

Aprovechamiento de lodos residuales generados en un sistema de acuaponia como mejorador en suelo de cultivo



Marco Arturo Arciniega Galaviz¹

David Valdez Martínez²

Pedro Hernández Sandoval³

DOI: <https://doi.org/10.62457/8fnmfw29>

Recibido: 29/09/2024

Aceptado: 27/11/2024

Resumen

Uno de los principios de la economía circular es aprovechar al máximo todos los recursos y evitar así darles una disposición final sin ser aprovechados, por ejemplo, los lodos generados en los filtros de un sistema de acuaponia pueden ser utilizados como un biofertilizante, los cuales pueden aportar nutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio a los suelos utilizados para cultivo. El objetivo de esta investigación fue determinar si los lodos residuales generados en un sistema de acuaponia son factibles de empelarse como mejorador de suelo en el cultivo de rábano. Se prepararon seis diferentes suelos mezclando el lodo con suelo natural en diferentes proporciones para obtener distintos porcentajes de materia orgánica 2.5%, 3%, 9%, 15%, 21% y 27%. De acuerdo con los resultados, los tratamientos con mezclas de lodo residual y suelo que contenían porcentajes bajos de materia orgánica (2.5%, 3% y 9%) se pudo germinar un mayor número de semillas de rábano y las plantas tuvieron un mejor crecimiento. Es importante el aprovechamiento del lodo residual generados en los sistemas de acuaponia, ya que tienen porcentajes altos de materia orgánica y nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, que pueden ser utilizados para cultivo agrícolas.

Palabras clave: *Economía Circular, Biofertilizante, Materia Orgánica*

1 Doctor en Ciencias en Desarrollo Sustentable de Recursos Naturales. Profesor de Tiempo Completo en el Departamento Académico de Ingeniería y Tecnología, UR Los Mochis de la Universidad Autónoma de Occidente. Correo electrónico: marco.arciniega@uadeo.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8532-7130>.

2 Doctor en Sustentabilidad. Profesor adscrito al el Departamento Académico de Ingeniería y Tecnología, UR Los Mochis de la Universidad Autónoma de Occidente. Correo electrónico: david.valdez@uadeo.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9471-4001>.

3 Profesor de Tiempo Completo adscrito al Departamento Académico de Ciencias Naturales y Exactas y al Programa Educativo de Biología de la Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Los Mochis. Correo electrónico: pedro.hernandez@uadeo.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7005-4555>.

Abstract

One of the principles of the circular economy is to make the most of all resources and thus avoiding giving them a final disposal without being taken advantage of, for example, the sludge generated in the filters of an aquaponics system can be used as a biofertilizer, which can provide nutrients such as nitrogen, phosphorus and potassium to the soils used for cultivation. The objective of this research was to determine if the sewage sludge generated in an aquaponics system is feasible to be used as a soil improver in radish cultivation. Six different soils were prepared by mixing the sludge with natural soil in different proportions to obtain different percentages of organic matter 2.5%, 3%, 9%, 15%, 21% and 27%. According to the results, treatments with mixtures of sewage sludge and soil containing low percentages of organic matter (2.5%, 3% y 9%) resulted in a greater number of radish seeds being germinated and the plants had better growth. It is important to take advantage of the sewage sludge generated in aquaponics systems, since they have high percentages of organic matter and nutrients such as nitrogen, phosphorus and potassium, which can be used for agricultural crops.

Keywords: *Circular Economy, Biofertilizer, Organic Matter*

Introducción

Los sistemas de acuaponia están formados por un componente acuícola y un componente hidropónico, en la parte acuícola se desarrolla el cultivo de peces y en el arte hidropónica el cultivo de plantas (Ramírez et al, 2008). Estos dos componentes se unen mediante un sistema de recirculación de tal manera que los desechos metabólicos generado por los peces y restos de alimentos son aprovechados por las plantas para su crecimiento ya que los desechos son ricos en nutrientes, en los sistemas de acuaponia, el agua que se obtiene del sistema hidropónico es recirculado al sistema acuícola libre de nutrientes, por lo que se considera un sistema cerrado (Muñoz, 2012).

Estos sistemas ofrecen una serie de ventajas sobre aquellos sistemas de recirculación en los que solo se producen peces. Los desechos metabólicos disueltos en el agua son absorbidos por las plantas, reduciendo así la tasa de recambio de agua diario y su descarte hacia el ambiente; mientras que en el sistema de recirculación tradicional se trabaja con un recambio de agua del 5% al 10 % diario para evitar la acumulación de desechos metabólicos. En el acuapónico, por el contrario, la mayoría trabaja solo con un 1.5 % de recambio de agua diario o menos (Mc Murtry, 1997). Esto se traduce en menores costos operativos del sistema y sumado a ello, los sistemas acuapónicos tienen una segunda producción de plantas, aumentando así, la rentabilidad productiva (Cifuentes, 2023).

Los primeros ensayos publicados en acuaponía se remontan a la década de los setenta, donde se demostró que los desechos metabólicos que los peces generaban podían ser utilizados para el cultivo de plantas, en forma hidropónica (Lewis, 1978). Sin embargo, no fue

sino hasta la década de los noventa que se empezaron a obtener datos concretos aplicables a producciones comerciales.

Los sistemas de acuicultura más efectivos en términos ecológicos son los recirculantes, como la acuaponía, la cual se caracteriza por la cría de peces en zonas interiores, utilizando tanques con un ambiente controlado, donde se purifica el agua mediante la eliminación de los desechos metabólicos (filtración), (Ahmed and Turchini, 2021) y el agua pasa por un filtro biológico, antes de recircular nuevamente por el sistema. Es por ello, que tiene un menor consumo de agua, mejora la gestión de los desechos y recicla los nutrientes (Gobierno de México, 2018).

Aunque se ha dicho que la acuaponía es un sistema cerrado, existe un residuo que se genera en los filtros que retienen sólidos que salen del sistema acuícola y son retenidos en filtros antes de que el agua entre al sistema hidropónico, éste residuo es un lodo formado por excretas de los peces y restos de alimento que no fue aprovechado (Orrego, 2018). Los lodos son retirados del sistema a través de la limpieza que periódicamente se da a los filtros. Estos lodos en lugar de ser desechados como un residuo pueden ser aprovechados como un mejorador de suelos de cultivo debido al alto porcentaje de nutrientes que pudieran tener como son el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). (Aguirre, 2023).

Al aprovechar los residuos generados en un proceso, se está aplicando la economía circular que establece un modelo de producción y consumo más sostenible, en el que las materias primas se mantienen más tiempo en los ciclos productivos y pueden aprovecharse de forma recurrente, procurando con ello generar muchos menos residuos. De esta forma no solo se aprovecha el agua almacenada en los sistemas de acuaponía si no también los lodos residuales como mejorador de suelo para uso agrícola.

Uno de los principios de la economía circular es aprovechar al máximo todos los recursos, que la generación de residuos sea el mínimo y en caso de que se generen residuos utilizarlos como materia prima para otros procesos, en base a lo anterior (Espinoza, 2023), los lodos generados en los filtros de un sistema de acuaponía pueden ser aprovechados para utilizarlos como un biofertilizante el cual puede aportar de manera considerable nutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio a los suelos utilizados para el cultivo.

Por ejemplo, Zabotto et al (2018) utilizaron lodo residual como fertilizante en eucalipto en Brasil por poseer alto contenido de materia orgánica, macro y micronutrientes, puede ser aprovechado en plantaciones forestales como suplemento fertilizante o mejorador del suelo, siendo una alternativa interesante para su destino final y reciclaje.

El objetivo de ésta investigación fue aprovechar lodos residuales generados en un sistema de acuaponía como mejorador de suelos de cultivo, para el monitoreo del lodo como un biofertilizante se desarrolló un cultivo de rábano ya que es una planta de rápido crecimiento.

to, su germinación es de 3 a 6 días, y está adaptada a las condiciones climáticas del norte de Sinaloa.

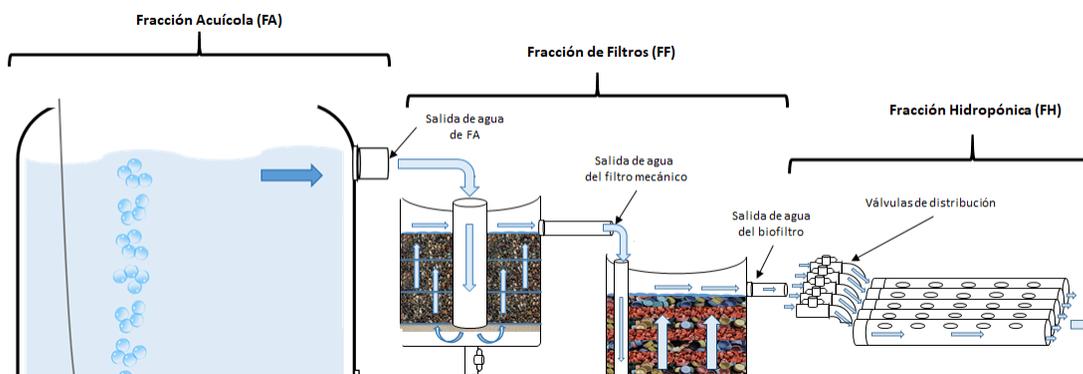
Materiales y métodos

La investigación fue de tipo experimental con un enfoque cuantitativo la cual se desarrolló en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad Autónoma de Occidente unidad regional, Los Mochis.

Descripción del sistema acuapónico

El sistema de acuaponía fue constituido por tres fracciones; Fracción Acuícola (FA), Fracción de Filtros (FF) y Fracción Hidropónica (FH), con longitud total de 3.5m y 1m de ancho, lo que permite clasificarlo como un sistema a pequeña escala (Figura 1). La Fracción Acuícola consistió en un contenedor (tote) de capacidad de 1000L con área de superficie de 1 m². La Fracción de Filtros contaba con dos tipos de sistema de filtrado, uno mecánico para la remoción de sólidos y un filtro biológico (biofiltro) para el proceso de nitrificación, ambos contenedores para los filtros (mecánico y biológico) fueron cubetas de plástico de 5 galones de volumen conectados entre sí. Para FH se utilizó la técnica de película nutritiva (NFT por sus siglas en inglés) creado con cinco tubos de PVC sanitario de 4" de diámetro y 2 m de largo. El flujo del agua daba inicio en FA cuando alcanzaba el nivel de salida por la parte superior del contenedor, entrando al filtro mecánico y posteriormente al biofiltro, una vez el agua pasaba por los filtros, se distribuía a través de un sistema de cinco válvulas conectadas a la fracción hidropónica para circular por los tubos de PVC, hasta caer a un contenedor (caja de plástico) a nivel del suelo, donde el agua era bombeada de nuevo a FA, a un flujo constante (1.5 L/min) con ayuda de una bomba sumergible (Evans®; Aqua 30 W, 127V), generando el proceso de recirculación constante.

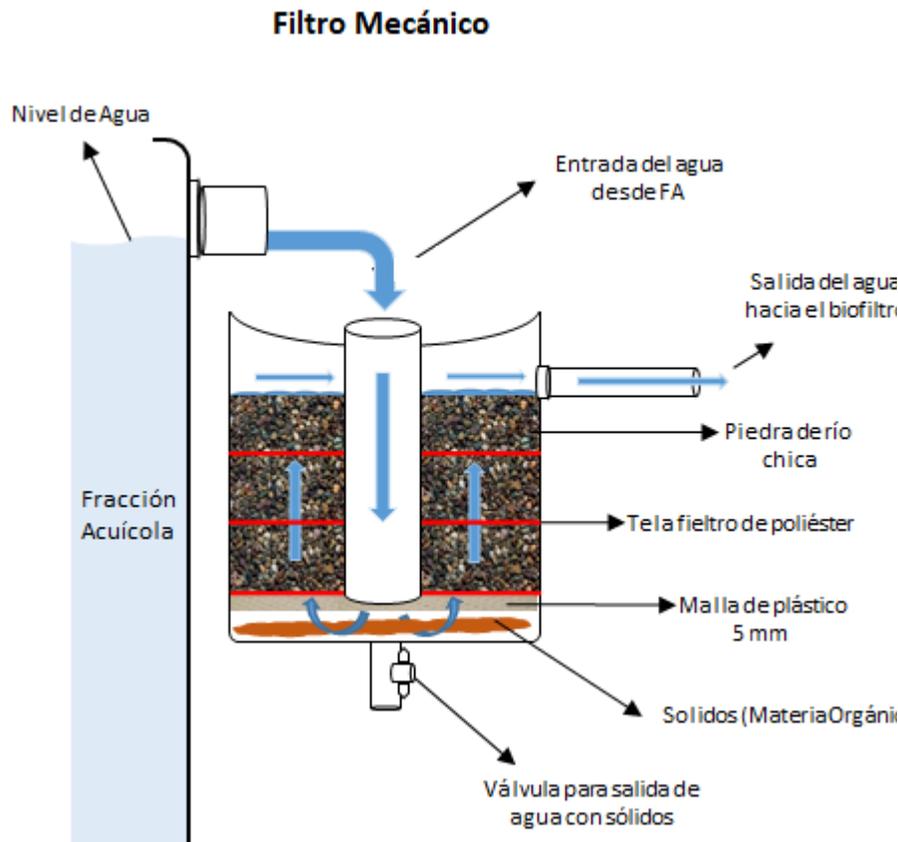
Figura 1. Diseño del sistema acuapónico a pequeña escala. Las flechas azules indican la dirección del flujo del agua. Fuente: Adaptado de Valdez-Martínez (2024).



Fuente: Elaboración propia

La obtención de lodos fue a través de la recolección de sólidos que eran retenidos en el filtro mecánico, cuyo diseño específico se muestra en la Figura 2. El material filtrante estaba compuesto por piedra de río (40-70 mm de diámetro) y tres capas de tela fieltro liso 100% poliéster (5 μ luz de malla), contaba con falso fondo hecho de malla de plástico con cuadrícula de 5 mm, a una separación de 2 cm del fondo, permitiendo la acumulación de materia orgánica. En medio del material filtrante tenía un tubo de PVC sanitario de 4" de diámetro, para la entrada del flujo de agua proveniente de FA y posteriormente pasar por la piedra y la tela, reteniendo los sólidos. Adicionalmente el filtro contaba con una válvula en la parte inferior para facilitar la obtención de los sólidos acumulados.

Figura 2. Diseño y componentes del filtro mecánico en el sistema de acuaponía. Las flechas azules indican la dirección del flujo del agua. Fuente: Adaptado de Valdez-Martínez (2024).



Fuente: Elaboración propia

Recolección de lodo y tierra

Se realizó una limpieza de filtros en el sistema de acuaponía durante un mes con el fin de obtener un total de 1.5 kg de lodo (Figura 3), el cual se recolectó en vasos de precipitado con capacidad de 500 mililitros y se refrigeró a una temperatura de 10°C.

Figura 3. Recoleccion de los lodos acumulados en el filtro en el sistema de acuaponia.



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se recolectaron 5 kg de suelo basándose en la facilidad de acceso y cercanía al laboratorio donde se llevaron a cabo el análisis de las propiedades químicas y físicas del lodo y el suelo (Figura 4).

Figura 4. Suelo recolectado para mezclarse con el lodo del filtro de acuaponia.



Fuente: Elaboración propia

Realización de mezclas

Para comparar la eficacia del lodo como fertilizante se elaborarán 5 mezclas de lodo y suelo de tal manera que los porcentajes de materia orgánica fueron de 3%, 9%, 15%, 21% y 27%. Las cantidades de lodo y suelo se calcularán por medio de un balance de materia con base en la cantidad de materia orgánica que se espera obtener en cada mezcla.

El suelo utilizado para mezclarlo con el lodo presentó un % de materia orgánica de 2.5% y el lodo recuperado del sistema de acuaponia contaba con 76% de materia orgánica. Las cantidades de suelo y lodo que fueron mezcladas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. *Cantidades de suelo y lodo para obtener los distintos porcentajes de materia orgánica*

Porcentaje de Materia Orgánica	Cantidad de suelo (gramos)	Cantidad de biomasa (gramos)
3%	28.5703	1.4297
9%	26.12	3.88
15%	23.6684	6.3316
21%	21.2174	8.7826
27%	18.7664	11.2336

Fuente: elaboración propia

Análisis de muestras

Para una mejor comparación entre mezclas se analizaron nitrógeno, potasio, fosforo y el porcentaje de materia orgánica.

Nitrógeno (N): el análisis se realizó por medio del método de reducción de cadmio usando una almohadilla de reactivo en polvo de nitrato NitraVer 5 marca HACH para cada muestra las cuales se leerán en el espectrofotómetro HACH. Para realizar la medición de nitrógeno se pesaron 5 gr de muestra en una balanza analítica, la muestra se agregó a una probeta de 25 mL a la cual se le añadió 15 mL de sulfato de calcio y se agitó de forma mecánica durante 15 min, se filtró con un papel filtro 150 mm y se tomaron 0.4 mL del extracto filtrado, para terminar se le agregó una almohadilla de polvo de nitrato NitraVer 5 y 24.6 mL de alcohol polivinílico, se agitó de forma manual, el contenido de la probeta se pasaron a una celda y se tomó la lectura en el espectrofotómetro.

Potasio (K): para realizar el análisis de potasio se necesitaron 5 gr de muestra y 25 mL de acetato de amonio 1N, se agitó mecánicamente durante 15 min, después se tomaron 3 mL de alícuota y se pasaron a una probeta de 25 mL a la cual se le añadió 22 mL de agua destilada, se agitó manualmente y se añadió una almohadilla de Potasio 2 marca HACH; después se le añadió 3 mL de EDTA alcalino, se agitó y se dejó en reposo durante 3 minutos. A la probeta se le añadió una almohadilla de Potasio 3 marca HACH, se agitó manualmente durante 10 segun-

dos y se dejó en reposo durante 3 minutos. Para finalizar, se pasó el contenido de la probeta a una celda para leer la cantidad de potasio en el espectrofotómetro.

Fosforo (P): se obtuvo la cantidad de potasio en suelo y lodo mediante el espectrofotómetro usando el método del azul de molibdeno en donde se requirió una almohadilla de reactivo en polvo de fosfato PhosVer 3 marca Hash por cada muestra a analizar. Para realizar este método se requirió 1 gr de muestra y 20 gr de bicarbonato Olsen, después se agitó mecánicamente durante 15 min, se filtró con un papel filtro de 150 mm y en una probeta de 25 mL se le añadió 0.1 mL del extracto filtrado, 25 mL de agua destilada y una almohadilla de fosfato PhosVer 3, se agitó manualmente y después se vertió en una celda para realizar la lectura del Fosforo en el espectrofotómetro.

Porcentaje de Materia Orgánica (%M.O.): se analizó mediante el método de oxidación húmeda desarrollado por Walkley y Black en 1934, en el cual se pesó 0.5 gr de muestra con el uso de una balanza analítica marca OHAUS Modelo YS202, la muestra se pasó a un matraz Erlenmeyer de 250 mL al cual se le agregaran 10 mL de una solución de dicromato de potasio 1N en medio ácido, se agitó manualmente, después se adicionó 40 mL de ácido sulfúrico concentrado, la mezcla se agitó durante 30 segundos y se dejó reposar 45 minutos, al finalizar la muestra tuvo un color verdoso el cual se leyó en el espectrofotómetro para conocer el porcentaje de materia orgánica.

Sembrado

Se compró una bolsa de semillas de rábano marca Vita, el sembrado de las semillas se realizó en una charola para invernadero de unicel con 150 cavidades contando con 3 repeticiones de las 5 mezclas, con un total de 15 cultivos de rábano (Figura 5).

Figura 5. Colocación de las mezclas de suelo y lodo con distintos porcentajes de materia orgánica en el germinador.



Fuente Elaboración propia.

Con base en las instrucciones de la bolsa de semillas, se llenó el compartimiento de la mezcla y se colocaron 3 semillas en cada compartimiento ejerciendo poca presión en cada una de ellas con el fin de que la semilla quede aproximadamente 1 cm cubierta de mezcla (Figura 6).

Figura 6. Colocación de las semillas en los germinadores y riego constante del suelo con lodo.



Fuente: Elaboración propia

Los cultivos se regaron con un atomizador con capacidad de 1 ltr. los días; lunes, miércoles y viernes durante un mes cuidando que las mezclas se mantengan húmedas y con luz solar suficiente para su crecimiento.

Biometrías

Para comparar la efectividad del lodo en base al porcentaje de materia orgánica en las mezclas, se realizaron biometrías en donde se midió el número de semillas germinadas, y la altura del largo del tallo en centímetros, estas mediciones se realizaron los lunes, miércoles y viernes de cada semana durante un mes a partir de la germinación del rábano (Figura 7).

Figura 7. Biometrías a las plantas de rábano germinadas.

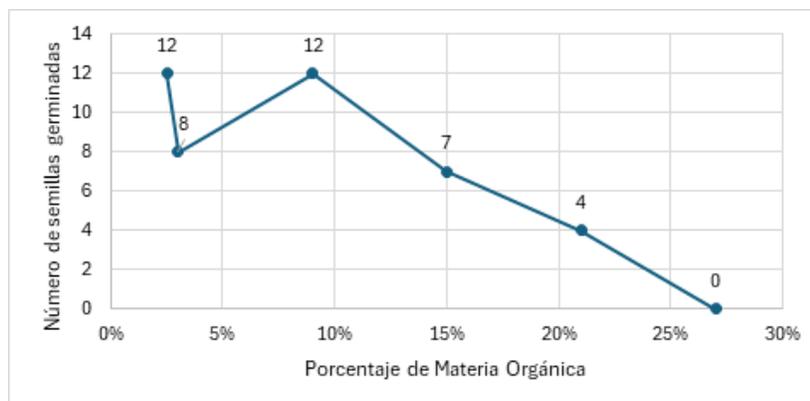


Fuente: Elaboración propia.

Resultados

En los resultados se muestran por medio de gráficas la cantidad de semillas germinadas para cada tratamiento, así como el crecimiento de las plantas de rábano al medirse la altura de cada una de ellas. En la Figura 8, se muestran el número de semillas germinadas por cada mezcla de suelo-lodo identificándose por medio del porcentaje de materia orgánica (3%, 9%, 15%, 21% y 27%) así como el número de semillas germinadas en tratamiento con solo suelo (2.5% de materia orgánica).

Figura 8. Numero de semillas germinadas.



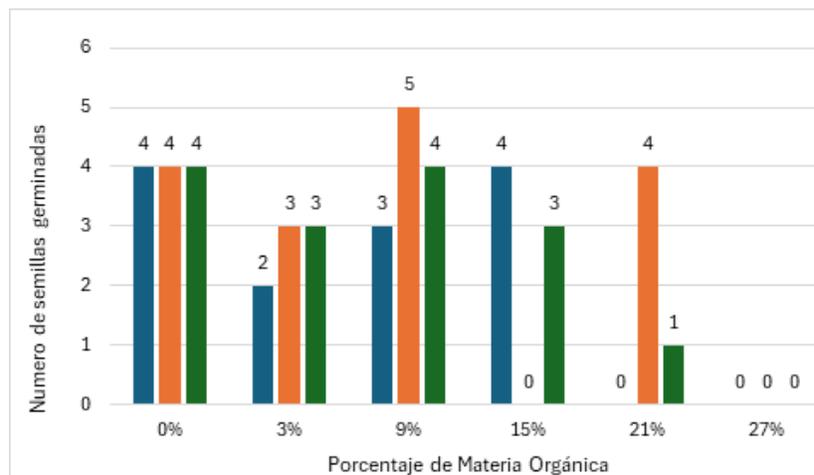
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que le mayor número de semillas germinadas se presentaron en los

suelos donde el porcentaje de materia orgánica (MO) es menor (2.5%, 3% y 9%). De acuerdo a Lomelí (2021), un suelo con un porcentaje de 5%, se considera un suelo rico en materia orgánica, mientras que un suelo con índices de materia orgánica por debajo de 2% lo conveniente es aplicar materia orgánica. Según (Sela, 2024), un porcentaje alto de materia orgánica en los suelos reduce la aporta nutrientes, principalmente nitrógeno, fósforo y azufre. Esto es resultado de la mineralización de nutrientes y disminuye la absorción de nutrientes por las plantas (quelación de micronutrientes). Lo anterior explica que el mayor número de semillas germinadas se dio entre los porcentajes más bajos de materia orgánica, mientras que en los porcentajes altos de 15%, 21% y 27%, el número de semillas germinadas fue bajo, tanto que para 27% de MO no hubo germinación.

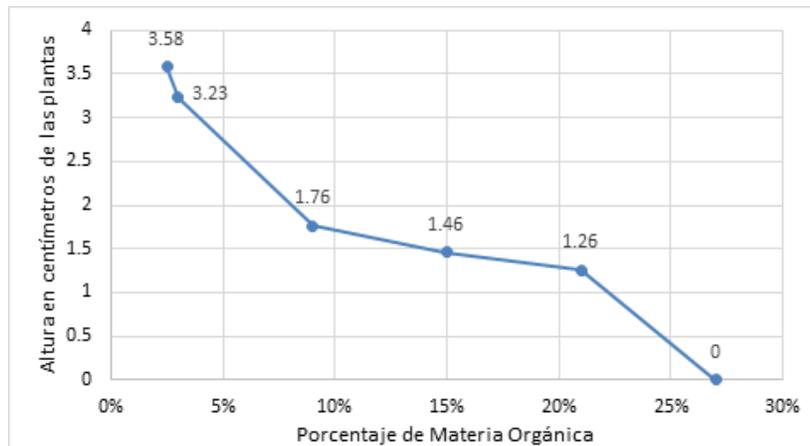
De igual manera en la Figura 9, se muestran manera de barras las semillas germinadas para cada tratamiento y para cada replica, en la réplica número 2 y un porcentaje de materia orgánica de 9, las cinco semillas plantadas germinaron.

Figura 9. Numero de semillas germinadas en cada tratamiento y en cada réplica.



Fuente: Elaboración propia

A cuatro días de haberse plantado la semilla de rábano, se empezaron a observar las primeras plántulas, se esperó cuatro días más para poder empezar a medir la altura de los tallos de plantas nacidas. En la Figura 10, se muestran los promedios de los centímetros alcanzados para cada tratamiento de 2.5%, 3%, 9%, 15%, 21% y 27%.

Figura 10. Promedio del crecimiento de las plantas de rábano.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con Labiser (s.f), la presencia de la materia orgánica en los suelos presenta muchos beneficios, uno de ellos es que aporta una gran cantidad de nutrientes como fósforo, nitrógeno y potasio, los cuales libera de manera gradual, estabiliza el potencial de hidrógeno (pH) lo cual es un factor importante en los suelos agrícolas para que las plantas puedan crecer y desarrollarse de manera robusta. Aunque la MO representa beneficios importantes, un exceso de ésta podría generar ácidos húmicos que impiden el desarrollo correcto de las plantas debido a la disminución del pH en el suelo. Podríamos decir que los tratamientos con MO elevada generaron ácidos húmicos que bajaron el potencial de hidrógeno y afectó el nacimiento y crecimiento de las plantas.

Conclusiones

El aprovechamiento de los residuos generados en los procesos evita que sean desechados de manera definitiva y por lo tanto no podrán ser aprovechados, esta nueva forma de actuar conduce a una economía circular, en donde se convierten a los procesos en sustentables.

El aprovechar los lodos generados en los filtros de los sistemas acuapónicos, permite evitar que los lodos puedan convertirse en una materia prima para el cultivo de plantas ya que al contener grandes cantidades de nutrientes puede aportarlos para el mejor crecimiento y desarrollo de las plantas.

Porcentajes de hasta 9% de materia orgánica ayudó a un mayor número de semillas germinadas, mientras que, en porcentajes altos, el número fue mínimo. Aunque los tratamientos se realizaron con semillas de rábano, es aconsejable seguir con la investigación para estudiar el efecto del lodo residual en diferentes cultivos al rábano, como pueden ser el cilantro, lechuga, chile, entre otros.

Los resultados obtenidos hasta ahora comprueban que, si es una opción viable el uso de los lodos residuales como un mejorador de suelo, es necesario estudiar otras variables que son influencias por el contenido de la materia orgánica, como el monitoreo del potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica, textura del suelo y contenido de humedad.

Al lograr un tratamiento que permita aprovechar los lodos residuales de un sistema de acuaponía de una manera eficaz, se estaría encaminado a una economía circular en donde se producen residuos de lodos con altos contenidos de materia orgánica.

Referencias bibliográficas

- Aguirre Gómez, F.(2023) Absorción de nitrógeno, fósforo y potasio de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en acuaponía con tilapia (*Oreochromis niloticus*). [Tesis Maestría, Universidad Nacional Hermilio Valdizán Escuela de Posgrado Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Perú] Recuperado de: https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/9141/T023_72107714_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ahmed and Turchini, 2021 N. Ahmed, G.M. Turchini. Recirculating aquaculture systems (RAS): Environmental solution and climate change adaptation *Journal of Cleaner Production*, 297 (2021), p. 126604, 10.1016/j.jclepro.2021.126604
- Cifuentes, A. A., Leguizamón, A. K., Zambrano, J. A. y Landines, M. A. (2023). Factores clave y tendencias en los sistemas acuapónicos: revisión de literatura. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 70(3), e107673. <https://doi.org/10.15446/rfm-vz.v70n3.107673>.
- Espinoza H, Andy. (2023). Economía Circular: Una Aproximación a su Origen, Evolución e Importancia como Modelo de Desarrollo Sostenible. *Revista de Economía Institucional*, 25(49), 109-134. Epub November 02, 2023.<https://doi.org/10.18601/01245996.v25n49.06>
- Gobierno de México. (2018). Acuaponía, una alternativa sustentable para la producir plantas y peces. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Recuperado de: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/acuaponia-una-alternativa-sustentable-para-la-producir-plantas-y-peces>
- Labiser (s.f). El Poder de la Materia Orgánica en la Agricultura. Recuperado por: <https://labiser.es/materia-organica-en-agricultura/>
- Lewis, W. M.; Yopp, J. H.; Schramm, H. L.; Brandenburg, A. M., 1978. Use of hydroponics to maintain quality of recirculated water in a fish culture system. *Transactions of the American Fisheries Society*. 107:92–99.

- Lomelí, M. (2021). Materia orgánica, un pequeño porcentaje muy importante del suelo. Micorizas Suppra. Recuperado de: <https://gatkex.com/materia-organica-un-pequeno-porcentaje-muy-importante-del-suelo/>
- McMurtry M.R., Sanders D.C., Cure J.D., Hodons R.G., Haning B.C., Amand P.C. 1997. Efficiency of water use of an integrated fish/vegetable co-culture system. *Journal of the World Aquaculture Society* 28: 420-428.
- Muñoz Gutiérrez, M. E. (2012). Sistemas de recirculación acuapónicos. *Informador Técnico*, 76, 123. <https://doi.org/10.23850/22565035.36>.
- Orrego, R. (2018). Lodos de piscicultura y su potencial uso como fertilizante orgánico: condiciones sanitarias y ambientales. *Salmonexpert*. Recuperado de: <https://www.salmonexpert.cl/lodos-de-piscicultura-y-su-potencial-uso-como-fertilizante-orgnico-condiciones-sanitarias-y-ambientales/1259650>
- Ramírez, D. Sabogal, D y Hurtado, H. (2008). *Acuaponía: una Alternativa Orientada al Desarrollo Sostenible*. Revista Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Militar Nueva Granada. Recuperado de: https://www.google.com/search?q=acuaponia&sca_esv=2b87a3a822bbb138&sca_upv=1&hl=es419&sxsrf=ADLYWIIHsgFkAGrgIYTRIs-jqyZxT909Q:172762091865&ei=Cwj6Zu9NP_YkPIPgZvMQs&start=10&sa=N&ssk=agsujD7hh5oMRN20n3ErNNGUwHxDP7DxHHrELFC3kJMTF0FZvx7d0s_9u5o-qhG9npCQ5cgsdC5lX53VkES53MIPv3XaLV_YLHBg&ved=2ahUKEwiv75vqyumI-AxV_LEQIHYENM78Q8tMDegQIBhAE&biw=1366&bih=607&dpr=1
- Sela, G. (2024). Potasio en las Plantas. Cropaia. España. Recuperado de: <https://cropaia.com/es/blog/potasio-en-las-plantas/>
- Zabotto, Alessandro Reinaldo, Zuñiga, Enrique Alonso, Ruiz Machuca, Luz María, Broetto, Fernando, Reis Tavares, Armando, & Kanashiro, Shoey. (2019). Uso de lodos residuales como fertilizante en eucalipto - diagnóstico de investigación. *Idesia (Arica)*, 37(2), 103-108. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019000200103>.