

Producción de acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.) con efluente del cultivo de robalo (*Centropomus viridis*) en un sistema acuapónico Production of swiss chard (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.) with snook (*Centropomus viridis*) culture effluent in aquaponic system

Ramón Jaime Holguín-Peña¹ , Daniel Ruiz-Juárez²  y
Diana Medina-Hernández¹ 

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Av. Instituto Politécnico Nacional No. 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Sur. 23096 La Paz, Baja California Sur, México.

[‡] Autora para correspondencia (dmedina@cibnor.mx)

² Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, Departamento de Producción Agrícola y Animal. Calzada del Hueso No. 1100, Col. Villa Quietud. 04960 Coyoacán, Ciudad de México, México.

Editor de Sección: Dr. Ramon Jaime Holguín Peña

RESUMEN

En los ecosistemas de zonas áridas y semiáridas la producción de alimentos es cada vez más compleja. Uno de los efectos más importantes es la desertificación donde el agua tiene un papel primordial. Por lo que, buscar estrategias de producción de alimento inocuo y de forma sustentable, es el reto actual. La producción de alimento mediante acuaponía es una alternativa para dar respuesta a esta problemática. En la Península de Baja California, las bajas precipitaciones anuales y las características geográficas hacen de forma natural que el agua sea escasa; pero si a esto se le suma el factor antropogénico, tenemos como resultado, acuíferos en su mayoría salobres. Bajo este contexto se analizó la eficiencia en el uso del efluente del cultivo de robalo, en el crecimiento de la acelga, en un sistema acuapónico. Se midieron los parámetros fisicoquímicos del efluente del robalo y cómo influyen en la respuesta morfológica en la acelga bajo sistema hidropónico. La respuesta se comparó con un sistema tradicional con efluente de agua de pozo y con fertilización convencional. Se obtuvo mayor crecimiento en las plantas en sistema hidropónico, pero con efluente de agua de cultivo de robalo (con diferencia significativa en longitud, biomasa, área foliar y número de hojas). Este estudio demostró la eficiencia del uso del efluente del cultivo de robalo en el crecimiento y desarrollo de la acelga. Este conocimiento generará futuras investigaciones con aplicación en innovación biotecnológica que podrán ser empleadas por la sociedad, con beneficios por la capacidad de cultivar especies de calidad en densidad, aprovechar los nutrientes, controlar la disponibilidad de agua, aprovechar y mejorar las condiciones climáticas. Consideramos que este modelo robalo-acelga es ideal para los sistemas de producción con sustentabilidad.

Palabras clave: hortalizas, morfometría, seguridad alimentaria, zonas áridas.

SUMMARY

In the ecosystems of arid and semi-arid zones, food production is increasingly complex. One of the most important effects is desertification where water plays a key role. Therefore, seeking strategies for the production of safe and sustainable food is the current challenge. The production of food through aquaponics is an alternative to respond to this problem. In the Baja California Peninsula, the low annual rainfall and the geographical characteristics naturally make water scarce; but if also add anthropogenic factor, we have as a result, mostly brackish aquifers. In this context, was analyzed, the efficiency in the use of snook culture effluent, in the growth of



Cita recomendada:

Holguín-Peña, R. J., Ruiz-Juárez, D., & Medina-Hernandez, D. (2023). Producción de acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.) con efluente del cultivo de robalo (*Centropomus viridis*) en un sistema acuapónico. *Terra Latinoamericana*, 41, 1-11. e1683. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1683>

Recibido: 24 de enero de 2023.

Aceptado: 17 de abril de 2023.

Artículo. Volumen 41.

Agosto de 2023.

chard, in a aquaponic system. Were measured the parameters physicochemical of the snook culture effluent and how they influence the morphometric response in chard under hydroponic system. Was compared the response with a traditional system with well water effluent and conventional fertilization. Obtained greater growth in the plants in the hydroponic system, but with snook culture effluent (with a significant difference in length, biomass, leaf area and number of leaves). This study demonstrates the efficiency of the use of snook culture effluent in the growth and development of chard. This knowledge will generate future research with application in biotechnological innovation that can be used by society, with benefits due to the ability to grow species of quality in density, take advantage of nutrients, control water availability, take advantage and improve climatic conditions. We believe that this model snook-chard is ideal for sustainable production systems.

Index words: *vegetables, morphometry, food safe, arid zone.*

INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) definió la acuaponía como una combinación entre acuicultura y la hidroponía para la producción combinada de alimentos, estableciendo para fines prácticos las modalidades de sistema circulante o no circulante de acuerdo con el uso directo o indirecto del agua de recambio (Somerville, Cohen, Pantanella, Stankus y Lovatelli, 2014). En la actualidad se incluyen en el término algunos conceptos como sustentabilidad del sistema, eficiencia y calidad del agua, calidad de los alimentos, impacto al medio ambiente y el equilibrio de los componentes (Greenfeld, Becker, Bornman, Spatari y Angel, 2022). El acople de ambos sistemas es una estrategia en la producción de alimentos, pero se debe tener en cuenta el costo/beneficio, un buen diseño del sistema, una adecuada selección de organismos biológicos para un eficiente uso de la disponibilidad y calidad del agua, factor limitante en los sistemas de producción de zonas áridas y semiáridas (Baganz *et al.*, 2022; Arakkal Thaiparambil y Radhakrishnan, 2022).

Además, de los aspectos operativos y logísticos, las nuevas políticas en seguridad alimentaria enfocan los sistemas productivos a atender: la calidad de los sustratos, nutrición de los componentes (planta-especie acuícola), calidad proteínica e inocuidad de los alimentos producidos, especialmente aquellos relacionados con la disminución de riesgos de contaminación por agroquímicos o por microorganismos enteropatógenos que pudieran causar algún daño al ser humano (Hoevenaars, Junge, Bardocz y Leskovec, 2018; Riggio, Jones y Gibson, 2019; Stouvenakers, Dapprich, Massart y Jijakli, 2019).

Los esquemas de seguridad alimentaria contemplan no solo la disponibilidad de los alimentos, sino la calidad de estos. Este último concepto, es muy importante bajo el enfoque de dar un valor agregado a los alimentos producidos (inocuidad de los alimentos, seguridad alimentaria, sostenibilidad económica, social y ambiental) (Vagsholm, Arzoomand y Boqvist, 2020). Estos criterios de calidad implican el conocimiento adecuado de la nutrición de los componentes (especie acuícola y planta), particularmente en los procesos de nitrificación, mantenimiento adecuado del pH y el equilibrio de la carga microbiana; que influyen en la eficiencia del sistema acuapónico (Zou *et al.*, 2016; Yang y Kim, 2019; Kasozi, Abraham, Kaiser y Wilhelmi, 2021). Las ventajas de un sistema de acuaponía combinado, es que, una vez valorada la acumulación de los compuestos nitrogenados en el sistema, estos afluentes provenientes de peces son un interesante modelo de la reutilización del nitrógeno (N), reduciendo los costos de operación por el menor uso de fertilizantes y por el segundo uso del agua (Ronzón-Ortega, Hernández y Pérez, 2015).

Otro punto crítico de la eficiencia de los sistemas es el acople de las especies involucradas; las especies más comunes y de fácil adaptabilidad en zonas áridas son la tilapia (*Oreochromis niloticus*) con la producción de hortalizas (Kumar y Engle, 2016; Pinho, David, Goddek, Emerenciano y Portella, 2021). Dentro de las hortalizas más importantes en sistemas acuapónicos, en términos de productividad y comercialización se encuentran el pepino (*Cucumis sativus*), la berenjena (*Solanum melongena* L.) y el tomate (*Solanum lycopersicum* Mill) a combinación tilapia/solanáceas ha sido de las más documentadas en relación con la respuesta en el rendimiento de los peces con una significativa reducción de los compuestos nitrogenados (nitritos y nitratos) en los tanques de cultivo (Graber y Junge, 2009). De acuerdo con Silva-Ontiveros (2012¹), en un cultivo de *O. niloticus* normalmente se asimila el 41.6% del nitrógeno (N) y 65.8% del fósforo (P) total de entrada, mientras que las plantas absorben alrededor de 0.21% de nitrógeno, manteniendo la calidad del agua y del cultivo (Silva-Ontiveros, 2012¹). Las estrategias en el uso eficiente del agua y el uso de efluentes provenientes de los cultivos de peces están siendo cada vez más utilizados en los sistemas de producción intensiva (Yep y Zheng, 2019).

El Robalo (*Centropomus* spp) es menos estudiado (7%) que la tilapia (69%) (Love et al., 2015), es un modelo muy interesante por dos puntos: el primero, su capacidad osmoreguladora, es decir, tiene tolerancia a cambios bruscos de salinidad (0-36 ppt) o puede vivir en agua dulce; el segundo, es el valor comercial debido a la calidad de su carne, rica en proteína y ácidos grasos poliinsaturados (Gracia-Lopez, Rosas y Brito, 2006; Pinho et al., 2021). De las doce especies de robalo, hasta este momento la más rentable es *C. undecimalis*. Sin embargo, falta realizar más estudios en la biología, adaptabilidad de las otras especies de *Centropomus* con especial énfasis en los sistemas acuapónicos (Perera-García, Mendoza y Páramo, 2008; Alvarez-Lajonchère y Tsuzuki, 2008; Pinho et al., 2021; Baldini, Santamaría, Martínez y Ibarra, 2022).

La acelga Fordhook giant (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.), es una planta halófila con cualidades nutricionales que la hace un valioso recurso para cumplir las necesidades de alimentación; además las condiciones en cultivo agrícola convencional, hidropónico y acuapónico están bien documentados (Holguin-Pena, Medina, Ghasemi y Rueda, 2021). En un sistema salobre moderado (1.16-2 dS m⁻¹), se ha documentado que la acelga incrementa su crecimiento, ya que, el sodio y el potasio tienen un efecto en la regulación osmótica, con lo que se promueve la expansión celular que se refleja en la turgencia y el crecimiento (Kaburagi, Morikawa, Yamada y Fujiyama, 2014; Yamada, Kuroda y Fujiyama, 2016). En un sistema acuapónico en zonas áridas donde el agua puede ser salobre debido a la intrusión de agua de mar en los acuíferos, la combinación robalo-acelga puede ser una relación prometedora por las características de adaptación a aguas salobres de los dos modelos biológicos (Cardoso, 1993; Cardona, Carrillo, Huizar y Graniel, 2004; Alfarrach y Walraevens, 2018). Por lo que el objetivo del trabajo es evaluar la calidad de la acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.) utilizando los efluentes del cultivo de robalo (*Centropomus viridis*) en un sistema acuapónico no circulante.

MATERIALES Y MÉTODOS

Unidad Experimental

El experimento se realizó en el sistema de acuaponía ubicado en el área de BIOHELIS del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (24.134040 N, 110.430228 O), en la ciudad de la Paz, Baja California Sur. El clima es seco, con temperatura media anual es de 18 a 22°C y la temperatura promedio más alta es de 40-45°C se presenta en los meses de julio, agosto y septiembre. La precipitación pluvial promedio oscila en 186.2 mm. El sistema acuapónico consistió en dos

¹ Silva-Ontiveros, C. A. (2012). *Estudios para evaluar el balance de masas de nutrientes y la calidad de agua en un sistema experimental de acuaponía*. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Recursos Naturales. Instituto Tecnológico de Sonora.

módulos; el sistema acuícola con el cultivo de robalo y el sistema hidropónico con el cultivo de acelga. Para el módulo de acuicultura se emplea agua subterránea salina, y consistió de tres componentes como unidad experimental, el tanque de peces (TP), el biofiltro (B) y el mineralizador (M). El experimento de hidroponía se realizó utilizando las aguas residuales del módulo de acuicultura, se usaron tinas de fibra de vidrio (950 litros) con planchas de espuma de poliuretano o cama flotante con soporte para 100 plantas. Las semillas de acelga se sembraron en sustrato peat-moss en el mes de enero; cuando las plántulas alcanzaron aproximadamente los cinco centímetros de altura (marzo) se trasplantaron a las canastillas para hidroponía; a la tina se le suministro el efluente maduro del cultivo acuícola de robalo, se nombró ECR; se incluyeron dos controles, el primer control al que se le suministraba agua proveniente del pozo (AP); y el segundo control, donde se le suministraba agua de pozo pero se le adicionaba fertilizante (AP + F) comercial (Interagro 150g 100L⁻¹); de acuerdo a cada etapa de crecimiento, la solución nutritiva contiene N, P, K y Ca, Mg, Cl, Fe, Mn, B, Zn, Cu y Mo. El experimento finalizó a los 55 días (Figura 1). El sistema de oxigenación se realizó con una bomba sumergible, la cantidad de oxígeno disuelto (OD) se mantuvo en 6 mg L⁻¹, para mantener el sistema de raíz flotante. Es importante señalar que para mantener la inocuidad del sistema durante todo el proceso y en ambos módulos se cumplieron con las Buenas Prácticas de Producción (BPP) y las NOM Mexicanas sobre la regulación de las fracciones de los componentes

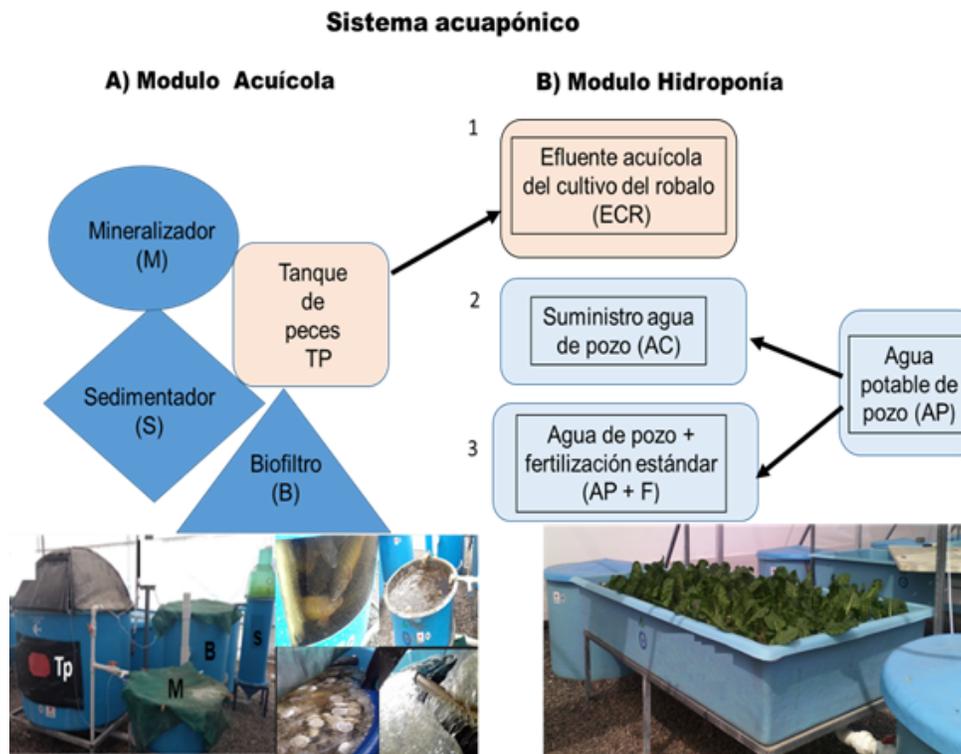


Figura 1. Sistema acuapónico para la producción combinada de robalo (*Centropomus viridis*) y acelga (*Beta vulgaris* var. *Cicla* L.) variedad Fordhook Giant. A) Componente del sistema acuícola (robalo); Tp = tanque de peces, B = biofiltro, M = mineralizador. B) Componentes del sistema de hidroponía (acelga); 1 = efluente acuícola del cultivo del robalo (ECR), 2 = control 1, agua potable de pozo (AP), 3 = control 2, agua de pozo + fertilización (AP + F).

Figure 1. Aquaponic system for the combined production of snook (*Centropomus viridis*) and swiss chard (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.) Fordhook Giant variety. A) Component of the aquaculture system (snook); Tp = fish tank, B = biofilter, M = mineralizer. B) Components of the hydroponics system (swiss chard); 1 = aquaculture effluent from snook farming (ECR), 2 = drinking well water (AP), 3 = well water + fertilization (AP + F).

de aguas residuales (sólidos y líquidos) NOM-001-SEMARNAT-2021, (SEMARNAT, 2022), las especificaciones sanitarias y métodos de prueba de productos y servicios NOM-242-SSA1-2009 (SSA, 2009) y la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002) que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, entre otras; con el objetivo de mantener la inocuidad y seguridad alimentaria y evitar las enfermedades transmitidas por los alimentos.

Evaluación de Parámetros Físicoquímicos

Los parámetros físicoquímicos de la calidad del agua del tratamiento y los dos controles, se registraron entre 8:30 y 9:30 horas en cinco tiempos de muestreo; para medir la temperatura y el pH se usó un potenciómetro de campo (Thermo Scientific Orion®, A324); la salinidad, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales se midieron con un multiparámetro (Thermo Scientific Orion, A329); las concentraciones de los nutrientes disueltos se determinaron al final del experimento, se tomaron muestras de agua de 1 L, con frascos de vidrio rotulados, y se analizaron las concentraciones de amonio (NH_4), nitritos (NO_2), nitratos (NO_3), fosfatos (PO_4), dureza, fósforo y nitrógeno totales, en el laboratorio de calidad del agua del CRIAP-INAPESCA, por el método de espectrofotometría siguiendo la metodología descrita en "A practical handbook of sea water analysis" por Strickland y Parsons (1972).

Evaluación de Variables Morfométricas

Al término del experimento (55 días) se cosecharon nueve plantas al azar de cada tratamiento, para medir el número y tamaño de las hojas frescas de las plantas cultivadas en los diferentes tratamientos, se utilizó un medidor de área foliar (Medidor de área folia, marca LICOR, modelo LI-3100C, serie LAM 1823). Enseguida se pesaron en la balanza portátil, marca Ohaus, modelo NVL5101/1, serie 8337436179 los tallos, raíz y hojas frescas para cada planta. Se midió la altura de los tallos y el largo de las raíces, así como la masa radicular de cada raíz. Posteriormente, se pusieron a secar a 80 °C por 48 h en un horno de flujo de aire caliente forzado con control de temperatura (ShellLab) y se tomaron valores para cada una de las plantas de: masa para tallo, raíz y hoja en una balanza analítica, marca Metrer Toledo, AG204.

Análisis Estadístico

Se realizaron análisis de varianza de una vía (ANOVA), seguido de una prueba a posteriori de Tukey para evaluar diferencias significativas entre los tratamientos, con el software estadístico SPSS para Windows v21.0 (IBM SPSS Statistics, 2012). El nivel de significancia estadístico para todos los análisis se definió con un $\alpha=0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Beta vulgaris var. *cicla* L., tuvo óptimo desarrollo y crecimiento con el uso del efluente proveniente del sistema acuícola del cultivo de robalo (ECR), se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en las características de la longitud de la hoja, biomasa y área foliar en comparación con la acelga de los tratamientos AP+F y AP. En el Cuadro 1, se observó que las variables morfométricas, donde la longitud de la hoja es aproximadamente el 71% más grande con respecto al sistema suplementado con solo agua de pozo (AP) y 38% respecto al sistema con fertilizante (AP+F). El uso de agua proveniente del efluente de cultivo de peces mejoro significativamente el tamaño de la hoja 45.61 cm; el trabajo realizado por He y colaboradores, quienes evaluaron plantas de acelga bajo estrés salino (7.0 g de NaCl por kg de suelo) sus plantas por este efecto tienen una altura de la hoja de aproximadamente 12.5 cm, mientras que en nuestros resultados fue de 13.2 cm con agua de pozo (890 mg L⁻¹), y en plantas crecidas en suelo sin NaCl su altura fue de 24 cm, tamaño muy similar (28.2 cm) al que obtuvimos con el control 2 (He, Zhou, Lü y Liang, 2022). En cuanto a la biomasa los resultados fueron favorecedores para las acelgas con el sistema ECR, ya

Cuadro 1. Parámetros morfométricos de la acelga con efluentes del cultivo del robalo, agua de pozo y agua de pozo más fertilizantes.**Table 1. Morphometric parameters of swiss chard with effluents from snook farming, well water, and well water with fertilizers.**

Trat [†]	Longitud*	Biomasa	Área Foliar	No. de hojas
	cm	g	cm ²	
ECR	45.61 a	161.61 a	1618.69 a	10.8 a
AP+F	28.2 b	67.11 b	618.2 b	18 b
AP (control)	13.2 c	4.6 c	61.8 c	7.0 c

[†] Trat (tratamientos), ECR = efluente del cultivo del robalo, AP = agua de pozo, AP+F = agua de pozo más fertilizante.
* Letras diferentes en la misma fila significan diferencias significativas ($P > 0.05$).

[†] Treatment (treatments), ECR = effluent from snook farming, AP = well water, AP+F = well water plus fertilizer.
* Different letters in the same row mean significant differences ($P > 0.05$).

que presentan una diferencia del 97% respecto a la acelga del sistema AP y 587.2% del sistema AP+F. En el número de hojas existió diferencia favorable de AP+F de 40% con respecto a ECR. ECR presentó un promedio de 10.8 hojas, comparado con otros autores que reportan 7 y 8.7 como promedio en un sistema de hidroponía, por lo que el valor de ECR se considera adecuado (Ube, 2014²; Delgado-Zambrano, 2016³; Hlophe *et al.*, 2019); aunque el número de hojas en ECR fue menor que en AP+F la cantidad de la biomasa fresca en ECR fue de 161.61 gramos, esta diferencia puede estar asociada a la presencia de microorganismos en el sistema; Venegas-González y colaboradores en el 2019, emplearon inoculantes microbianos (*Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum*) en la producción de acelga, demostraron un incremento en el crecimiento y la producción de las plantas asociada a la absorción nutrimental del sustrato, lo cual se reflejó en la biomasa fresca (tamaño y número de hojas) (Venegas-González, *et al.*, 2019).

El área de superficie foliar, es de gran importancia para la planta, ya que, está relacionada con la capacidad fotosintética y de respiración, esta variable en ECR presentó diferencia del 97% con respecto a AP y 61.5% con AP+F; el promedio de área en las hojas de acelga en ECR fue de 1618.69 cm², poco más alto que lo obtenido en el trabajo realizado por Oliver y colaboradores, quienes compararon el efecto por diferentes tecnologías de luz artificial en un sistema acuapónico teniendo como modelo a la acelga, su promedio de área foliar más alto fue de 1161 cm² (Oliver *et al.*, 2018).

Los resultados de la raíz en el parámetro longitud mostraron los valores más altos con el agua de pozo (45.8 cm), seguido por el efluente de robalo (ECR) (44.1 cm), pero sin diferencias significativas. En los valores obtenidos para los tres grupos en para el volumen radicular no se encontró diferencias significativas. En la respuesta a la biomasa radicular, el máximo valor se obtuvo con ECR (27.72 g), seguido de AP+F (17 g) y el (Cuadro 2). El efluente de los peces favorece el crecimiento de la biomasa radicular y por ello la absorción de los nutrientes que se ve reflejado en el crecimiento y desarrollo de la planta. El tejido radicular tiene un rol importante en lo que respecta a la absorción de iones de Na y Cl reteniéndolos.

Parámetros Físicoquímicos del Agua de Riego del Sistema

Los resultados de temperatura y pH en los tres efluentes no mostraron variaciones durante periodos de muestreo. Las temperaturas registradas tuvieron un promedio de 23.4 °C (AP), 23.91 °C para ECR y 23.29 °C en el sistema AP+F. El pH se modificó

² Ube-Troya, R. J. (2014). *Adaptación y comportamiento agronómico de dos variedades de acelga (Beta vulgaris), sembradas mediante sistema hidropónico de raíz flotante, en la zona de Babahoyo*. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo. Ecuador. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/683>

³ Delgado-Zambrano, J. A. (2016). *Evaluación de tres variedades de acelga (Beta vulgaris L.) cultivadas en el sistema hidropónico*. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Guayaquil. Ecuador. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/9604>

Cuadro 2. Parámetros morfométricos de la raíz de acelga en respuesta al riego con efluentes del cultivo del robalo y agua de pozo.**Table 2. Morphometric parameters of the chard root in response to irrigation with effluents from the snook culture and well water.**

Trat [†]	Longitud	Volumen radicular	Biomasa
	cm	cm ³	g
ECR	44.1 a	14.27 a	27.72 a
AP+F	36.3 b	18.94 a	17 b
AP (Control)	45.8 a	16.83 a	3.44 c

[†] Trat (tratamientos), ECR = efluente del cultivo del robalo; AP = agua de pozo; AP+F = agua de pozo más fertilizante. (±) desviación estándar con una n = 2. Letras diferentes en la misma fila significan diferencias significativas ($P > 0.05$).

[†] Trat (treatments), ECR = effluent from snook farming; AP = well water; AP+F = well water plus fertilizer. (±) standard deviation with n = 2. Different letters in the same row mean significant differences ($P > 0.05$).

a través del tiempo de 6.53 AP, 5.11 ECR y 5.78 AP+F; con diferencias significativas solo en AP. La conductividad eléctrica, sólidos disueltos y salinidad presentaron diferencias significativas en todos los tiempos y con respecto a efluentes de AP y AP+F (Cuadro 3). Los parámetros fisicoquímicos como la temperatura no muestran diferencias significativas entre los tres tratamientos; sin embargo, en el pH los valores de AP son diferentes a ECR y Ap+F; lo documentado por otros autores que han realizado cultivo de hidroponía con acelga han reportado que sus rangos de pH oscilan entre 5.5 y 6.5, por lo que se coincide en que este parámetro es el óptimo para garantizar la disponibilidad y absorción de nutrientes, carbonatos, fosfatos, Fe²⁺ y Mn²⁺, lo cual se logra porque existe mejor solubilidad y se evita la precipitación (Singh, Dunn, Payton y Brandenberger, 2019). La CE en el sistema ECR aumentó gradualmente en relación con el tiempo ($P \leq 0.05$) con respecto AP y AP+F, la conductividad eléctrica registrada de 7.49 para ECR es adecuada para el crecimiento de la acelga ya que se ha demostrado que a 8 dS m⁻¹ se tiene una adecuada concentración de sales en la solución que le van a permitir a la acelga un buen crecimiento y desarrollo, el cual se ve reflejado en el área foliar y peso fresco, el uso de la acelga está bastante recomendado en suelos y aguas que presenten alto contenido de sal (Yamada *et al.*, 2016; Deveci, Öztürk, Altıntaş y Arın, 2019).

Al final del experimento, se determinaron los valores de los nutrientes (NH₄, NO₂, NO₃, nitrógeno total, PO₄, fósforo total y dureza) presentes en los efluentes de los sistemas. En el Cuadro 4 se presentan las concentraciones de cada uno de los nutrientes analizados, donde se observa que el amonio presentó una mayor concentración en el tratamiento AP+F con diferencias significativas con respecto a

Cuadro 3. Variables ambientales (media ± DE) con máximos y mínimos, en los diferentes componentes del sistema.**Table 3. Environmental variables (mean ± SD) with maximums and minimums, in the different components of the system.**

V	T	pH	CE	TDS	S
ECR [†]	23.91±1.25 a	5.11±1.14 a	7.49±1.10 b	3.72±0.46 b	4.33±0.85 b
AP+F	23.29±2.26 a	5.78±1.57 a	6.98±1.73 a	3.45±0.94 a	3.49±1.01 a
AP	23.4±2.29 a	6.53±1.32 b	6.74±1.71 a	3.36±0.84 a	3.57±0.78 a

[†] ECR = efluentes del cultivo del robalo; AP = agua de pozo; AP+F = agua de pozo + fertilizantes. V = variables; T = temperatura (°C); pH = potencial de hidrogeno; CE = conductividad eléctrica; TDS = total de solidos solubles; S = salinidad. * Letras diferentes en la misma fila significan diferencias significativas ($P > 0.05$).

[†] ECR = snook culture effluents; AP = well water; AP+F = well water + fertilizers. V = variables; T = temperature (°C); pH = hydrogen potential; EC = electrical conductivity, TDS = total soluble solids, S = salinity. * Different letters in the same row mean significant differences ($P > 0.05$).

Cuadro 4. Concentración (mg L⁻¹) de nutrientes de cada uno de los efluentes del sistema acuapónico.
Table 4. Concentration (mg L⁻¹) of nutrients of each one of the effluents of the aquaponic system.

Trat [†]	NH ₄	NO ₂	NO ₃	NT	PO ₄	PT	D
ECR	0.67	0.12	112.2	117.62	3.48	37.9	2687.7
AP+F	29.39	0.08	19.60	51.71	44.25	527.5	2321
AP	0.009	0.009	0.006	0.44	0.040	1.345	2055.7

[†] Efluente; ECR = efluente del cultivo del robalo; AP = agua de pozo; AP+F = agua de pozo más fertilizante. NH₄ = amonio; NO₂ = nitrito; NO₃ = nitrato; NT = nitrógeno total; PO₄ = fosfato; PT = fosfatos totales; D = carbonatos totales (dureza) en $\mu\text{mol kg}^{-1}$.

[†] Effluent; ECR = effluent from sea bass culture; AP = well water; AP+F = well water plus fertilizer. NH₄ = ammonium; NO₂ = nitrite; NO₃ = nitrate; NT = total nitrogen; PO₄ = phosphate; PT = total phosphates; D = total carbonates (hardness) in $\mu\text{mol kg}^{-1}$.

ECR y AP. Sin embargo, la mayor concentración de nitratos y nitritos estuvo presente en el sistema ECR. Las funciones más importantes del nitrógeno es la de tener una acción directa sobre el incremento del follaje, lo depende en gran medida de la asimilación, es decir, el nitrógeno orgánico es transformado a amonio y de nitritos a nitratos. En el sistema ECR el valor del Nitrógeno total (NT) se mantuvo por encima de los otros dos tratamientos, el NT fue aprovechado por el sistema, ya que los valores de nitratos son más altos y con diferencias significativas en ECR, mientras que los niveles de nitritos son menores en comparación con los nitratos, por lo que el NT está siendo transformado a nitrato el cual será aprovechado en la producción proteínas en la planta (Villalobos-Reyes y González-Pérez, 2016; Schmautz, Espinal, Smits, Frossard y Junge, 2021). El pH entre 5.5 y 6.5 define la presencia de la forma química del ion H₂PO₄⁻, el cual tiene mejor difusión entre el espacio radical y aumenta la absorción en las hojas, en cambio el aumento del pH disminuye la disponibilidad de fósforo. En AP los valores de pH son más altos y los valores de PO₄ son menores (Da Silva-Cerozi y Fitzsimmons, 2016).

El uso de los desechos generados (partículas residuales y agua) por el módulo de acuicultura se aprovechan de forma sostenible evitando la contaminación al medio ambiente reutilizando las aguas residuales, ya que en lugares semidesérticos y secos el agua tiene gran importancia su uso y conservación; además se demostró que los residuos del efluente del uso de sistemas acuícolas son eficientemente aprovechados para la producción de alimentos de calidad y cantidad, sin requerir compuestos químicos (nitratos y fosfatos) que generan un gasto económico, contaminación o toxicidad. La diversidad microbiana en los componentes acuícola e hidroponía; ayudan a la transformación y aprovechamiento del nitrógeno que libera el sistema acuícola y que se aprovecha por las plantas en forma de nitratos y nitritos, debido a las bacterias nitrificantes presentes, la evaluación de los parámetros morfológicos es de gran interés para validar el uso de efluente proveniente de sistemas acuícolas.

CONCLUSIONES

El efluente proveniente de sistema acuícola donde se criaron robalos es eficiente para el crecimiento y desarrollo de la acelga; las cuales alcanzaron longitud, área foliar y número de hojas, semejante al que se obtendría en un cultivo tradicional de invernadero o de hidroponía.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FONDOS

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, administración del proyecto, edición final: R.J.H.P. Revisión de borrador, arreglo de cuadros y figuras: E.O.R.P. y D.R.J. Preparación del borrador original, metodología, análisis de software, diseño y soporte experimental, escritura: D.M.H.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo financiero recibido por parte del Gobierno Japonés por medio de la Agencia de Ciencia y Tecnología (JST) y la Agencia de Cooperación Internacional (JICA) del Japón. Gracias al personal técnico de apoyo del Laboratorio de fitopatología; Hidrobiol. Sofía Ramos Galván y Martin Aguilar. A la estudiante Ángela Jiménez Rodríguez. Muy especial agradecimiento a la Dra. Irasema Luis Villaseñor, por su valiosa participación en el desarrollo del experimento (Descanse en Paz).

LITERATURA CITADA

- Alfarrah, N., & Walraevens, K. (2018). Groundwater overexploitation and seawater intrusion in coastal areas of arid and semi-arid regions. *Water*, 10(2), 1-24. <https://doi.org/10.3390/w10020143>
- Alvarez-Lajonchère, L., & Tsuzuki, M. Y. (2008). A review of methods for *Centropomus* spp. (snooks) aquaculture and recommendations for the establishment of their culture in Latin America. *Aquaculture Research*, 39(7), 684-700. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.01921.x>
- Arakkal Thaiparambil, N., & Radhakrishnan, V. (2022). Challenges in achieving an economically sustainable aquaponic system: A review. *Aquaculture International*, 1-32. <https://doi.org/10.1007/s10499-022-00946-z>
- Baganz, G. F., Junge, R., Portella, M. C., Goddek, S., Keesman, K. J., Baganz, D., ... Kloas, W. (2022). The aquaponic principle-It is all about coupling. *Reviews in Aquaculture*, 14(1), 252-264. <https://doi.org/10.1111/raq.12596>
- Baldini, G., Santamaría-Miranda, A., Martínez-Brown, J. M., & Ibarra-Castro, L. (2022). Technical-economic viability of white snook *Centropomus viridis* culture in floating cages in a coastal lagoon in northwestern Mexico. *Aquaculture Reports*, 23, 101048. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101048>
- Cardona, A., Carrillo-Rivera, J. J., Huizar-Alvarez, R., & Graniel-Castro, E. (2004). Salinization in coastal aquifers of arid zones: an example from Santo Domingo, Baja California Sur, Mexico. *Environmental Geology*, 45(3), 350-366. <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0874-2>
- Cardoso, P. R. (1993). Saline water intrusion in Mexico. In *WIT Transactions on Ecology and the Environment* (7 pp.). Southampton, United Kingdom: WIT Press.
- Da Silva-Cerozi, B., & Fitzsimmons, K. (2016). The effect of pH on phosphorus availability and speciation in an aquaponics nutrient solution. *Bioresource Technology*, 219, 778-781. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.08.079>
- Deveci, M., Öztürk, Ş., Altıntaş, S., & Arın, L. (2019). The Effect of Irrigation Water Salinity on the Morphological and Physiological Traits of Swiss Chard (*Beta vulgaris* L. var. cicla Moq.). *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(6), 903-907. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i6.903-907.2501>

- Graber, A., & Junge, R. (2009). Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination*, 246(1-3), 147-156. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.03.048>
- Gracia-Lopez, V., Rosas-Vazquez, C., & Brito-Perez, R. (2006). Effects of salinity on physiological conditions in juvenile common snook *Centropomus undecimalis*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 145(3), 340-345. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2006.07.008>
- Greenfeld, A., Becker, N., Bornman, J. F., Spatari, S., & Angel, D. L. (2022). Is aquaponics good for the environment? evaluation of environmental impact through life cycle assessment studies on aquaponics systems. *Aquaculture International*, 30(1), 305-322. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00800-8>
- He, H., Zhou, W., Lü, H., & Liang, B. (2022). Growth, Leaf Morphological and Physiological Adaptability of Leaf Beet (*Beta vulgaris* var. cicla) to Salt Stress. A Soil Culture Experiment. *Agronomy*, 12(6), 1-14. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061393>
- Hlophe, P. A., Nxumalo, K. A., Oseni, T. O., Masarirambi, M. T., Wahome, P. K., & Shongwe, V. D. (2019). Effects of different media on the growth and yield of Swiss chard (*Beta vulgaris* var. cicla) grown in hydroponics. *Horticulture International Journal*, 3(3), 147-151. <https://doi.org/10.15406/hij.2019.03.0012>
- Hoevenaars, K., Junge, R., Bardocz, T., & Leskovec, M. (2018). EU policies: New opportunities for aquaponics. *Ecocycles*, 4(1), 10-15. <https://doi.org/10.21256/zhaw-22090>
- Holguin-Pena, R. J., Medina-Hernandez, D., Ghasemi, M., & Rueda-Puente, E. O. (2021). Salt tolerant plants as a valuable resource for sustainable food production in arid and saline coastal zones. *Acta Biológica Colombiana*, 26(1), 116-126. <https://doi.org/10.15446/abc.v26n1.82412>
- IBM SPSS Statistics. (2012). *Statistical Package for the Social Sciences User's Guide. version 25*. Armonk, NY, USA: IBM Corp.
- Kaburagi, E., Morikawa, Y., Yamada, M., & Fujiyama, H. (2014). Sodium enhances nitrate uptake in Swiss chard (*Beta vulgaris* var. cicla L.). *Soil Science and Plant Nutrition*, 60(5), 651-658. <https://doi.org/10.1080/00380768.2014.938595>
- Kasoz, N., Abraham, B., Kaiser, H., & Wilhelmi, B. (2021). The complex microbiome in aquaponics: significance of the bacterial ecosystem. *Annals of Microbiology*, 71(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s13213-020-01613-5>
- Kumar, G., & Engle, C. R. (2016). Technological advances that led to growth of shrimp, salmon, and tilapia farming. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 24(2), 136-152. <https://doi.org/10.1080/23308249.2015.1112357>
- Love, D. C., Fry, J. P., Li, X., Hill, E. S., Genello, L., Semmens, K., & Thompson, R. E. (2015). Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquaculture*, 435, 67-74. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.023>
- Oliver, L. P., Coyle, S. D., Bright, L. A., Shultz, R. C., Hager, J. V., & Tidwell, J. H. (2018). Comparison of four artificial light technologies for indoor aquaponic production of swiss chard, *Beta vulgaris*, and kale, Brassica oleracea. *Journal of the World Aquaculture Society*, 49(5), 837-844. <https://doi.org/10.1111/jwas.12471>
- Perera-García, M. A., Mendoza-Carranza, M., & Páramo-Delgadillo, S. (2008). Dinámica reproductiva y poblacional del robalo, *Centropomus undecimalis* (Perciformes: Centropomidae), en barra San Pedro, Centla, México. *Universidad y Ciencia*, 24(1), 49-59.
- Pinho, S. M., David, L. H. C., Goddek, S., Emerenciano, M. G. C., & Portella, M. C. (2021). Integrated production of Nile tilapia juveniles and lettuce using biofloc technology. *Aquaculture International*, 29(1), 37-56. <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00608-y>
- Riggio, G. M., Jones, S. L., & Gibson, K. E. (2019). Risk of human pathogen internalization in leafy vegetables during lab-scale hydroponic cultivation. *Horticulturae*, 5(1), 1-22. <https://doi.org/10.3390/horticulturae5010025>
- Ronzón-Ortega, M., Hernández-Vergara, M. P., & Pérez-Rostro, C. I. (2015). Producción acuapónica de tres hortalizas en sistemas asociados al cultivo semi intensivo de tilapia gris (*Oreochromis niloticus*). *Agroproductividad*, 8(3), 26-32.
- Schmautz, Z., Espinal, C. A., Smits, T. H. M., Frossard, E., & Junge, R. (2021). Nitrogen transformations across compartments of an aquaponic system. *Aquacultural Engineering*, 92, 102145. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2021.102145>
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021 SEMARNAT-2000 antes NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*. D. F., México: SEGOB.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2022). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021 antes NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales, en aguas y bienes nacionales. *Diario Oficial de la Federación*. D. F., México: SEGOB
- SSA (Secretaría de Salud). (2009). Norma Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009, Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba. *Diario Oficial de la Federación*. D. F., México: SEGOB.
- Singh, H., Dunn, B., Payton, M., & Brandenberger, L. (2019). Fertilizer and cultivar selection of lettuce, basil, and swiss chard for hydroponic production. *HortTechnology*, 29(1), 50-56. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04178-18>
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). *Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming*. Rome, Italy: FAO.

- Stouvenakers, G., Dapprich, P., Massart, S., & Jijakli, M. H. (2019). Plant pathogens and control strategies in aquaponics. In S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, & G. M. Burnell (Eds.). *Aquaponics food production systems* (pp. 353-378). Cham, Switzerland: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_14
- Strickland, J. D., & Parsons, J. R. (1972). *A practical handbook of seawater analysis* (2nd Ed.). Ottawa, Canada: Fisheries Research Board of Canada.
- Vagsholm, I., Arzomand, N. S., & Boqvist, S. (2020). Food security, safety, and sustainability-getting the trade-offs right. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 1-14. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00016>
- Venegas-González, J., Méndez-Inocencio, C., Martínez-Mendoza, E. K., Ceja-Torres, L. F., & Rodríguez-Torres, M. D. (2019). Producción orgánica de *Beta vulgaris* subespecie cicla con inoculantes microbianos. *Biotecnia*, 21(3), 121-126. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v21i3.1043>
- Villalobos-Reyes, S., & González-Pérez, E. (2016). Determinación de la relación pez planta en la producción de tomate (*Lycopersicon sculentum* L.) en sistema de acuaponía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5), 983-992.
- Yamada, M., Kuroda, C., & Fujiyama, H. (2016). Function of sodium and potassium in growth of sodium-loving Amaranthaceae species. *Soil Science and Plant Nutrition*, 62(1), 20-26. <https://doi.org/10.1080/00380768.2015.1075365>
- Yang, T., & Kim, H. J. (2019). Nutrient management regime affects water quality, crop growth, and nitrogen use efficiency of aquaponic systems. *Scientia Horticulturae*, 256, 108619. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108619>
- Yep, B., & Zheng, Y. (2019). Aquaponic trends and challenges-A review. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1586-1599. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.290>
- Zou, Y., Hu, Z., Zhang, J., Xie, H., Guimbaud, C., & Fang, Y. (2016). Effects of pH on nitrogen transformations in media-based aquaponics. *Bioresource Technology*, 210, 81-87. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.12.079>