

## Presencia de grupos de microalgas en un sistema acuapónico de recirculación y un sistema acuapónico de raíz flotante en el área de Silvicultura Clonal

### *Presence of microalgae groups in a recirculating aquaponic system and a floating root aquaponic system in the Clonal Forestry area*

Hernández-Rivera C. I.<sup>1,2\*</sup>, Altamirano-Pérez M. R.<sup>2</sup>, Morales-Pérez V. A.<sup>3</sup>.

 Hernández-Rivera C. I.  
[carmen.hernandez@ev.unanleon.edu.ni](mailto:carmen.hernandez@ev.unanleon.edu.ni)

 Altamirano-Pérez M. R.  
[melba.altamirano@ev.unanleon.edu.ni](mailto:melba.altamirano@ev.unanleon.edu.ni)

 Morales-Pérez V. A.  
[victor.morales@ev.unanleon.edu.ni](mailto:victor.morales@ev.unanleon.edu.ni)

\*Autor de correspondencia: [carmen.hernandez@ev.unanleon.edu.ni](mailto:carmen.hernandez@ev.unanleon.edu.ni)

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Ciencias Agrarias y Veterinaria, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León.

<sup>2</sup>Dirección específica de Acuicola, Área de Conocimiento en Ciencias Agrarias y Veterinaria, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León. Nicaragua.

<sup>3</sup>Dirección específica de Agroecología y Agronegocio, Área de Conocimiento de Ciencias Agraria Veterinaria, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León. Nicaragua.

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua

Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático

ISSN-e: 2410-7980

Periodicidad: Semestral

vol.11, núm.21, 2025

[ribcc@ev.unanleon.edu.ni](mailto:ribcc@ev.unanleon.edu.ni)

Recepción: 01 de, Julio 2025

Aprobado: 29 de, Diciembre 2025

URL: [https://revistas.unanleon.edu.ni/index.php/REB\\_ICAMCLI/article/view/1198](https://revistas.unanleon.edu.ni/index.php/REB_ICAMCLI/article/view/1198)

DOI: <https://doi.org/10.5377/ribcc.v11i21.22148>

Copyright © 2025 Rev. iberoam. bioecon. cambio clim. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León (UNAN-León), Area de Conocimiento de Ciencias Agrarias y Veterinarias/ Dirección Especifica de Agroecología y Agronegocios /Centro de Investigación en Ciencias Agrarias y Veterinarias. Dirección Académica. Departamento de Investigación. Unidad de publicaciones y eventos científicos.



Esta obra está bajo una licencia internacional  
Creative Commons Atribución No Comercial Compartir Igual 4.0

### Resumen

**Antecedentes:** La acuaponía se define como la combinación de la acuicultura con el cultivo hidropónico, estos son ecosistemas diversos, en donde no solo se desarrollan los peces y plantas en cultivo, sino una diversidad de microorganismos fitoplanctónicos. **Objetivos:** Considerando que las microalgas son vitales en el desarrollo de los peces, es importante conocer la presencia de estos grupos bajo las condiciones brindadas por los sistemas acuapónicos. **Metodología:** por ello semanalmente se cuantificaron los grupos de microalgas presentes y se monitoreo el pH como parámetro limitante en el desarrollo de los organismos fitoplanctónicos. **Resultados:** En las condiciones específicas del estudio, ambos sistemas presentaron diatomeas, cianofitas y clorofitas, sin registrarse dinoflagelado, además se evidencia que no existió diferencia estadística significativa entre los datos de microalgas y el pH registrado en ambos sistemas. **Conclusiones:** se revelo que no existió diferencia significativa entre los datos de microalgas y pH de ambos sistemas, esto indica que el desarrollo de las microalgas no están relacionadas con los sistemas acuapónicos

**Palabras claves:** clorofitas, cianofitas, diatomeas, fitoplancton.

### Abstract

**Background:** Aquaponics is defined as the combination of aquaculture and hydroponic cultivation. These are diverse ecosystems where not only fish and plants are cultivated, but also a variety of phytoplankton microorganisms. **Objectives:** Considering that microalgae are vital for fish development, it is important to understand the presence of these groups under the conditions provided by aquaponic systems. **Methodology:** Therefore, the microalgae groups present were quantified weekly, and pH was monitored as a limiting parameter in the development of phytoplankton organisms. **Results:** Under the specific conditions of the study, both systems showed diatoms, cyanobacteria, and chlorophytes, with no dinoflagellates observed. Furthermore, there was no statistically significant difference between the microalgae data and the pH recorded in either system. **Conclusions:** The study revealed no significant difference between the microalgae data and pH of both systems, indicating that microalgae development is not related to aquaponic systems.

**Keywords:** chlorophytes, cyanophytes, diatoms, phytoplankton.

## Introducción

En los últimos años, el cultivo acuapónico ha ganado relevancia como una alternativa sostenible para la producción simultánea de peces y plantas, integrando los beneficios de la acuicultura y la hidroponía en un sistema cerrado (Rocha et al., 2022). Diversas investigaciones han analizado dimensiones críticas de la acuaponía, abarcando desde su implementación técnica hasta los protocolos de mantenimiento. En este sentido, López (2019) profundiza en los fundamentos de estos sistemas y detalla los procedimientos operativos necesarios para su ejecución exitosa. Por otro lado, Pérez (2021) estudio la interacción entre la acuicultura y los cultivos hidropónicos, diseñando sistemas acuapónicos que integran ambos componentes de manera eficiente. El uso combinado de sistemas de recirculación y bioflocs, resaltan la relevancia de los microorganismos en la dinámica de producción acuapónica.

En el área de Silvicultura Clonal, se ha buscado establecer sistemas acuapónicos considerando su diseño y rendimiento productivo. Estudios como el de Palma y Fernández (2017) han evaluado su estructura y funcionamiento en el cultivo conjunto de peces y lechuga; no obstante, aún se conoce poco sobre la dinámica de los microorganismos que se desarrollan en estos sistemas. En particular, existe limitada información comparativa sobre el comportamiento de las microalgas en sistemas de recirculación y sistemas de raíz flotante. Gonzalez-Céspedes (2015) considera que el estudio de estos microorganismos es relevante ya que ellos intervienen en la producción de oxígeno disuelto y en la asimilación de compuestos nitrogenados, incidiendo directamente en la calidad y estabilidad del agua, por lo que resulta necesario profundizar en su estudio para fortalecer el manejo y sostenibilidad del sistema.

A pesar de su importancia, la presencia o ausencia de estos microorganismos en los sistemas acuapónicos sigue siendo poco explorada (Manoharan et al., 2025). Esta investigación contribuirá a la generación de conocimientos, proporcionando información sobre cómo se relacionan el pH y las microalgas, además de explicar como fluctúan las densidades de las microalgas en este tipo de sistemas productivos, a su vez se identificarán los grupos de microalgas presentes en los sistemas acuapónico

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El estudio fue de tipo preexperimental, observacional y de seguimiento temporal, caracterizado principalmente por un bajo nivel de control sobre las variables y los datos se recolectaron durante un periodo definido de tiempo (Veiga et al., 2008). La investigación se desarrolló en el Centro Experimental de Silvicultura Clonal de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, perteneciente al Área de Conocimiento de Ciencias Agrarias y Veterinarias.

### Población y muestra

La población estudiada fueron las microalgas presentes en dos tanques con capacidad de 1,200 L de agua, correspondientes a un sistema acuapónico de raíz flotante (SARF) y un sistema acuapónico de recirculación (SAR). Ambos sistemas contaban con malla sombra, limitando la incidencia directa de la radiación solar. La muestra se obtuvo por muestreo superficial aleatorio (Porra-Velázquez, 2017), recolectándose semanalmente 50 mL de agua de cada tanque durante 14 semanas. Cada muestra fue fijada con 0.3 mL de lugol al 10 % para la preservación celular (Rico & Arana, 2021).

### Procedimiento de recolección de datos

Para la determinación de los niveles de pH, se empleó un sensor electroquímico digital tipo *pen-drive* registrando las lecturas de forma diaria en cada unidad experimental (Hernández et al., 2020), previamente calibrado con soluciones amortiguadoras de referencia de 4, 7 y 10, con el fin de asegurar la lectura correcta de pH. Para cada registro, el electrodo se sumergió en el agua hasta que la pantalla mostró una lectura estable, este procedimiento se realizó diariamente a las 8 am, durante 14 semanas (Hernández et al., 2022).

La cuantificación de microalgas se obtuvo a través del conteo de células en la cámara Neubauer (Thiviyanathan et al., 2023), se calcularon las densidades de cada uno de los grupos presentes en cada tanque. Para realizar el conteo en la cámara Neubauer se utilizaron microscopio con el menor aumento (4x), papel toalla y cubreobjeto (Moreno et al., 2012). Una vez recolectada la muestra, se procedió al conteo celular, homogenizando suavemente el agua de los frascos de muestreo sin que se formaran burbujas (Charles et al., 2002), para luego extraer 50  $\mu$ L de agua para ser depositada sobre la cuadrícula de la cámara e iniciar el conteo.

Cada muestra fue contabilizada cinco veces con el fin de disminuir el sesgo que se podría presentar durante el proceso de cuantificación, una vez contadas de manera individual las células presentes en cada muestra se procedieron a multiplicar por la constante de 2,500 para obtener el total de células  $\cdot$  mL<sup>-1</sup> de ese conteo, tomando en cuenta que en el caso de los dinoflagelados su constante será de 50. Los datos fueron procesados a partir del promedio de cinco repeticiones (cel/mL); la media resultante se utilizó como unidad de análisis, de acuerdo con la metodología descrita por Navarrete (2015).

### Plan de análisis

En este estudio se consideraron las microalgas, pH y abundancia de Diatomeas, Cianofitas, Clorofitas y Dinoflagelados como variables. Además, se determinó la abundancia de los grupos de microalgas que se encontraban tanto en sistema de cultivo acuapónico de raíz flotante (SARF) y como en el sistema acuapónico de recirculación (SAR), también se realizó un análisis de normalidad mediante la prueba de Shapiro-wilk (Hanusz et al., 2016) y en cuanto a la asociación de pH y densidad de microalgas se analizó mediante la correlación de Pearson (Fiallos, 2021).

## Resultados y discusión

La correlación de Pearson se realizó con una significancia del 95%, dando como resultado valores de  $r$  negativos (Tabla 1), demostrando que el pH y las microalgas están relacionadas de manera inversa; así, cuando el pH incrementa, las cel/ml de microalgas disminuyen. Navarrete (2015) menciona que el pH es un parámetro limitante para el desarrollo de las microalgas; y la densidad de estas está determinada por los rangos de pH presentes en el cuerpo de agua, Moronta et al. (2006), menciona que, tanto en cultivo axénicos como no axénicos, las microalgas incrementaron a medida que el pH registraba 8 y 9.

Tabla 1. Correlación de Pearson entre conteo de microalgas y pH.

| Correlaciones        |                        | Conteo de microalgas | pH     |
|----------------------|------------------------|----------------------|--------|
| Conteo de microalgas | Correlación de Pearson | 1                    | -,446* |
|                      | Sig. (bilateral)       |                      | ,022   |
| pH                   | N                      | 26                   | 26     |
|                      | Correlación de Pearson | -,446*               | 1      |
|                      | Sig. (Bilateral)       | ,022                 |        |
|                      | N                      | 26                   | 26     |

Durante el estudio el parámetro principal monitoreado fue el pH (Figura 1) registrando en el sistema SAR un máximo de 8 y un mínimo de 7.10, mientras el SARF reportó 8 y 7.30 respectivamente, Navarrete (2015) menciona que los rangos óptimos deben oscilar entre 8.2 y 8.7.

Por lo que el pH por debajo de 8 registrado durante el estudio, pudieron influir en el desarrollo de las microalgas, debido a que este factor determina la solubilidad del dióxido de carbono y afecta las reacciones celulares, los requerimientos nutricionales y la composición de la biomasa, así como la solubilidad de los gases en el agua (Gómez-Luna et al., 2021), considerando que en los sistemas se registraron conteos celulares máximos en SAR y SARF (de 345,000 cel/ml y 215,000 cel/ml respectivamente Figura 2), se corrobora lo indicado en la correlación de Pearson (Tabla 1). Esta relación sugiere que las variaciones del pH influyen directamente sobre la densidad celular, debido a que este parámetro regula la disponibilidad de carbono inorgánico disuelto, especialmente en sus formas  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^{2-}$ , las cuales son esenciales para la fotosíntesis (Sun et al., 2025; Kim et al., 2014; Zieliński et al., 2023). A valores de pH más elevados, la fracción de  $\text{CO}_2$  disponible disminuye, lo que puede limitar la actividad fotosintética y, por consiguiente, el crecimiento microalgal. (Khalil et al., 2010).

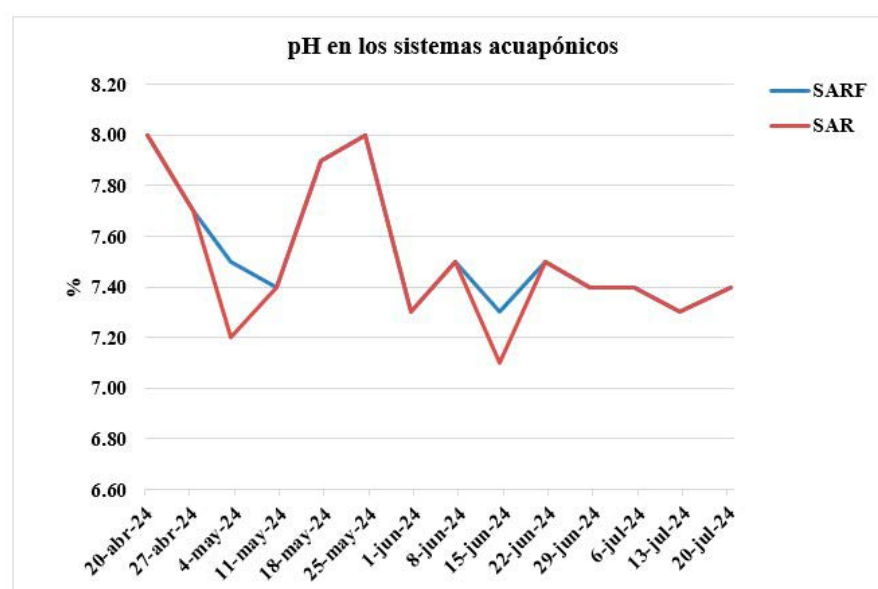
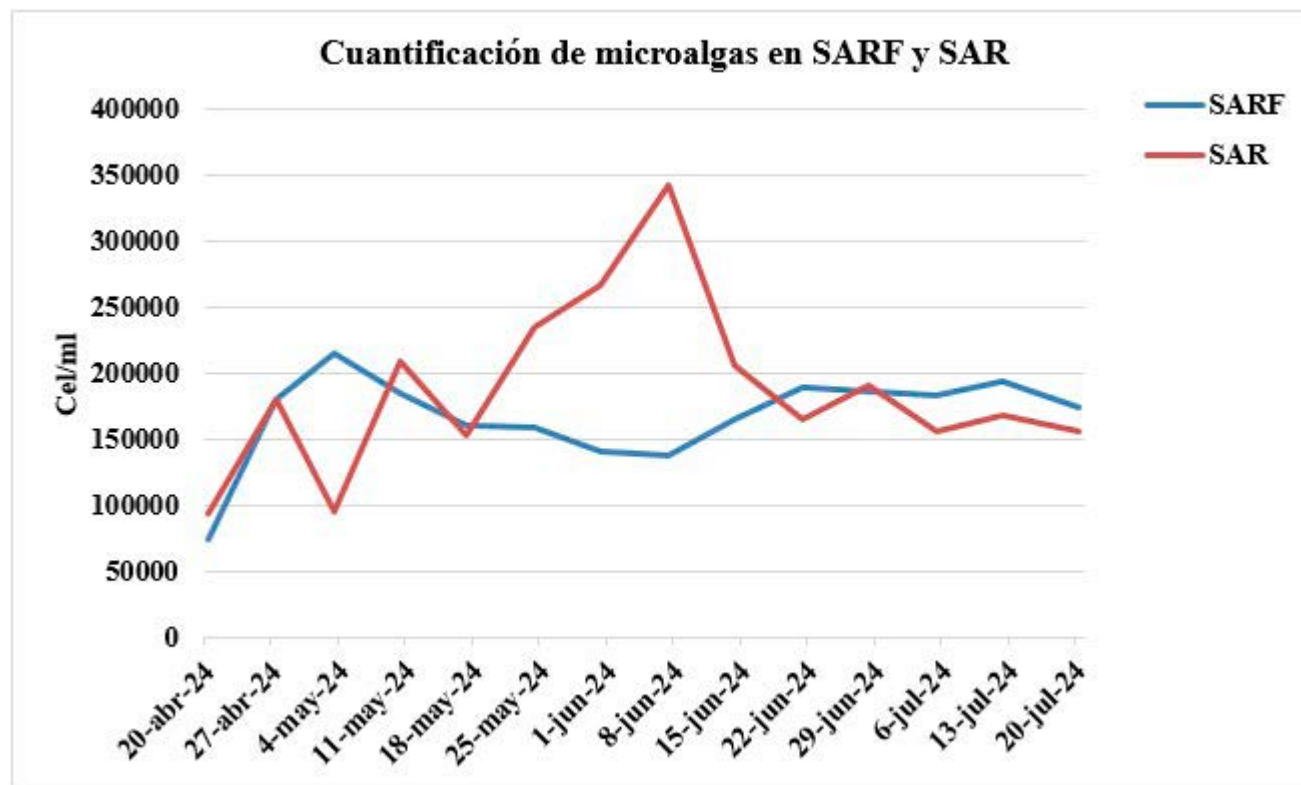


Figura 1: pH en los sistemas acuapónicos de raíz flotante (SARF) y sistema acuapónico de recirculación (SAR).





**Figura 2:** Cuantificación de microalgas en sistema acuapónico de raíz flotante y sistema acuapónico de recirculación.

Las pruebas de muestras independientes ( $p > 0.05$ ), en Diatomeas 0.190, Clorofitas 0.665 y Cianofitas 0.534 (Tabla 2), no existe diferencia estadística significativa entre la presencia de grupos y los sistemas (Tabla 2), por lo que en cada sistema acuapónico pueden desarrollarse los diferentes grupos de microalgas, sin estar relacionados con el tipo de sistema acuapónico a implementar. En cuanto a los registros de dinoflagelados, no se reportó presencia de ellos en ninguno de los dos sistemas (Figura 3 y Figura 4), esto pudo estar relacionado con una combinación de factores ambientales como disponibilidad de nutrientes, competencia con otras especies o incluso características inherentes al ciclo de vida de los dinoflagelados y su requerimiento de parámetros óptimos. La investigación realizada por García et al. (2008) reporta que la luz directa es fundamental para que los dinoflagelados puedan llevar a cabo su ciclo de vida, por lo que se podría asumir que el efecto de la malla sobre los sistemas acuapónicos influyo en la presencia de Dinoflagelados. Esta hipótesis deberá evaluarse en investigaciones futuras mediante mediciones directas de irradiancia y variables fisicoquímicas complementarias.

**Tabla 2.** Pruebas de muestras independientes para Diatomeas, Clorofitas y Cianofitas, presentes en los sistemas acuapónicos de recirculación y sistema acuapónico de raíz flotante.

| Cantidad   | F     | Sig. | t     | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | Diferencia de error estándar | 95% de intervalo de confianza de la diferencia |           |
|------------|-------|------|-------|----|------------------|----------------------|------------------------------|------------------------------------------------|-----------|
| Diatomeas  | ,355  | ,557 | -     | 26 | ,190             | -                    | 10746,239                    | -36553,496                                     | 7624,925  |
| Clorofitas | 3,981 | ,057 | 1,346 | 26 | ,665             | 14464,286            | 8263,859                     | -20600,890                                     | 13372,319 |
| cianofitas | ,089  | ,768 | -,630 | 26 | ,534             | -1507,143            | 2392,503                     | -6425,003                                      | 3410,717  |

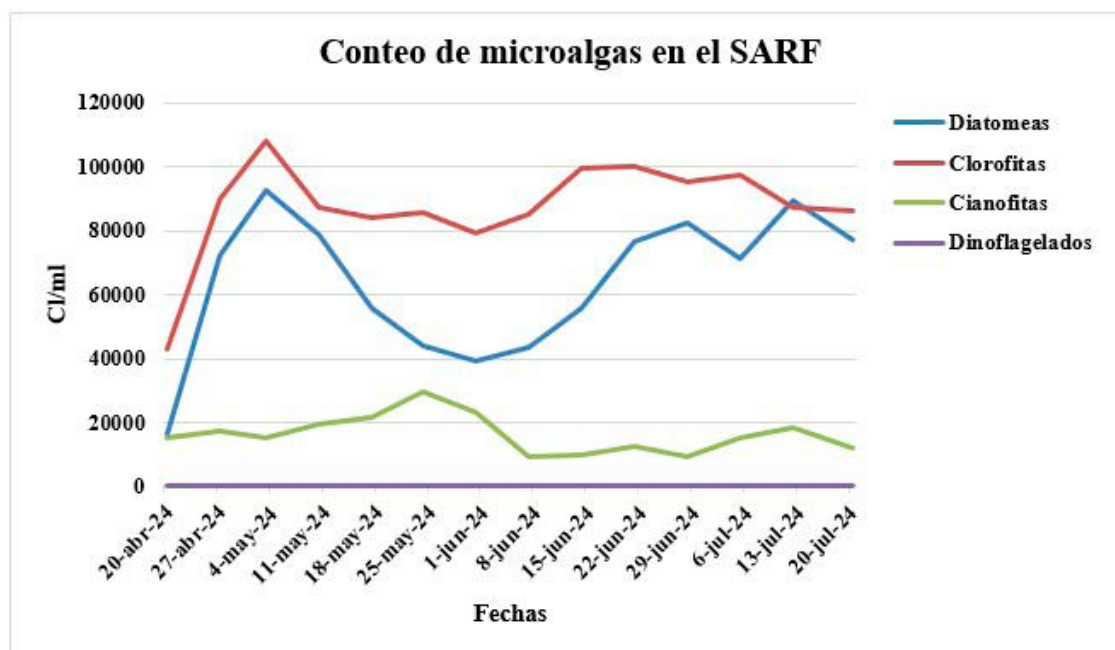


Figura 3: Conteos de microalgas en los sistemas acuapónicos de raíz flotante (SARF).

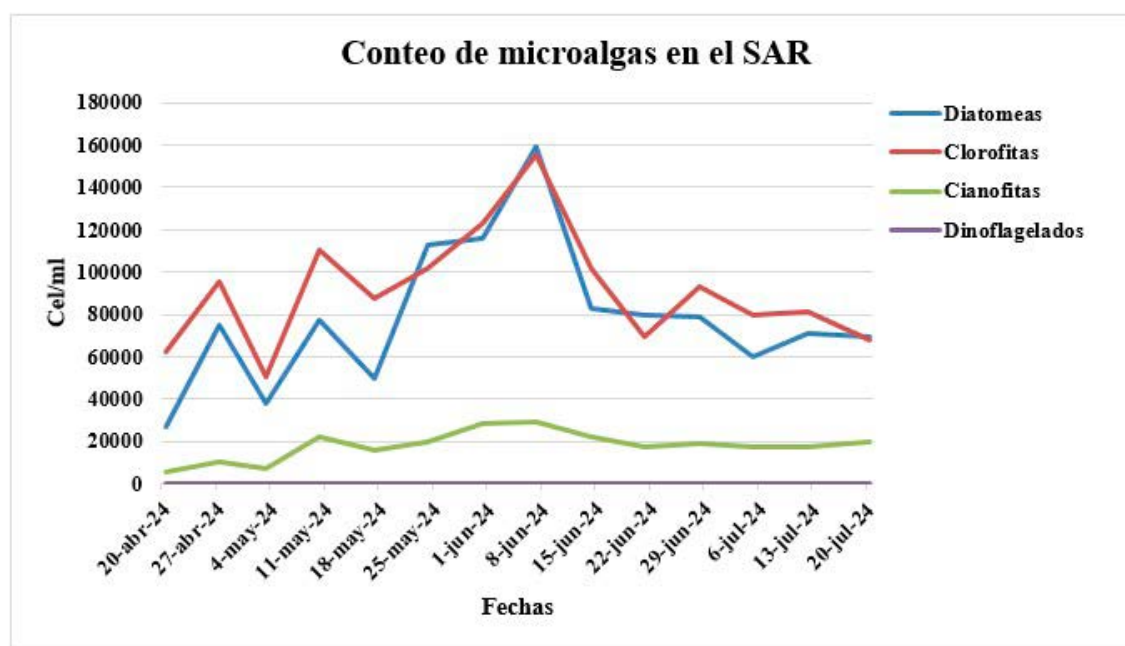


Figura 4: Conteos de microalgas en los sistemas acuapónicos de recirculación (SAR).

## Conclusiones

En las condiciones específicas del estudio, ambos sistemas presentaron diatomeas, cianofitas y clorofitas, sin registrarse dinoflagelados durante el período evaluado, constituyendo este último un hallazgo estrictamente descriptivo. Se observó una asociación entre las fluctuaciones del pH y las variaciones en las densidades de microalgas; sin embargo, debido a que solo se contó con una unidad experimental por sistema, los resultados no permiten establecer relaciones de causa-efecto ni atribuir con certeza las diferencias observadas al tipo de sistema acuapónico. Sin embargo, estos resultados son valiosos, permiten tener una primera aproximación al comportamiento de la comunidad microalgal bajo las condiciones reales del estudio, ayudando a entender cómo responden las microalgas ante cambios en el pH, además de servir como punto de partida para investigaciones posteriores.

## Declaraciones

**Fondos:** Este estudio no fue financiado.

**Conflicto de intereses:** No revelaron conflictos de intereses.

**Cumplimiento de estándares éticos:** No se realizó ningún experimento con animales mayores o personas.

**Contribuciones de Autores:** H.R.C Conceptualización, Metodología, Redacción, análisis de datos, Borrador Original. A.P.M.R: Conceptualización, Metodología, toma de datos y Redacción de Borrador Original. M.P.V.A: Conceptualización, Metodología, toma de datos y Redacción de Borrador Original.

**Disponibilidad de datos:** Los conjuntos de datos están disponibles a través del autor correspondiente previa solicitud razonable.

## Referencias bibliográficas

- Charles, D. F., Knowles, C., & Davis, R. (2002). *Protocols for the analysis of algal samples collected as part of the U.S. Geological Survey National Water-Quality Assessment Program* (Report No. 02-06). The Academy of Natural Sciences, Patrick Center for Environmental Research – Phycology Section, Philadelphia, PA. <http://water.usgs.gov/nawqa/protocols/algprotocol/algprotocol.pdf>
- Fiallos, G. (2021). La Correlación de Pearson y el proceso de regresión por el Método de Mínimos Cuadrados. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(3), 2491-2509. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v5i3.466](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.466)
- Gonzales-Céspedes, A. (2015). *¿Qué Son Las Microalgas? Interés Y Uso*. Estación Experimental Cajamar. Las Palmerillas. N. 011 <https://www.cajamar.es/storage/documents/microalgas-1444391623-ca345.pdf>
- García, F., Gallardo, J. J., Sánchez, A., Cerón, M., Belarbi, E. H., & Molina, E. (2008). Modelo mecanístico para el crecimiento de dinoflagelados tóxicos. Caso de *Protoceratium reticulatum*. En: Gilabert J. (Ed.) *Actas IX Reunión Ibérica sobre Fitoplancton Tóxico y Biotoxinas*. <https://repositorio.upct.es/server/api/core/bitstreams/2b4db1ac-6d53-499d-bd54-c07c93555e13/content>
- Gómez-Luna, L., Ortega-Díaz, Y., & Tormos-Cedeño, L. (2021). Efecto del pH sobre el crecimiento y viabilidad celular de una cepa local de *Chlorella vulgaris* Beijerinck. *Tecnología Química*, 41(2), 252-276.
- Hanusz, Z., Tarasinska, J., & Zielinski, W. (2016). Prueba de Shapiro-Wilk con media conocida. *REVSTAT-Statistical Journal*, 14(1), 89–100. <https://revstat.ine.pt/index.php/REVSTAT/article/view/180/176>
- Hernández Rivera, C. I., Alamirano Perez, M. R., & Mendoza Mendoza, K. L. (2020). Densidad fitoplanctónica y cantidad de fósforo, carbono y nitrógeno en el Lago de Apanás, Jinotega, 2019. *Ciencia e Interculturalidad*, 27(02), 147–158. <https://doi.org/10.5377/rci.v27i02.10439>
- Hernández Rivera, C. I., Cerros Cruz, K. J., Regalado García, V. G., Rodríguez Hernández, W. J., & Altamirano Pérez, M. R. . (2022). Diversidad y abundancia de microalgas en las aguas del Lago de Apanás, Jinotega junio-noviembre 2019. *Revista Universitaria Del Caribe*, 29(02), 65 – 75. <https://doi.org/10.5377/ruc.v29i02.15239>
- Khalil, Z. I., Asker, M. M. S., El-Sayed, S., & Kobbia, I. A. (2010). Effect of pH on growth and biochemical responses of *Dunaliella bardawil* and *Chlorella ellipsoidea*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 26(7), 1225-1231. <https://doi.org/10.1007/s11274-009-0292-z>
- Kim, J., Lee, J.-Y., & Lu, T. (2014). Effects of dissolved inorganic carbon and mixing on autotrophic growth of *Chlorella vulgaris*. *Biochemical Engineering Journal*, 82, 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2013.11.007>
- López, J. (2019). *Cultivo Acuapónico Guía Especializada*. The United Nations Institute for Training and Research. <https://cifalmalaga.org/wp-content/uploads/2020/04/2019.11.07-LIBRO-ACUAPONIA.pdf>
- Manoharan, R., Somanathan Nair, C., Nishanth, D., Subramanian, R., Ahmed, Z., Rastrelli, L., Xie, X.-L., Ren, M.-Z., & Jaleel, A. (2025). Harnessing microalgae for sustainable nutrition and ecosystem services in aquaponic systems: A blue–green approach to ecosystem health. *Frontiers in Marine Science*, 12, article 1661042. <https://doi.org/10.3389/fmars.2025.1661042>
- Moreno, J. R., Medina, C. D., & Albarracín, V. H. (2012). Aspectos ecológicos y metodológicos del muestreo, identificación y cuantificación de cianobacterias y microalgas eucariotas. [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/17160/CONICET\\_Digital\\_Nro.5620\\_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/17160/CONICET_Digital_Nro.5620_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Moronta, R., Mora, R., & Morales, E. (2006). Respuesta de la microalga *Chlorella sorokiniana* al pH, salinidad y temperatura en condiciones axénicas y no axénicas. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 23(1), 28–43.



- Navarrete, P. (2015). Relación entre las variables fisicoquímicas y la concentración de microalgas en la laguna de Monte Redondo. [Tesis de grado, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/b8fe6456-5e6c-47fd-b95b-ff02d07ee8a9/content>
- Porras Velázquez, A. (2017). *Tipos de muestreo*. Diplomado en Análisis de Información Geoespacial. CentroGeo. Repositorio Institucional CentroGeo. <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1012/163>
- Palma, M., & Fernandez, M. (2017). Diseño y construcción de dos sistemas acuapónicos horizontales para la producción conjunta de peces dorados y lechugas. [Tesis de grado, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/server/api/core/bitstreams/e9ebe4aa-fa0d-4ea5-a81687e204463c9b/content>
- Pérez, Y. (2021). Diseño de un sistema acuapónico en la granja acuícola de la Facultad de Ciencia Animal de la Universidad Nacional Agraria, agosto a febrero 2021. (Tesis, Universidad Nacional Agraria). Repositorio Institucional, RIUNA. <https://repositorio.una.edu.ni/4318/>
- Rico, H., & Arana, F. (2021). Técnicas de muestreo y preservado de algas marinas (microalgas, macroalgas y plantas vasculares marinas). (Tesis, Universidad Autónoma de Baja California). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14112.30725>
- Rocha, G. A. O., Vergel, S. J. N., Arias, L. G., Giraldo, Y. R., & Villagran, E. (2022). La técnica del cultivo sin suelo y su contribución al mejoramiento tecnológico de la agricultura bajo cubierta: Un análisis bibliométrico. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 7053–7074. <https://www.ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/3887/5901>
- Rosas, M. G., Loeza, R. P., Magaña, J. J. V., Castillo, J. M. S., del Rivero, C. A. L., & Corbalá-Bermejo, J. A. (2022). Cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) en tubos de recirculación acuapónica. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 9(1), 1-11. <http://reibci.org/publicados/2022/abr/4500105.pdf>
- Sun, Z., Bo, C., Cao, S., & Sun, L. (2025). Enhancing CO<sub>2</sub> fixation in microalgal systems: Mechanistic insights and bioreactor strategies. *Marine Drugs*, 23(3), 113. <https://doi.org/10.3390/md23030113>
- Thiviyanathan, V. A., Ker, P. J., Amin, E. P. P., Tang, S. G. H., Yee, W., & Jamaludin, M. Z. (2023). Quantifying Microalgae Growth by the Optical Detection of Glucose in the NIR Waveband. *Molecules*, 28(3), 1318. <https://doi.org/10.3390/molecules28031318>
- Veiga de Cabo, J., Fuente Díez, E. de la, & Zimmermann Verdejo, M. (2008). Modelos de estudios en investigación aplicada: conceptos y criterios para el diseño. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 54(210), 81–88.
- Zieliński, M., Dębowski, M., Kazimierowicz, J., & Świca, I. (2023). Microalgal carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) capture and utilization from the European Union perspective. *Energies*, 16(3), 1446. <https://doi.org/10.3390/en16031446>