a medida que las células microalgales avanzan en su ciclo de crecimiento y se ven limitadas por la disponibilidad de nutrientes, la acumulación de lípidos tiende a aumentar.

Un hallazgo interesante se obtuvo al evaluar el efecto de la concentración de nutrientes en el crecimiento y la acumulación de lípidos en las microalgas. Al tratar el medio de cultivo con 1.0 g L⁻¹ de LCP, se observó un crecimiento sustancial, pero con un contenido de nutrientes relativamente bajo. Como resultado, se encontró que los porcentajes de lípidos en estas condiciones eran ligeramente más altos en comparación con los cultivos que recibieron 1.5 g L⁻¹ y 2.0 g L⁻¹ de LCP.

Singh *et al.* (2022) destacan en su investigación, que la dilución del medio de cultivo, es decir, la concentración de nutrientes disponible ejerce un impacto significativo en la acumulación de lípidos en las microalgas, como lo demuestra el caso de *S. vacuolatus*. Por lo tanto, el manejo de los nutrientes en el entorno de cultivo es un factor clave a considerar para optimizar la producción de lípidos en microalgas, lo que puede ser de gran relevancia en aplicaciones diversas, como la producción de biocombustibles y productos químicos derivados.

La acumulación de lípidos se promueve con el agotamiento de nutrientes en dosificaciones menores de LCP, principalmente el nitrógeno que, es un componente muy importante en la producción de biomasa microalgal y esta limitación hace que los carbohidratos y los lípidos se incrementen, mientras que las proteínas decrecen (Ho *et al.*, 2013). Aunque la biomasa lipídica se ve disminuida, de acuerdo a Park *et al.* (2011), una limitación de nitrógeno estimularía la acumulación de lípidos en las células, pero con la reducción del crecimiento poblacional debido a la falta de soporte de nutrientes para la producción de proteínas, y que tanto un alto contenido en lípidos y una alta productividad, pueden apuntar en diferentes direcciones.

Además, se conoce que, las reservas de N son utilizadas para la biosíntesis de proteínas, pigmentos y ácidos nucleicos, y otro nutriente mayormente limitante como el fósforo es el componente presente en los ácidos nucleicos y fosfolípidos (Geider & LaRoche, 2002; Rosli, 2020); por lo que a decir de Rosli *et al.* (2020) & Maneechote & Cheirsilp (2021), mientras el cultivo tenga suficiente contenido de nutrientes, sobre todo N, las células sintetizarán principalmente proteínas y mantendrán el crecimiento y la división celular en óptimas condiciones, pero cuando estos nutrientes, producto del crecimiento poblacional, se vean limitadas para mantener el aumento en la densidad celular, aumentarán productos de reserva como los hidratos de carbono y lípidos, a costa de la síntesis proteica dado estas limitaciones en nutrientes, ello con el fin de mantener la supervivencia, desarrollo y síntesis de biomasa; como lo observado en este estudio con la menor concentración de LCP, que presenta un mayor contenido de lípidos, pero se ve disminuido la densidad celular de *S. acutus*.

La temperatura tiene una influencia proporcionalmente directa en la producción de microalgas, es decir que, con el aumento de la temperatura, los cultivos pueden crecer a mayor velocidad, pero está determinada a un rango que depende la especie, aunque en general están entre 28° y 35°C (Park *et al.*, 2011) y para *Scenedesmus* estaría alrededor de 28 °C (Garibay *et al.* (2009). En la presente investigación se registraron promedios entre una mínima de 26,4 °C y una máxima de 27,3 °C, estando cercanos los valores mencionados, por lo que este parámetro no tendría influencia en la comparación de los tratamientos evaluados.

Sobre el pH, este factor debe encontrarse por encima de las 7 unid. y se consideran que estos deberían estar entre 7 y 8 unid. y pueden variar en algunas unidades sin afectar su crecimiento, creciendo bien entre valores de estando las condiciones óptimas de pH para un buen crecimiento microalgal entre 6,5 a 9,5 unid. (Sánchez-Borroto *et al.*, 2019; Garibay *et al.*, 2009) con un rango óptimo de 8,2 unid. a 8,7 unid. (Morales *et al.*, 2018). En el presente experimento, los promedios se presentaron con un mínimo de 7,46 unid. y un máximo de 8,90 unid, los mismos que están en el rango mencionado, evidenciado por el crecimiento en todos los tratamientos.

En la presente investigación, se evidencia que las mejores condiciones para el cultivo de *S. acutus* están con las concentraciones de 1,5 g L⁻¹ y 2,0 g L⁻¹ de LCP, en la cual, una dosificación de 1,5 g L⁻¹ de LCP en el cultivo de *S. acutus*, asegurará una buena densidad celular, una importante tasa de crecimiento, bajo tiempo de duplicación y con una óptima producción de lípidos.

VI. CONCLUSIONES

- ❖ La densidad celular en el quinto día cultivo de *S. acutus* fue significativamente mejor ($p < 0,05$) en los tratamientos dosificados a $1,5 \text{ g L}^{-1}$ y $2,0 \text{ g L}^{-1}$ de LCP con $23,67 \times 10^6 \text{ cél mL}^{-1}$ y $24,53 \times 10^6 \text{ cél mL}^{-1}$, respectivamente; y fue significativamente menor ($p < 0,05$) en el tratamiento dosificado a $1,0 \text{ g L}^{-1}$ de LCP con $20,83 \times 10^6 \text{ cél mL}^{-1}$.
- ❖ La tasa de crecimiento en el quinto día cultivo de *S. acutus* fue significativamente mejor ($p < 0,05$) en los tratamientos dosificados a $1,5 \text{ g L}^{-1}$ y $2,0 \text{ g L}^{-1}$ de LCP con $0,489 \text{ d}^{-1}$ y $0,497 \text{ d}^{-1}$, respectivamente; y fue significativamente menor ($p < 0,05$) en el tratamiento dosificado a $1,0 \text{ g L}^{-1}$ de LCP con $0,464 \text{ d}^{-1}$.
- ❖ El tiempo de duplicación en el quinto día cultivo de *S. acutus* fue significativamente mejor ($p < 0,05$) en los tratamientos dosificados a $1,5 \text{ g L}^{-1}$ y $2,0 \text{ g L}^{-1}$ de LCP con $1,417 \text{ d}$ y $1,396 \text{ d}$, respectivamente; y fue significativamente menor ($p < 0,05$) en el tratamiento dosificado a $1,0 \text{ g L}^{-1}$ de LCP con $1,495 \text{ d}$.
- ❖ Los porcentajes de lípidos de *S. acutus* al quinto día de cultivo, presentó el promedio significativamente mejor ($p < 0,05$) en el tratamiento dosificado a $1,0 \text{ g L}^{-1}$ de LCP con $24,23 \%$; y fue significativamente menor ($p < 0,05$) en el tratamiento dosificado a $1,5 \text{ g L}^{-1}$ y $2,0 \text{ g L}^{-1}$ de LCP con $22,87 \%$ y $22,74 \%$, respectivamente.
- ❖ La biomasa de lípidos de *S. acutus* al quinto día de cultivo, se presentó con promedios significativamente similares ($p > 0,05$) en los tratamientos dosificados a $1,0 \text{ g L}^{-1}$, $1,5 \text{ g L}^{-1}$ y $2,0 \text{ g L}^{-1}$ de LCP con $161,5 \text{ mg L}^{-1}$, $172,4 \text{ mg L}^{-1}$ y $177,4 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente.

VII. RECOMENDACIONES

- ❖ Determinar la variación de lípidos, proteínas y carbohidratos en *S. acutus*, cultivados con 1,0 g L⁻¹, 1,5 g L⁻¹ y 2,0 g L⁻¹ de LCP durante 7 días en laboratorio.
- ❖ Determinar la producción de biomasa, lípidos, proteínas y carbohidratos en *S. acutus*, cultivados con 1,0 g L⁻¹, 1,5 g L⁻¹ y 2,0 g L⁻¹ de LCP durante 7 días en aire libre.
- ❖ Evaluar un proyecto de inversión a escala piloto, cultivando *S. acutus* con 1,5 g L⁻¹ de LCP en un sistema semicontinuo durante 30 días.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Manjarrez, J., Soto, D., & Brummett, R. (2018). Zonificación acuícola, selección de sitios y áreas de manejo bajo el enfoque ecosistémico a la acuicultura: Un manual (Informe ACS18071). FAO y Grupo del Banco Mundial. Roma, Italia; Washington, DC.
- Anand, V., Kashyap, M., Ghosh, A., Samadhiya, K., & Kiran, B. (2021). A strategy for lipid production in *Scenedesmus* sp. by multiple stresses induction. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 13(4), 3037-3047. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01392-2>
- Andrade, C.; A. Vera; C. Cárdenas & E. Morales. (2009). Biomass production of microalgae *Scenedesmus* sp. with wastewater from fishery. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*. 32(2),126-134.
- Aparicio, S., Ríos-Mejía, A., Gallardo-Mejías, J. P., Robles, Á., & Borrás, L. (2024). Microalgae-bacteria consortia dynamics in a long term operated membrane-coupled high-rate algal pond (mhrap). *Journal of Environmental Management*, 371, 123186. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123186>
- APHA. (2005). Métodos estándares para el análisis de agua potable y agua residuales. Standard Methods for the examination of wastewater. 21 edit. American Public Health Association (APHA) - American Water Works Association (AWWA) - Water Environment Federation (WEF). 1082p.
- Bakuei, N.; G. Amini; G. Najafpour; M. Jahanshahi1 & M. Mohammadi. (2015). Optimal cultivation of *Scenedesmus* sp. microalgae in a bubble column photobioreactor. *Indian Journal of Chemical Technology*. 22,20-25.
- Barreto, E. & H. Purizaga. (2013). Efecto de diferentes concentraciones del efluente del cultivo semi intensivo de *Oreochromis niloticus* “tilapia gris”, en el crecimiento poblacional y contenido de lípidos de *Scenedesmus acutus*, en condiciones de laboratorio. Tesis para Optar el Título de Biólogo Acuicultor, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional del Santa. Nuevo Chimbote, Perú. 33p.
- Barsanti, L. & Gualtieri, P. (2014). *Algae: Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology*. 2da. edic. Taylor & Francis, Boca Raton Press. New York, U.S.A. 361p.
- Belachqer-El Attar, S., Morillas-España, A., Sánchez-Zurano, A., Pessôa, L. C., Pinna-Hernández, M. G., de Jesus Assis, D., López, J. L. C., & Acién, G. (2023). Influence of culture media composition on the rheology of microalgae concentrates on a large scale. *New Biotechnology*, 77,90–99. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2023.07.005>
- Bertoldo, F.; E. Sant’Anna; M. Villela & J. Barcelos. (2006). Lípidos, composición de ácidos grasos y carotenos en *Chlorella vulgaris* cultivadas en solución hidropónica residual. *Grasas y Aceites*. 57(3), 270-274.
- Bligh, E. & W. Dyer. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.* 3, 911-917.

- Brunet-Ramos, S. D. L. C., Jiménez-Hernández, J., Pedraza-Gárciga, J., & López-González, L. M. (2021). Consorcios de microalgas-bacterias para la purificación biológica de biogás. *Tecnología Química*, 41(2), 277-295.
- Burbano-Gallardo, E.; G. Duque-Nivia; M. Imues-Figueroa; E. Gonzalez-Legarda; M. Delgado-Gómez & J. Pantoja-Díaz. (2021). Effect of fish farming on sediments and the proliferation of nitrifying bacterial communities in Lake Guamuez, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 22(2):e1581.
- Chai, W. S., Tan, W. G., Munawaroh, H. S. H., Gupta, V. K., Ho, S. H., & Show, P. L. (2021). Multifaceted roles of microalgae in the application of wastewater biotreatment: a review. *Environmental Pollution*, 269, 116236.
- Charruau, P., Michallet, I., & Alvarado, C. M. (2022). Los sedimentos de la cuenca del Usumacinta en 12 preguntas. ECOSUR (México) - GRAIE (Francia). ISBN 978-607-8767-56-4.
- Chaverra-Garcés, S. C. (2022). Acumulación de sólidos, un aspecto crítico en los sistemas acuícolas intensivos: alternativas para una gestión sostenible. *Orinoquia*, 26(1), 53-64.
- Cheng, P., Osei-Wusu, D., Zhou, C., Wang, Y., Xu, Z., Chang, T., & Huo, S. (2020). The effects of refractory pollutants in swine wastewater on the growth of *Scenedesmus* sp. with biofilm attached culture. *International journal of phytoremediation*, 22(3), 241-250. <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1658706>
- Chiu, S.; C. Kao; M. Tsai; S. Ong; C. Chen & C. Lin. (2009). Lipid accumulation and CO₂ utilization of *Nannochloropsis oculata* in response to CO₂ aeration. *Bioresource Technol.* 100(2),833-838.
- Choonawala, B. & F. Swalaha. (2002). Characterisation of the effects of pre-treatments on the marine alga, *Anthophycus longifolius* to enhance lead and cadmium biosorption. Book of Abstracts of the 1st Congress of the International Society for applied Phycology/9th International Conference on Applied Algology. Almería, España. 183p.
- Chowdury, K. H., Nahar, N., & Deb, U. K. (2020). The growth factors involved in microalgae cultivation for biofuel production: a review. *Computational Water, Energy, and Environmental Engineering*, 9(4),185-215. <https://doi.org/10.4236/cweee.2020.94012>
- Correa, A. L. J., Arango Vacares, F. J., Pérez García, J., & Buitrago Posada, D. (2021). Manejo integral de pequeños sistemas productivos de tilapia. Universidad CES. <https://repository.ces.edu.co/handle/10946/5693>
- Cueva, M.M. A. (2018). Evaluación económica de los diferentes sistemas de cultivo del paiche (*Arapaima gigas*), en el departamento de Ucayali, en el 2015 (Tesis de licenciatura). Universidad Inca Garcilaso de la Vega. <https://hdl.handle.net/20.500.11818/2726>
- Dávila, E. & R. Dávila. (2016). Efecto de tres concentraciones de 5, 10 y 15 mL L⁻¹ de extracto acuoso de lodo de la bahía “El Ferrol” en el crecimiento poblacional y

contenido de lípidos totales, de la microalga *Tetraselmis suecica* en condiciones de laboratorio. Tesis para optar el Título de Biólogo Acuicultor. Universidad Nacional del Santa. Nuevo Chimbote, Perú. 58p.

- de Lima Valença, R., da Silva Sobrinho, A. G., Borghi, T. H., Meza, D. A. R., de Andrade, N., Silva, L. G., & Bezerra, L. R. (2021). Performance, carcass traits, physicochemical properties and fatty acids composition of lamb's meat fed diets with marine microalgae meal (*Schizochytrium* sp.). *Livestock Science*, 243, 104387.
- ECOING. (2009). *Guía de aplicación de lodos de piscicultura en suelos*. Elaborado por ECOING LTDA, por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero del Ministerio de Agricultura del Gobierno de Chile. Chile. 21p.
- Fernández, M. & C. Paredes. (2007). Efecto del extracto de ensilado de pescado y urea en el crecimiento poblacional y contenido de carbohidratos y lípidos de la microalga *Tetraselmis suecica* cultivada en condiciones de laboratorio. Tesis para optar el Título de Biólogo Acuicultor. Universidad Nacional del Santa. Nuevo Chimbote, Perú. 62p.
- Figueroa-Torres, G. M., Pittman, J. K., & Theodoropoulos, C. (2021). Optimisation of microalgal cultivation via nutrient-enhanced strategies: the biorefinery paradigm. *Biotechnology for Biofuels*, 14, 1-16. <https://doi.org/10.1186/s13068-021-01912-2>
- Franco-Rojas, H. & M. Peláez-Rodríguez. (2007). Cría y producción de pirarucú en cautiverio. Experiencias en el Piedemonte Caqueteño. Florencia (Caquetá-Colombia): Universidad de la Amazonia. 50p.
- García, G., Sosa-Hernández, J. E., Rodas-Zuluaga, L. I., Castillo-Zacarías, C., Iqbal, H., & Parra-Saldívar, R. (2020). Accumulation of PHA in the microalgae *Scenedesmus* sp. under nutrient-deficient conditions. *Polymers*, 13(1), 131. <https://doi.org/10.3390/polym13010131>
- García, K. L. Q., Zúñiga, D. P. R., Duque, M. E. G., & Rojas, J. A. A. (2021). Evaluación de la remoción de nitrógeno y materia orgánica a través de humedales artificiales de flujo subsuperficial, acoplados a reactores de lecho fijo con microalgas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. *Ingeniería y Región*, 25, 82-94.
- Garibay, A.; R. Vázquez-Duhalt; M. Sánchez; L. Serrano & A. Martínez. (2009). Biodiesel a partir de microalgas. *BioTecnología*. 13(3),38-61.
- Glauco, E.; A. Cortez; P. Bellingieri & A. Dalri. (2009). Qualidade química da água residual da criação de peixes para cultivo de alface em hidroponia. *Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 13(4),494-498.
- Gonzales Molina, L. A. (2019). Cultivo experimental del paiche (*Arapaima gigas*) en ambiente controlado del laboratorio costero IMARPE–Huacho. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. 120 p.

- González-Acosta, J. A., & Rosado-Puccini, R. (2022). Composición del sedimento del sistema afluente-laguna de oxidación-efluente, en una granja intensiva de *Oncorhynchus mykiss*. *Revista de Medicina Veterinaria*, 44, 47-59
- González, J.A. (2012). Uso y manejo de sedimentos provenientes de piscicultura como base para el manejo sostenible: revisión del tema. *Rev. Cienc. Anim.* 1(5),121-143.
- González, M. F. S., Menjívar, J. S., & Hernández, A. A. P. (2020). Competitividad y productividad de la industria manufacturera intermedia, fabricación de arneses y piezas de automóviles. In *Tendencias Investigación Universitaria. Una visión desde Latinoamérica*. Vol. XII (pp. 295-314). Fondo Editorial Universitario Servando Garcés.
- Griffiths, M.; R. Van Hille & S. Harrison. (2012). Lipid productivity, settling potential and fatty acid profile of 11 microalgal species grown under nitrogen replete and limited conditions. *J. Appl. Phycol.* 24,989-1001.
- Guillard, R. (1975). *Culture of Phytoplankton for feeding marine invertebrates*. In: W.L. Smith and M. H. Chanley, eds., *Culture of marine invertebrate animals*. Plenum Book Publ. Corp., New York, U.S.A. 29-60pp.
- Hanuk, K. & L. Choul-Gyun. (2002). Eutrophic compounds by microalgae from wastewater. Book of Abstracts of the 1st Congress of the International Society for applied Phycology/9th International Conference on Applied Algology. Almería, España. 209p.
- Hernández, R.; C. Fernández & M. Baptista. (2010). *Metodología de la investigación*. 5ta. edic. Edit. McGraw-Hill. México D.F., México. 656p.
- Ho, S.-H.; S.-W. Huang; C.-Y. Chen; T. Hasunuma; A. Kondo & J.-S. Chang. (2013). Characterization and optimization of carbohydrate production from an indigenous microalga *Chlorella vulgaris* FSP-E. *Bioresource Technology*. 135,157-165.
- Hu, Q.; M. Sommerfeld; E. Jarvis; M. Ghirardi; M. Posewitz; M. Seibert & A. Darzins. (2008). Microalgal triacylglycerols as feedstock for biofuel production: perspectives and advances. *Plant J.* 54(4):621-639.
- Huang, X.; H. Zhou; C. Yuan & M. Sun. (2003). The effects of nitrogen source and concentration on the nutritional value of *Nannochloropsis oculata*. *J. Shanghai Fish Univ.* 12:113-116.
- Ipanaqué, J. & I. Paredes. (2009). Efecto del ensilado de los desechos blandos de *Argopecten purpuratus* “concha de abanico”, en el crecimiento poblacional y contenido de lípidos totales de *Tetraselmis suecica*, en condiciones de laboratorio. Tesis para optar el Título de Biólogo Acuicultor. Universidad Nacional del Santa. Nuevo Chimbote, Perú. 65p.
- Jara, P. & M. Roque. (2016). Efecto de la concentración del efluente del procesamiento de la flor de *Tagetes erecta* “marigold” en el crecimiento poblacional y contenido de lípidos totales de la microalga *Scenedesmus acutus*, en laboratorio. Tesis para optar el Título de Biólogo Acuicultor. Universidad Nacional del Santa. Nuevo Chimbote, Perú. 56p.

- Khodaparasti, M. S., Shirazvatan, M. R., Tavakoli, O., & Khodadadi, A. A. (2022). Coprolysis of municipal sewage sludge and microalgae *Chlorella vulgaris*: Products' optimization; thermo-kinetic study, and ANN modeling. *Energy Conversion and Management*, 254, 115258. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115258>
- Li, K., Liu, Q., Fang, F., Luo, R., Lu, Q., Zhou, W., Huo, S., Cheng, P., Liu, J., Addy, M., Chen, P., Chen, D., & Ruan, R. (2019). Microalgae-based wastewater treatment for nutrients recovery: A review. *Bioresource Technology*, 291, 121934. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121934>
- Liu, J., Huang, J., & Chen, F. (2011). Microalgae as feedstocks for biodiesel production. *Biodiesel - Feedstocks and Processing Technologies*. <https://doi.org/10.5772/25600>
- López-Hernández, Isaías, Natalia Belén Ortega-Morales, Sergio Arturo Ortiz-Díaz, Eduardo Aron Flores-Hernández, Laura Andrea Pérez-García, and Miguel Medrano-Santillana. (2022). Reducción de ácido sulfhídrico mediante recirculación de efluentes en lagunas de estabilización con microalgas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 13(1), 29-40.
- Ma, X., Mi, Y., Zhao, C., & Wei, Q. (2022). A comprehensive review on carbon source effect of microalgae lipid accumulation for biofuel production. *Science of the Total Environment*, 806, 151387. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151387>
- Marsh, J. & D. Weinstein. (1966). Simple charring method for determination of lipids. *J. Lipid Res.* 7:574-576.
- Méndez, L.; I. Albarracín; M. Cravero & R. Salomón. (2010). Crecimiento de *Scenedesmus quadricauda* en efluentes cloacales de la ciudad de Trelew, Chubut, Argentina. <<http://hdl.handle.net/1834/3639>>. Consultado: 11 de agosto del 2016.
- Mendoza, G.A. (2022). Influencia de la actividad acuícola en la calidad ambiental del agua, mediante la determinación de la carga orgánica, Moyobamba 2021. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de San Martín.
- Merino, F., Mendoza, S., Carhuapoma-Garay, J., Campoverde-Vigo, L., Huamancondor-Paz, Y. P., Choque-Quispe, Y., Buleje Campos, D., Choque-Quispe, D., Rodríguez-Cardenas, L., Saldaña-Rojas, G. B., Loayza-Aguilar, R. E., & Olivós-Ramírez, G. E. (2024). Potential use of sludge from El Ferrol Bay (Chimbote, Peru) for the production of lipids in the culture of *Scenedesmus acutus* (Meyen, 1829). *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52919-2>
- Mora, R.; J. Ortega & R. Moronta. (2004). Crecimiento y producción de pigmentos de la microalga nativa *Chlorella* sp. aislada de la represa de Tulé, Municipio Mara Estado Zulia, Venezuela. *Ciencia*. 12(2),117-124.
- Morales M, Sánchez L, Revah S. (2018). The impact of environmental factors on carbon dioxide fixation by microalgae. *FEMS Microbiology Letters*. 365(3):fmx262

- Mosqueira, M. L. M., Pérez, C. P. G., & Soto, J. L. L. (2022). Peloides y microalgas: aplicaciones en dermocosmética y bienestar. *Boletín de la Sociedad Española de Hidrología Médica*, 37(1), 63-64.
- Musa, M., Ayoko, G. A., Ward, A., Rösch, C., Brown, R. J., & Rainey, T. J. (2019). Factors affecting microalgae production for biofuels and the potentials of chemometric methods in assessing and optimizing productivity. *Cells*, 8(8), 851.
- Nzayisenga, J. C., Farge, X., Groll, S. L., & Sellstedt, A. (2020). Effects of light intensity on growth and lipid production in microalgae grown in wastewater. *Biotechnology for Biofuels*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s13068-019-1646-x>
- Ortega-Salas, A. & H. Reyes-Bustamante. (2012). Cultivo de las microalgas dulceacuólicas *Kirchneriella obesa*, *Scenedesmus quadricauda* y *Chlorococcum infusorium* empleando tres medios de cultivo. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 16(2), 35–44.
- Ortiz, F. & R. Senmanche. (2016). Efecto de tres concentraciones de extracto acuoso del lodo de la bahía de Samanco en el crecimiento poblacional y contenido de lípidos totales de *Tetraselmis suecica* en condiciones de laboratorio. Tesis para Optar el Título de Biólogo Acuicultor, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional del Santa. Nuevo Chimbote, Perú. 56p.
- Park, J.; R. Craggs & A. Shilton. (2011). Wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production. *Bioresource Technology*. 102,35-42.
- Pellon, A.; E. Benitez; J. Frades; L. García; A. Cerpa & F.J. Alguacil. (2003). Empleo de microalga *Scenedesmus obliquus* en la eliminación de cromo presente en aguas residuales galvánicas. *Rev. Metal Madrid*. 39,9-16.
- Piedrahita, R.H. (2003). Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*. 226, 35-44.
- Pulz, O. (2001). Photobioreactors: Production systems for phototrophic microorganisms. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 57(3):287-293.
- Pugazhendhi, A., Arvindnarayan, S., Shobana, S., Dharmaraja, J., Vadivel, M., Atabani, A. E., ... & Kumar, G. (2020). Biodiesel from *Scenedesmus* species: Engine performance, emission characteristics, corrosion inhibition and bioanalysis. *Fuel*, 276, 118074. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118074>
- Quiroz, K. & E. Vereau. (2015). Efecto de diferentes concentraciones de extracto acuoso del sedimento de la bahía “el ferrol” en el crecimiento poblacional y contenido de lípidos de la microalga *Scenedesmus acutus* en condiciones de laboratorio. Tesis para Optar el Título de Biólogo Acuicultor, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional del Santa. Nuevo Chimbote, Perú. 41p.
- Richarte, E.H. (2023). Efecto del extracto acuoso de lodo del cultivo de *Arapaima gigas* en el crecimiento poblacional y contenido de lípidos de *Nannochloropsis* sp. Tesis de Licenciatura. Universidad nacional del Santa. Nuevo Chimbote, Perú. 47p.

- Rodríguez, L.; J. Juscamaita & J. Vargas. (2007). Efecto del medio EM-Bokashi en el cultivo de la microalga marina *Tetraselmis suecica* K. *Ecología Aplicada*. 6,111-116.
- Roleda, M.; S. Slocombe; R. Leakey; J. Day; E. Bell & M. Stanley. (2013). Effects of temperature and nutrient regimes on biomass and lipid production by six oleaginous microalgae in batch culture employing a two-phase cultivation strategy. *Bioresource Technology*. 129:439-449.
- Rosli, S.; W. Kadir; C. Wong; F. Han; J. Lim; K. Lam; S. Yusup; W. Kiatkittipong; K. Kiatkittipong & A. Usman. (2020). Insight review of attached microalgae growth focusing on support material packed in photobioreactor for sustainable biodiesel production and wastewater bioremediation. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 134:e110306.
- Salazar, F.; Alfaro, M.; Teuber, N. & Saldaña, R. (2005). Uso de lodos de la industria salmonera en suelos agrícolas. *Rev. Tierra Adentro*. 60, Enero-Febrero, 2005. 53p.
- Salazar, F.; Alfaro, M.; Teuber, N. & Saldaña, R. (2005). Uso de lodos de la industria salmonera en suelos agrícolas. *Rev. Tierra Adentro*. 60, Enero-Febrero, 2005. 53p.
- Sánchez, Q.A. S. (2021). Fortalecimiento de la cadena de valor del paiche arapaima gigas (cuvier, 1829) mediante el diseño de propuestas de mejoras de parámetros productivos en la estación piscícola silver corporation sac, distrito río negro, provincia Satipo, región Junín.
- Sánchez-Borroto, Y., Tobío-Pérez, I., Romero-López, T. D. J., Díaz-Domínguez, Y., Melo-Espinosa, E. A., & Piloto-Rodríguez, R. (2019). Evaluación de las condiciones experimentales básicas para la producción de biomasa a partir de la microalga *Chlorella vulgaris*. *Afinidad*, 76(585).
- Sánchez, K. M. P. (2022). Ritmo de crecimiento de *Nannochloropsis oculata* usando diferentes concentraciones de salinidad y F/2 Guillard en 10 y 23 días de cultivo. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. 78 p.
- Sena-Ceniagua (Oceanario, Islas del Rosario). (2010). Cartilla de consideraciones ambientales y normativas para el establecimiento de cultivos marinos. <http://www.ceniagua.org/archivos/cartilla_cobia.pdf>. Accesado: 16 de diciembre del 2016.
- Shayesteh, H., Vadiveloo, A., Bahri, P. A., & Moheimani, N. R. (2021). Can CO₂ addition improve the tertiary treatment of anaerobically digested abattoir effluent (ADAE) by *Scenedesmus* sp. (Chlorophyta)?. *Algal Research*, 58, 102379.
- Singh, D.; A. Upadhyay; R. Singh & D. Singh. (2022). Implication of municipal wastewater on growth kinetics, biochemical profile, and defense system of *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus vacuolatus*. *Environmental Technology & Innovation*. 26:e102334.
- Tan, X. B., Zhao, Z. Y., Gong, H., Jiang, T., Liu, X. P., Liao, J. Y., & Zhang, Y. L. (2024). Growth of *Scenedesmus obliquus* in anaerobically digested swine wastewater

from different cleaning processes for pollutants removal and biomass production. *Chemosphere*, 352, 141515. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141515>

- Tejido-Núñez, Y., Aymerich, E., Sancho, L., & Refardt, D. (2020). Co-cultivation of microalgae in aquaculture water: Interactions, growth and nutrient removal efficiency at laboratory-and pilot-scale. *Algal research*, 49, 101940.
- Toyub, M.; M. Miah; M. Habib & M. Rahman. (2008). Growth performance and nutritional value of *Scenedesmus obliquus* cultured in different concentrations of sweetmeat factory waste media. *Bang. J. Anim. Sci.* 37(1),86-93.
- Troncoso, J. M.; Rojas, X.; Millán, M. & Schroeder, G. (2007). Recuperación de fondos marinos anaeróbicos, bajo balsas de cultivo de salmones, por medio del tratamiento con hidróxido de magnesio. *Salmo Ciencia*. (1):67-71.
- Udaiyappan, A. F. M., Hasan, H. A., Takriff, M. S., Abdullah, S. R. S., Yasin, N. H. M., & Ji, B. (2021). Cultivation and application of *Scenedesmus* sp. strain UKM9 in palm oil mill effluent treatment for enhanced nutrient removal. *Journal of Cleaner Production*, 294, 126295. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126295>
- Ugwu, C.U. & H. Aoyagi. (2008). Photobioreactors for mass cultivation of algae. *Bioresource Technology*. 99:4021-4028.
- Viadero, R.; J. Cunningham; K. Semmens & A. Tierney. (2005). Effluent and production impacts of flow-through aquaculture operation in West Virginia. *Aquacultural Engineering*. 33:258.
- Wágner, D. S., Radovici, M., Smets, B. F., Angelidaki, I., Valverde-Pérez, B., & Plósz, B. G. (2016). Harvesting microalgae using activated sludge can decrease polymer dosing and enhance methane production via co-digestion in a bacterial-microalgal process. *Algal Research*, 20, 197-204. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.10.010>
- Yossa, M.; G. Hernández; J. Ortega & W. Vásquez. (2009). Ensayo preliminar sobre granulometría en estanques piscícolas. Memorias xv Jornada de Acuicultura, Universidad de Los Llanos, Instituto de Acuicultura de Los Llanos IALL. Colombia. 78-81pp.

IX. ANEXOS

Anexo 1. Densidad celular ($\times 10^6$ cél mL⁻¹) en las unidades experimentales de los cultivos de *S. acutus* dosificados con LCP y control HM.

DÍA DE CULTIVO	LCP (g L ⁻¹)											
	CONTROL (HM)			1,0			1,5			2,0		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
1	2,70	2,95	3,04	3,26	3,40	3,42	2,92	3,02	3,14	3,02	3,04	3,24
2	6,44	6,65	7,01	8,29	7,59	7,88	8,64	8,83	7,79	7,48	7,67	8,20
3	8,85	9,20	9,40	11,5	11,9	12,1	14,6	15,5	16,1	14,2	14,9	15,6
4	14,2	13,5	14,8	18,3	17,9	19,0	19,2	20,3	21,1	21,3	19,6	20,9
5	17,1	18,1	18,6	20,6	20,1	21,8	23,8	22,9	24,3	25,8	23,7	24,1
6	19,3	19,8	20,2	21,9	21,3	22,5	24,7	24,1	25,7	26,9	26,2	26,3
7	20,1	21,6	20,7	22,1	22,6	22,9	25,9	25,9	26,7	27,5	26,8	27,1

Anexo 2. Densidad celular promedio ($\times 10^6$ cél mL⁻¹) con desviación estándar, en los cultivos de *S. acutus* dosificados con LCP y control HM.

DÍA DE CULTIVO	LCP (g L ⁻¹)			
	CONTROL (HM)	1,0	1,5	2,0
0	2,05 ±0,00a	2,05 ±0,00a	2,05 ±0,00a	2,05 ±0,00a
1	2,90 ±0,18b	3,36 ±0,09a	3,03 ±0,11ab	3,10 ±0,12ab
2	6,70 ±0,29b	7,92 ±0,35a	8,42 ±0,55a	7,78 ±0,37a
3	9,15 ±0,28c	11,87 ±0,33b	15,40 ±0,75a	14,93 ±0,68a
4	14,20 ±0,68c	18,43 ±0,58b	20,22 ±0,93ab	20,62 ±0,91a
5	17,93 ±0,76c	20,83 ±0,87b	23,67 ±0,71a	24,53 ±1,12a
6	19,77 ±0,45d	21,90 ±0,60c	24,83 ±0,81b	26,47 ±0,38a
7	20,80 ±0,75c	22,53 ±0,40b	26,17 ±0,46a	27,13 ±0,35a

La letra diferente en una misma fila indica diferencia significativa ($\alpha=0,05$).

Anexo 3. Tasa de crecimiento (μ) y tiempo de duplicación (TD) poblacional en las unidades experimentales de los cultivos de *S. acutus* dosificados con LCP y control HM.

PARÁMETRO	LCP (g L ⁻¹)											
	CONTROL (HM)			1,0			1,5			2,0		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
N0	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
Nf	17,1	18,1	18,6	20,6	20,1	21,8	23,8	22,9	24,3	25,8	23,7	24,1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Día (d)	5			5			5			5		
μ (d⁻¹)	0,42	0,43	0,44	0,46	0,45	0,47	0,49	0,48	0,49	0,50	0,49	0,49
	4	6	1	1	7	3	0	3	5	7	0	3
TD (d)	1,63	1,59	1,57	1,50	1,51	1,46	1,41	1,43	1,40	1,36	1,41	1,40
	5	0	2	4	7	5	5	5	0	7	5	6

Anexo 4. Biomasa total, absorbancia, porcentaje y biomasa de lípidos de *S. acutus* en las unidades experimentales dosificados con LCP y control HM.

PARÁMETROS	LCP (g L ⁻¹)											
	CONTROL (HM)			1,0			1,5			2,0		
Biomasa (mg x10mL⁻¹)	5,44	5,76	5,92	6,56	6,41	6,94	7,58	7,31	7,73	8,19	7,54	7,68
Biomasa (mg L⁻¹)	544,00	576,00	592,00	656,00	641,00	694,00	758,00	731,00	773,00	819,00	754,00	768,00
Absorbancia	0,528	0,541	0,580	0,704	0,689	0,769	0,779	0,756	0,773	0,814	0,771	0,790
Lípidos (%)	21,75	21,05	21,96	24,05	24,09	24,83	23,03	23,18	22,41	22,27	22,91	23,05
Lípidos (mg L⁻¹)	118,3	121,2	130,0	157,8	154,4	172,3	174,6	169,4	173,2	182,4	172,7	177,0

Anexo 5. Temperatura (°C) en las unidades experimentales de los cultivos de *S. acutus* dosificados con LCP y control HM.

DÍA DE CULTIVO	LCP (g L ⁻¹)											
	CONTROL (HM)			1,0			1,5			2,0		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	27,1	27,0	27,2	27,1	27,1	27,2	27,1	27,0	27,2	27,0	27,1	27,2
1	26,9	27,1	26,8	27,0	26,9	26,8	26,8	26,9	26,8	26,9	26,9	27,1
2	26,7	26,9	26,6	26,8	26,7	26,8	26,8	26,6	26,6	26,8	26,7	26,8
3	27,2	27,3	27,1	27,2	27,3	27,3	27,3	27,1	27,3	27,1	27,2	27,2
4	26,4	26,5	26,4	26,5	26,3	26,3	26,4	26,4	26,5	26,5	26,4	26,3
5	27,3	27,4	27,2	27,3	27,2	27,2	27,1	27,3	27,2	27,3	27,4	27,3
6	26,5	26,4	26,4	26,6	26,5	26,4	26,5	26,4	26,5	26,6	26,3	26,6
7	26,8	26,7	26,7	27,0	26,8	26,8	26,8	26,7	26,9	26,9	26,7	26,8

Anexo 6. Temperatura promedio (°C) y desviación estándar, en los cultivos de *S. acutus* dosificados con LCP y control HM.

DÍA DE CULTIVO	LCP (g L ⁻¹)			
	CONTROL (HM)	1	1,5	2,0
0	27,1 ±0,1a	27,1 ±0,1a	27,1 ±0,1a	27,1 ±0,1a
1	26,9 ±0,2a	26,9 ±0,1a	26,8 ±0,1a	27,0 ±0,1a
2	26,7 ±0,2a	26,8 ±0,1a	26,7 ±0,1a	26,8 ±0,1a
3	27,2 ±0,1a	27,3 ±0,1a	27,2 ±0,1a	27,2 ±0,1a
4	26,4 ±0,1a	26,4 ±0,1a	26,4 ±0,1a	26,4 ±0,1a
5	27,3 ±0,1a	27,2 ±0,1a	27,2 ±0,1a	27,3 ±0,1a
6	26,4 ±0,1a	26,5 ±0,1a	26,5 ±0,1a	26,5 ±0,2a
7	26,7 ±0,1a	26,9 ±0,1a	26,8 ±0,1a	26,8 ±0,1a

La letra diferente en una misma fila indica diferencia significativa ($\alpha=0,05$).

Anexo 7. pH (unidades) en las unidades experimentales de los cultivos de *S. acutus* dosificados con LCP y control HM.

DÍA DE CULTIVO	LCP (g L ⁻¹)											
	CONTROL (HM)			1,0			1,5			2,0		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	7,46	7,55	7,41	7,51	7,44	7,48	7,53	7,45	7,47	7,54	7,42	7,43
1	7,68	7,74	7,62	7,68	7,67	7,66	7,62	7,71	7,79	7,81	7,81	7,88
2	7,96	7,89	7,88	7,75	7,81	7,78	7,94	7,82	7,94	8,19	8,14	8,09
3	8,12	8,29	7,99	8,11	8,18	8,03	8,35	8,46	8,36	8,32	8,39	8,26
4	8,47	8,34	8,31	8,59	8,64	8,42	8,72	8,81	8,92	8,97	8,86	8,84
5	8,63	8,68	8,63	8,65	8,79	8,61	8,89	8,73	8,96	8,69	8,53	8,49
6	8,82	8,95	8,71	8,82	8,75	8,85	8,97	8,89	8,84	8,77	8,90	8,87
7	8,74	8,72	8,76	8,79	8,92	8,69	8,84	8,78	8,89	8,78	8,86	8,72

Anexo 8. Temperatura promedio (°C) y desviación estándar, en los cultivos de *S. acutus* dosificados con LCP y control HM.

DÍA DE CULTIVO	LCP (g L ⁻¹)			
	CONTROL (HM)	1,0	1,5	2,0
0	7,47 ±0,07a	7,48 ±0,04a	7,48 ±0,04a	7,46 ±0,07a
1	7,68 ±0,06b	7,67 ±0,01b	7,71 ±0,09ab	7,83 ±0,04a
2	7,91 ±0,04b	7,78 ±0,03b	7,90 ±0,07b	8,14 ±0,05a
3	8,13 ±0,15b	8,11 ±0,08b	8,39 ±0,06ab	8,32 ±0,07a
4	8,37 ±0,09b	8,55 ±0,12b	8,82 ±0,10a	8,89 ±0,07a
5	8,65 ±0,03ab	8,68 ±0,09ab	8,86 ±0,12a	8,57 ±0,11b
6	8,83 ±0,12a	8,81 ±0,05a	8,90 ±0,07a	8,85 ±0,07a
7	8,74 ±0,02a	8,80 ±0,12a	8,84 ±0,06a	8,79 ±0,07a

La letra diferente en una misma fila indica diferencia significativa ($\alpha=0,05$).