

**Evaluación de un sistema hidropónico familiar como una alternativa alimentaria sustentable en el centro de Veracruz, México**

**Evaluation of a family hydroponic system as a sustainable food alternative in central Veracruz, Mexico**



Environment & Technology | ISSN: 2711-4422

Vol. 5 No. 1. Enero-Julio, 2024: 49-65

URL: <https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/>

DOI: <https://doi.org/10.56205/ret.5-1.3>

Recibido: 12/04/2024

Revisado: 16/05/2024

Aprobado: 02/09/2024

**Juan Antonio Pérez-Sato**

PhD in Animal and Plant Science  
Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba  
<https://orcid.org/0000-0002-8842-6262>  
[pantonio@colpos.mx](mailto:pantonio@colpos.mx)  
México

**Ricardo Sánchez-Páez**

Maestro Tecnólogo en Agronegocios  
Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba  
<https://orcid.org/0000-0002-6988-871X>  
[risa@colpos.mx](mailto:risa@colpos.mx)  
México

**Jaime Ernesto Rivera-Hernández**

PhD en Ciencias Naturales para el Desarrollo  
Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba  
<https://orcid.org/0000-0003-4240-9966>  
[rivalcan@gmail.com](mailto:rivalcan@gmail.com)  
México

**Graciela Alcántara-Salinas**

PhD en Etnobiología  
Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba  
<https://orcid.org/0000-0002-3673-2831>  
[alcantara.graciela@colpos.mx](mailto:alcantara.graciela@colpos.mx)  
México

**Amauri Díaz-Solís**

Biólogo  
Centro de Estudios Geográficos, Biológicos y Comunitarios, S.C.  
<https://orcid.org/0000-0002-4274-6260>  
[adiasz@geobicom.org](mailto:adiasz@geobicom.org)  
México

**Elda Lucía Santiago-Pacheco**

Ingeniera Agrónoma  
Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba  
<https://orcid.org/0009-0007-2984-1494>  
[elsp.260994@outlook.com](mailto:elsp.260994@outlook.com)  
México

## Resumen

La acuaponía es un sistema de producción agrícola resultado de la combinación de otros dos sistemas: la hidroponía (cultivo de vegetales que utilizan soluciones acuosas con nutrientes disueltos) y la acuicultura (cultivo de peces). El objetivo de la presente investigación fue evaluar el crecimiento de cultivos de *Lactuca sativa* var. *longifolia* Lam. y *L. sativa* var. *angustana* Irish ex Bremer, coexistiendo con “mojarra tilapia” (*Oreochromis niloticus* L.), en un sistema acuapónico familiar de raíz flotante. Para lo anterior, se consideraron dos parámetros para monitorear el desarrollo y crecimiento de las plantas: número de hojas y longitud de raíz. Con el fin de dar un seguimiento a la calidad del agua de los estanques a lo largo del tiempo que duró el estudio, se registraron dos veces por semana las variables fisicoquímicas: pH, oxígeno disuelto (OD) en ml/l y temperatura en grados Celsius. Los resultados indican que hubo diferencias significativas en el crecimiento y adaptación entre ambas variedades de lechugas al sistema acuapónico. *Lactuca sativa* var. *longifolia*, presentó un desarrollo vegetativo significativamente mayor en comparación con *L. sativa* var. *angustana*, así como un mayor número de hojas y una mayor longitud radicular. Se concluye que es factible el cultivo acuapónico de *Lactuca sativa* var. *longifolia* en un sistema familiar, toda vez que cumple con los estándares requeridos para su consumo. Las condiciones fisicoquímicas del agua en el sistema acuapónico utilizado se mantuvieron favorables para el crecimiento de los organismos vegetales.

**Palabras clave:** Acuaponía; producción rural; seguridad alimentaria


## Abstract

Aquaponics is an agricultural production system resulting from the combination of two other systems: hydroponics (vegetable cultivation using watery solutions with dissolved nutrients) and aquaculture (fish cultivation). The objective of this research is to evaluate the growth of *Lactuca sativa* var. *longifolia* Lam. and *L. sativa* var. *angustana* Irish ex Bremer coexisting with “mojarra tilapia” (*Oreochromis niloticus* L.), in a floating root family hydroponic system. In order to fulfil the above, two parameters to monitoring the development and growing of plants were considered: number of leaves and root length. To monitoring the water quality of the ponds throughout the time the study lasted, the physicochemical variables were recorded twice a week: pH, dissolved oxygen (DO) in ml/l and temperature in degrees Celsius. The results indicated that there were significant differences in the growth and adaptation between both varieties of lettuce to the hydroponic system. *Lactuca sativa* var. *longifolia*, presented a significantly higher vegetative development compared to *L. sativa* var. *angustana*, as well as a greater number of leaves and root length. The aquaponic cultivation of *Lactuca sativa* var. *longifolia* is feasible in a family system, since it meets the standards required for its consumption is concluded. Finally, the physicochemical conditions of the water in the hydroponic system used remained favourable for the growth of plant organisms.

**Key word:** Five keywords must be included, which must not be present in the title.

## Introducción

La acuaponía es un sistema de producción agrícola resultado de la combinación de otros dos sistemas: la hidroponía (cultivo de vegetales que utilizan soluciones acuosas con nutrientes disueltos) y la acuicultura (cultivo de peces) (Viladomat, 2012), es decir, se trata de un sistema de acuicultura recirculante, donde los desechos que producen los peces, por acción bacteriana son transformados en nutrientes esenciales para el crecimiento de los vegetales (Martínez-Yáñez, 2013).




De esta manera, la acuaponía se ha convertido en una técnica de producción tendiente a lo sustentable, ya que aprovecha los residuos generados por los peces, recicla el agua al máximo y eficientiza el espacio. Adicionalmente, representa una forma de producción orgánica de cultivos de plantas de rápido crecimiento y con alto contenido nutritivo, además de que ofrece altos rendimientos a través de métodos fáciles y económicos (FAO, 2016).

En otras palabras, la acuaponía es un método que produce alimentos orgánicos de forma eficiente, eliminando al 100% la dependencia de los fertilizantes químicos y la contaminación por desechos de aguas residuales de criaderos de peces. Así también, minimiza el uso de agua en la agricultura y acuicultura, siendo una actividad adecuada para implementar en lugares con escasez de agua y suelos infértiles (FAO, 2016).

De esta manera, los sistemas acuapónicos familiares han sido diseñados para el ahorro de espacio y para reducir la mano de obra y el tiempo invertido en su manejo, así como también las especies de plantas y peces que pueden incorporarse para su cultivo son muy diversas (Caló, 2011).

No obstante, las especies vegetales más recomendadas para este tipo de sistemas son las hortalizas de hoja ancha y las denominadas aromáticas, las cuales suelen ser especies de cultivo de ciclo corto y de rápido crecimiento. Entre las primeras destacan las variedades de *Lactuca sativa* L. (“lechuga”) y entre las del segundo grupo, *Ocimum basilicum* L. (“albahaca”), *Mentha x piperita* L. (“menta”) y *Origanum vulgare* L. (“orégano”). Con respecto a las especies de peces, las más utilizadas suelen ser: *Oreochromis niloticus* L. (“mojarra tilapia”) en climas cálidos y *Oncorhynchus mykiss* Walbaum (“trucha arcoíris”), en climas de templados a fríos (INTAGRI, 2017).

Así, la acuaponía es una alternativa productiva viable para desarrollarse en el entorno familiar de hogares rurales, tanto para autoconsumo como para venta a pequeña escala (Somerville et al., 2022; Caldas-Quiñonez et al., 2019). Por esto, Valdes-Zamora (2018), considera que esta técnica es amigable con el ambiente y puede incrementar rendimientos, por lo que mejora la calidad de vida de quienes la aplican, contribuyendo a la seguridad alimentaria, generando empleos y fortaleciendo la integración social en ambientes rurales.



Finalmente, esta técnica no se limita a sistemas cerrados ni a la utilización exclusiva de agua dulce; como mencionan Larrinaga-Mayoral et al. (2020), es posible la utilización de agua con contenidos de sales moderados en ambientes áridos, para la producción de peces y vegetales, además de dar un uso final al agua, utilizándola como riego en cultivos en suelo a cielo abierto.

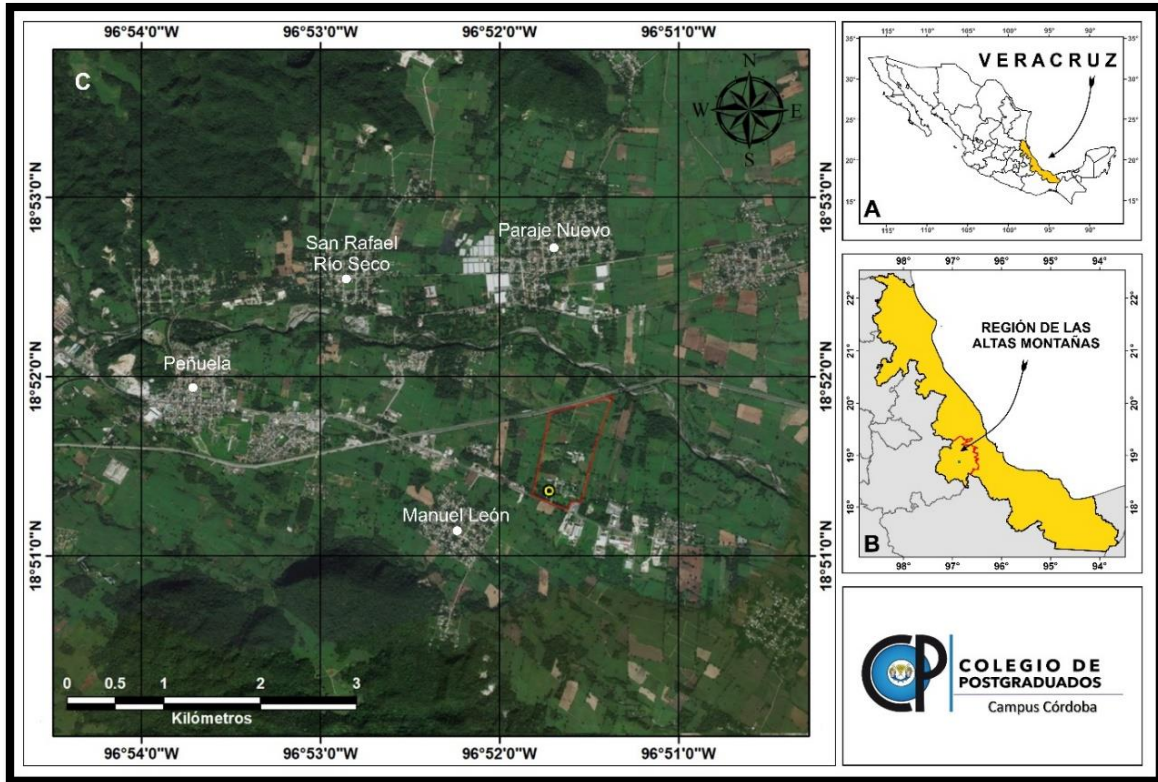
El objetivo principal de este estudio fue evaluar dentro de un sistema hidropónico familiar de raíz flotante, el desarrollo y crecimiento de dos variedades de lechuga: *Lactuca sativa* var. *longifolia* Lam. (“lechuga baby sucrine”) y *Lactuca sativa* var. *angustana* Irish ex Bremer (“lechuga espárrago”), coexistiendo con peces de la especie *Oreochromis niloticus* L. (“mojarra tilapia”).

## **Metodología**

### *Descripción del área de estudio*

El estudio se llevó a cabo en el área de Permacultura del Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, ubicado en la región de las Altas Montañas, en el municipio de Amatlán de los Reyes, en el estado de Veracruz, México (18° 51' 22" N, 96° 51' 43" O) (**Figura 1**). La altitud promedio sobre el nivel del mar es de 648 m y el clima dominante es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano.

Los rangos de temperatura varían entre 20 y 24 °C y la precipitación anual está entre 1,900 y 2,600 mm<sup>3</sup> (CEIEG-Veracruz, 2018). La zona está cubierta por pequeños relictos de bosque tropical perennifolio (Rzedowski, 1978) o selva mediana subperennifolia (Miranda y Hernández-X., 1963), dominando principalmente la vegetación secundaria derivada de este tipo de vegetación, intercalada con grandes extensiones de cultivos de café y caña de azúcar (Rivera-Hernández et al., 2019).



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio. A. Ubicación del estado de Veracruz con referencia al país. B. Ubicación de la región de las Altas Montañas en el estado de Veracruz; con un punto verde se indica la ubicación del área de estudio en esta región. C. Ubicación del área de estudio marcada con un círculo amarillo y un punto negro al centro. El polígono del Colegio de Postgraduados se marca con una línea roja.

### *Materiales y métodos*

Diseño del sistema hidropónico. Este estudio se llevó a cabo del 24 de julio al 24 de octubre de 2019, a lo largo de 12 semanas. El diseño partió de la premisa de que fuera lo más sencillo y económico posible, pero sin perder efectividad. Se adaptaron los sistemas propuestos por Somerville et al. (2022) y Lobillo et al. (2016), tomando en cuenta las condiciones (disponibilidad de agua y electricidad, topografía del terreno, etc.) y los materiales locales.

El agua utilizada en este proyecto se tomó de un sistema de captación de agua de lluvia preexistente en el sitio, por lo que no se requirió de tratamientos químicos previos para su



uso, ya que esta agua presenta de forma natural un pH neutro y bajas concentraciones de sales disueltas.


Se establecieron dos depósitos con capacidad de 1000 l de agua cada uno y en total se construyeron, a partir de tambos de plástico de 200 l de capacidad cortados longitudinalmente en su parte media, ocho tinajas de plástico con capacidades de 100 l de agua cada una (**Figura 2**).

Para la recirculación de agua, se construyó un sistema de tuberías de PVC en cada estanque, el cual se conectó a una motobomba eléctrica. Las camas de cultivo flotantes del sistema acuapónico fueron construidas con tiras de bambú (*Guadua angustifolia* Kunth). Las tinajas fueron protegidas con malla de gallinero para evitar la depredación de peces por parte de animales de vida silvestre (aves principalmente) (**Figura 2**).



**Figura 2.** Sistema hidropónico desarrollado y utilizado en este estudio.

Introducción de peces. Una semana después de haber instalado el sistema acuapónico, se introdujeron las tilapias (*O. niloticus*) con una densidad de 50 individuos para cada repetición



(Estanque 1 = Repetición 1; Estanque 2 = Repetición 2); se especifica que no hubo ninguna diferencia fisicoquímica en el agua ni en ninguna otra variable para los dos estanques considerados en este estudio. En total, 100 individuos conformaron dos grupos: R1 (50 peces) y R2 (50 peces). El alimento seleccionado para los peces fue de la marca comercial NUTRIPEC extruido flotante, el cual fue suministrado dos veces al día, en una cantidad de 100 g de alimento a cada individuo; cada 15 días se aumentaron 20 gr a la cantidad inicial hasta alcanzar tallas comerciales de cosecha.

Producción de lechugas. La germinación de las semillas de lechugas se realizó en almácigos utilizando “tierra negra” y composta casera. Se consideró que las plántulas presentaran de dos a cuatro hojas verdaderas y una altura entre 8 a 10 cm para ser trasplantadas (28 días de edad). Tres semanas posteriores a la instalación del sistema y dos después de la introducción de los peces, se realizó el trasplante de plántulas de lechugas, de las dos variedades consideradas. El substrato utilizado para la siembra y fijación de cada plántula en las camas flotantes del sistema fue hule espuma. Se sujetaron y enrollaron los tallos y las raíces de cada plántula con este material (**Figura 4**).

Se colocaron 15 plantas de cada variedad por tina. De manera intercalada (tina 1 con la variedad *longifolia*; tina 2 con la variedad *angustana*, etc.), en conjunto, se “sembraron” ocho tinas, cuatro tinas con la variedad *longifolia* y cuatro con la variedad *angustana*, para cada Estanque o Repetición, para un subtotal de 60 plantas por variedad y un total de 120 plantas por Estanque o Repetición.

Para estimar el desarrollo y crecimiento de las plantas, se utilizó un tipo de muestreo sistemático al azar (Espinoza, 2017). Se seleccionaron cinco individuos de cada tina de cultivo y utilizando instrumentos lo más simples posibles (reglas graduadas), se estimaron los parámetros cuantificables de interés: número de hojas y longitud de raíz.

Seguimiento a la calidad de agua. Para este apartado, se registraron dos veces por semana, las variables fisicoquímicas: pH, oxígeno disuelto (OD) en ml/l y temperatura en grados Celsius.

Análisis estadístico. Bajo un enfoque cualitativo (Saavedra, 2017), con base en características ideales o no para un producto para consumo humano, se establecieron tres

categorías de los individuos cosechados: bueno, regular y malo (**Tabla 1; Figura 3 y 4**). Todos los individuos muestreados fueron asignados a una de estas categorías.

Para el caso de las variables fisicoquímicas estimadas: pH, temperatura y oxígeno disuelto, se aplicó una prueba “*t*” de Student para examinar las diferencias entre dos muestras independientes y pequeñas y con cualquier tipo de distribución (normal o no) (Rodríguez-Crespo, 2021). Para observar posibles diferencias en la calidad de las lechugas de las dos variedades consideradas, se aplicó una prueba de  $X^2$  (chi cuadrada), para valorar la independencia de dos distribuciones de las proporciones de las categorías de calidad establecidas, para el contraste de dos hipótesis: una nula ( $H_0$ ) y una alternativa ( $H_1$ ): (Hernández *et al.*, 2017). Para este estudio, las hipótesis fueron:

$H_0$ : la distribución de las proporciones en las calidades establecidas (buena, regular, mala), fueron iguales en las dos variedades de lechugas cultivadas.

$H_1$  la distribución de las proporciones en las calidades establecidas (buena, regular, mala), no fueron iguales en las dos variedades de lechugas cultivadas.

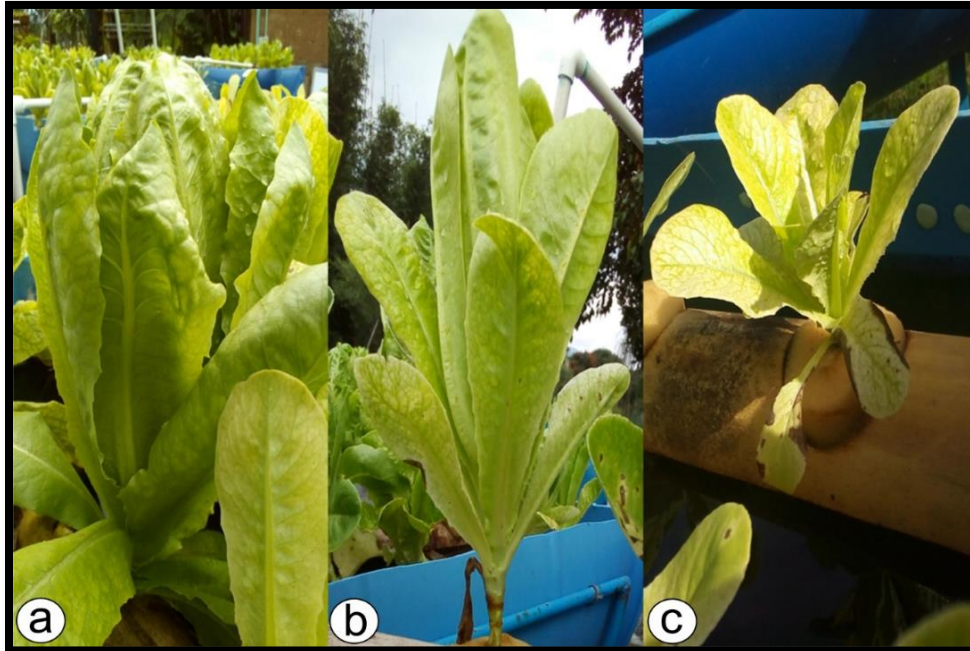
**Tabla 1.**

*Categorías cualitativas para las dos variedades de lechugas consideradas en este estudio*

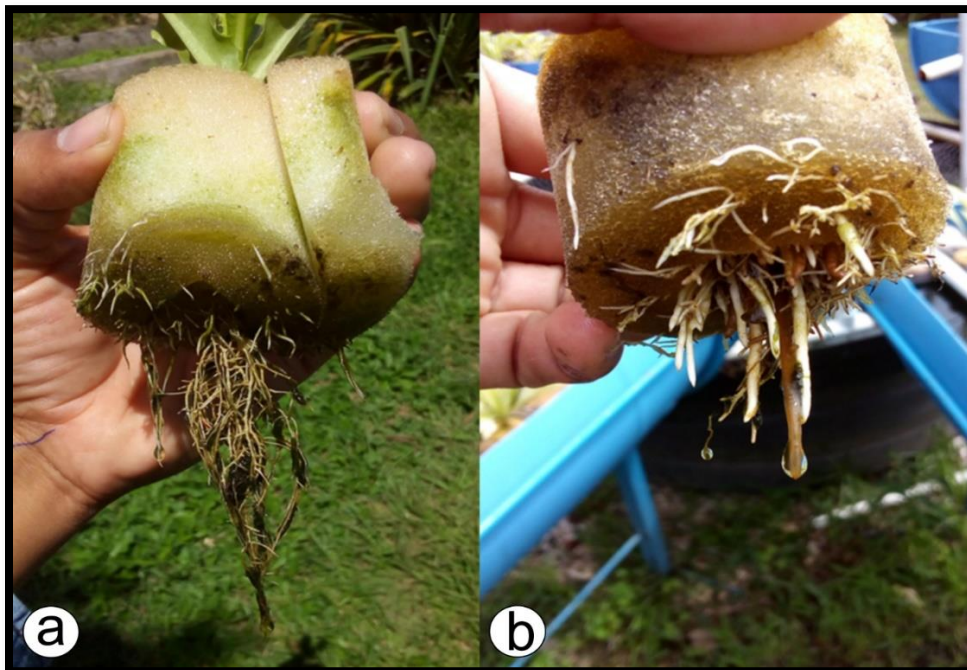
<b>Categoría</b>	<b><i>Lactuca sativa var. longifolia</i></b>	<b><i>Lactuca sativa var. angustana</i></b>
Bueno	Número de hojas entre 29 a 39 y una longitud de raíz entre 11 a 13 cm	Número de hojas entre 10 a 13 y una longitud de raíz entre 9 a 12 cm
Regular	Número de hojas entre 18 a 28 y una longitud de raíz entre 8 a 10 cm	Número de hojas entre 5 a 9 y una longitud de raíz entre 4 a 8 cm
Malo	Número de hojas entre 7 a 17 y una longitud de raíz entre 5 a 7 cm	Número de hojas entre 0 a 4 y una longitud de raíz entre 0 a 3 cm

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Saavedra (2017).





**Figura 3.** Categorías cualitativas de las hojas de plantas de lechuga (*L. sativa* var. *longifolia*) producidas, según el criterio de Saavedra (2017): (a) buena, (b) regular y (c) mala. Fuente: elaboración propia.



**Figura 4.** Categorías cualitativas de las raíces de plantas de lechuga (*L. sativa* var. *longifolia*) producidas, según el criterio de Saavedra (2017): (a) buena, (b) mala. Fuente: elaboración propia.

## Resultados y discusión

La variedad *longifolia* logró un mayor desarrollo vegetativo de las estructuras consideradas en el estudio: número de hojas y longitud radicular (**Tabla 2**). De tal forma que, con base en los resultados y de acuerdo con Saavedra et al. (2017), es posible considerarla dentro del rango óptimo de producción para el consumo humano conocido para esta variedad de *L. sativa*. Una prueba de chi cuadrada  $X^2(2, N=120) = 25.67, p<.05$ , para la variable número de hojas y  $X^2(2, N=120) = 25.69, p<.05$  para la variable longitud de la raíz, mostraron que hay diferencias significativas entre ambas poblaciones en estas dos variables consideradas.

**Tabla 2.**

*Porcentaje de individuos de cada variedad de lechuga y las variables estimadas consideradas para cada una de las categorías cualitativas definidas (n= 40 individuos)*

<i>Lactuca sativa var. longifolia</i>			
Número de hojas	Bueno	Regular	Malo
R1	5.00%	85.00%	10.00%
R2	0.00%	55.00%	45.00%
Longitud de la raíz	Bueno	Regular	Malo
R1	40.00%	55.00%	5.00%
R2	10.00%	85.00%	5.00%

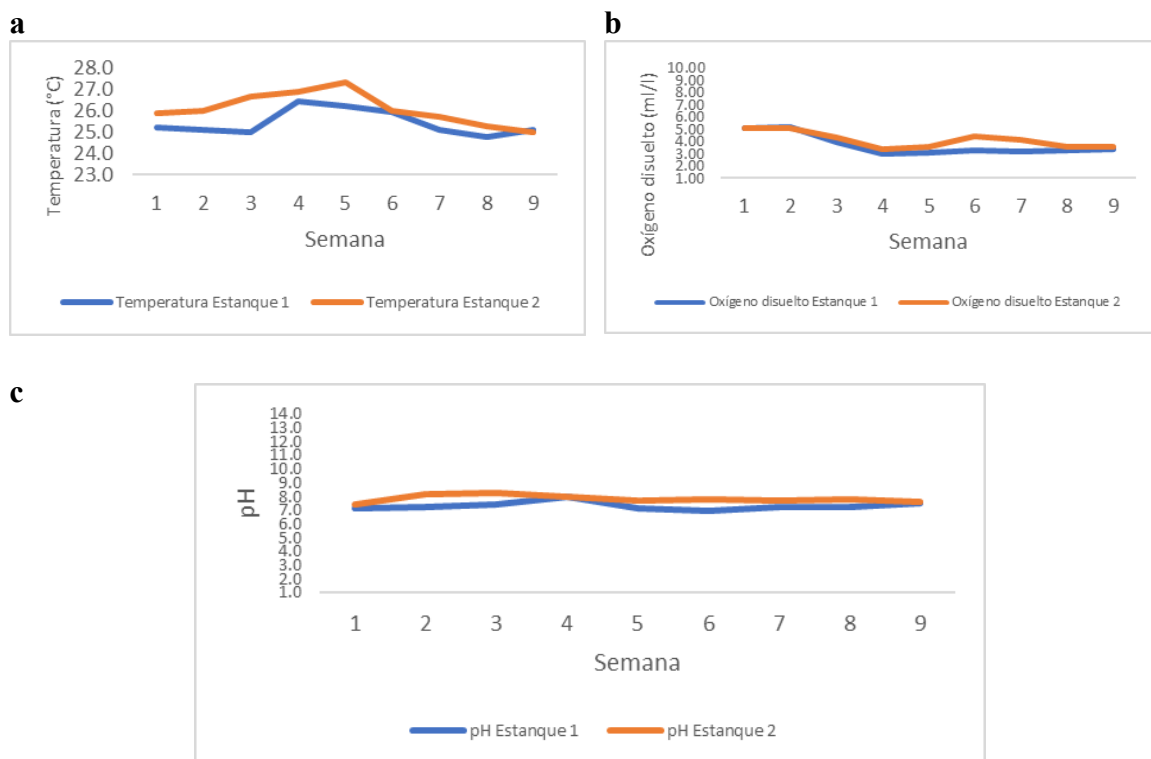
  

<i>Lactuca sativa var. angustana</i>			
Número de hojas	Bueno	Regular	Malo
R1	25.00%	35.00%	40.00%
R2	25.00%	75.00%	0.00%
Longitud de la raíz	Bueno	Regular	Malo
R1	0.00%	85.00%	15.00%
R2	5.00%	95.00%	0.00%

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran que hubo diferencias en el desarrollo y crecimiento de las dos variedades consideradas, lo cual puede explicarse al considerar los ciclos vegetativos y aspectos morfológicos de la estructura radicular particulares de cada variedad, así como su capacidad de adaptación a las condiciones de este cultivo, las cuales, de acuerdo con los resultados obtenidos, son mejores en la variedad *longifolia*.

Las condiciones fisicoquímicas, considerando las variables pH, oxígeno disuelto (OD) en ml/l y temperatura en grados Celsius, fueron las adecuadas y favorables para peces y plantas a lo largo de la realización del estudio. Ninguna variación drástica que se reflejara en los resultados obtenidos fue detectada (**Figura 5 a, b, c**).



**Figura 5 a, b y c.** Comportamiento a lo largo de nueve semanas, de las variables fisicoquímicas consideradas en el estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos.

Para aclarar el punto anterior, bajo la hipótesis nula de no diferencias significativas en el comportamiento de las condiciones fisicoquímicas del agua en los dos estanques utilizados (R1 y R2), la prueba de “*t*” de Student realizada, mostró que solo las hubo en la variable pH y no en las variables Temperatura y Oxígeno disuelto (**Tabla 3**). En síntesis, el sistema


hidropónico se mantuvo en condiciones favorables para el desarrollo y crecimiento vegetal. La calidad del agua en el sistema se mantuvo estable con ligeras alteraciones, brindando estabilidad a la producción agrícola durante el experimento. Con respecto, a las diferencias en pH, se postula una buena capacidad adaptativa en estas dos variedades de *Lactuca sativa*.

**Tabla 3.** Prueba “t” de Student para comprobar si hay diferencias significativas en el comportamiento fisicoquímico del agua de los dos estanques (R1 y R2) utilizados en este estudio

Variable	Observaciones		$\bar{X}$		S		$S^2$		"t" observada	"t" tabulada	g.l.	P<
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2				
Temperatura (°C)	9	9	25.4	26.1	0.6066	0.7605	0.3680	0.5784	2.0319	2.1199	16	0.05
Oxígeno disuelto (ml/l)	9	9	3.71	4.12	0.8633	0.6495	0.7453	0.4219	1.1416	2.1199	16	0.05
pH	9	9	7.3	7.8	0.2997	0.2743	0.0898	0.0752	3.5362	2.1199	16	0.05

La acuaponía (que incluye a la hidroponía), a pesar de tener una historia de conocimiento y aplicación relativamente reciente, puede y debe ser una estrategia sustentable para combatir y reducir la pobreza extrema y malnutrición en poblaciones humanas marginadas de países como el nuestro (Gómez-Merino et al., 2015; Ortega-López et al., 2015). Este estudio se enmarca en este contexto y demuestra que la producción sustentable de algunas variedades de lechugas (en particular, *Lactuca sativa* var. *longifolia* Lam.) es posible bajo esta técnica.

Nuestros resultados en este apartado, concuerdan con los obtenidos por Reyes-Flores et al. (2016, 2020), para la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en un sistema acuapónico similar y demuestran que la introducción previa de los peces a los contenedores, tres semanas antes de la introducción de lechugas, fomentan una adecuada fertilización del



sistema y pone a disposición de las plántulas de lechuga los suficientes nutrientes para su desarrollo y crecimiento.

## **Conclusiones**

Las dos variedades de lechuga utilizadas tuvieron una adaptación, desarrollo y crecimiento diferenciados. Lo anterior puede ser explicado con base en que cada variedad presenta ciclos vegetativos muy diferentes en términos de desarrollo de estructuras radiculares y de producción de hojas.

La variedad *longifolia* fue la más favorecida en el sistema acuapónico propuesto: presentó un mejor y mayor desarrollo vegetativo evaluado con base en las variables estimadas número de hojas y longitud de raíz. Es importante resaltar que, aunque la mayor parte de los individuos muestreados se encuentran en la categoría regular, en cuanto a las características ideales para el consumo, este desarrollo vegetativo basado en número de hojas producidas se encuentra dentro del rango óptimo de producción para consumo humano. La variedad *angustana*, con base en los criterios citados, logró en su mayoría calidades dentro de las categorías “regular” y “malo”, que la hacen salir de los rangos óptimos de producción para consumo humano de este cultivo.

El sistema hidropónico se mantuvo en condiciones favorables para el desarrollo y crecimiento vegetal y la calidad del agua en el sistema se mantuvo estable, brindando estabilidad a la producción agrícola.

Finalmente, con base en los resultados obtenidos se puede afirmar que la producción de lechuga *Lactuca sativa* var. *longifolia* es una alternativa viable en sistemas hidropónicos familiares, particularmente con fines de autoconsumo y dentro de un contexto de sustentabilidad.

## **Agradecimientos**

Se agradece al Colegio de Postgraduados Campus Córdoba por las facilidades prestadas para la realización de la presente investigación. A los dos revisores anónimos que enriquecieron el manuscrito.



## Referencias

- Amaya-Cedrón, L.A. (2019). Prueba Chi-Cuadrado en la estadística no paramétrica. *Ciencias*, 1(1), 13–17. <https://doi.org/10.33326/27066320.2017.1.829>.
- Caldas-Quiñonez, A.L., Castillo-Deza, I.A., Prado-Moscoso, S.Y., Rosales-Quiroz, L.R., & Vargas-Leiva, L.D. (2019). Diseño y construcción de sistemas acuapónicos a pequeña escala para familias de la región Piura. Trabajo de investigación. Facultad de Ingeniería. Universidad de Piura, Perú. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4285>
- Caló, P. (2011). Introducción a la acuaponía. Dirección de Agricultura. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC), Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Gobierno de la Argentina. <http://chilorg.chil.me/download-doc/86262>
- CEIEG-Veracruz. (2018). Cuadernillo municipal Amatlán de los Reyes. Sistema de información municipal. Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica del Estado de Veracruz. Secretaría de Finanzas y Planeación. Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, México. <http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2018/05/Amatl%C3%A1n-de-los-Reyes.pdf>
- Espinosa-Moya, E. A. (2015). Producción de tres especies de herbáceas utilizadas como filtros biológicos en sistemas acuapónicos para la producción intensiva de tilapia (*Oreochromis niloticus* var. *stirling*). Tesis de Maestría en Biociencias, Universidad de Guanajuato. <https://lc.cx/0tJOE8>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2016). Implementing aquaponics in the Gaza Strip. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/3/a-i5620e.pdf>
- Gómez-Merino, F.C., Ortega-López, N.E., Trejo-Téllez, L.I., Sánchez-Páez, R., Zalazar-Marcial, E., & Salazar-Ortiz, J. (2015). La acuaponía: alternativa sustentable y potencial para producción de alimentos en México. *Agroproductividad*, 8(3), 60-65. <https://n9.cl/x6cuv>

Hernández de la Rosa, Y., Hernández Moreno, V. J., Batista Hernández, N. E., & Tejeda Castañeda, E. (2017). ¿Chi cuadrado o Ji cuadrado?. *Medicentro Electrónica*, 21(4), 294-295. <https://lc.cx/wM1TL0>

INTAGRI (Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura). (2017). Acuaponía: Producción de Plantas y Peces. Serie Horticultura Protegida Núm. 32. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. <https://n9.cl/a5sv5>

Larrinaga-Mayoral, J.A., Racotta-Dimitrov, I., & Yamada, S. (2020). Manual técnico de acuaponía combinada con cultivo a cielo abierto adaptado en zonas áridas. Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development Program (SATREPS). JICA, Tottori University, CIBNOR, TUMSAT y JST. Imprenta Fukui, Tottori, Japón. [https://www.jica.go.jp/Resource/mexico/espanol/activities/c8h0vm00007f8s9j-att/manual\\_sp.pdf](https://www.jica.go.jp/Resource/mexico/espanol/activities/c8h0vm00007f8s9j-att/manual_sp.pdf)

Lobillo-Eguívar, P., Fernández-Cabanás, V.M, Blanco-Cabrera, J.M., Ponce-Nieto, A., Quevedo-Ruiz, J., Luque-López, C., Selma-González, J.M. y López-Jaime, J.A. (2016). Guía acuapónica: paso a paso. Cómo poner en marcha y mantener una instalación acuapónica familiar. Asociación de Agricultura Ecológica Social y Comunitaria del Polígono Sur de Sevilla-VERDES del SUR. España. [https://www.academia.edu/30712362/GU%C3%8DA\\_ACUAP%C3%93NICA\\_PASO\\_a\\_PASO](https://www.academia.edu/30712362/GU%C3%8DA_ACUAP%C3%93NICA_PASO_a_PASO)

Martínez-Yáñez, R. (2013). La acuaponía como alternativa de producción agropecuaria sostenible ¿Una posibilidad para tener en casa? *REDICINAySA* 2(5): 16-23. <https://www3.ugto.mx/redicinaysa/images/Revistas2013/redicinaysa-sept-oct-2013-universidad-guanajuato.pdf>

Miranda, F., y Hernández-X., E. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28: 29-179. <https://www.botanicalsciences.com.mx/index.php/botanicalSciences/article/view/1084/776>

Ortega-López, N.E., Trejo-Téllez, L.I., Gómez-Merino, F. C., Alonso-López, A., & Salazar-Ortiz, J. (2015). Crecimiento de tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) y tomate (*Solanum*

*lycopersicum* L.) en un sistema acuapónico abierto. *Agroproductividad*, 8(3), 20-25.  
<https://n9.cl/g79c4>

Rivera-Hernández, J.E., Muñoz-Márquez Trujillo, R.A., Vargas-Rueda, A.F., Alcántara-Salinas, G., Real-Luna, N., & Sánchez-Páez, R. (2019). Flora, vegetación y paisaje de la región de las altas montañas de Veracruz, México, elementos importantes para el turismo de naturaleza. *Agro Productividad* 12(12): 19-29. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1460/1242>

Reyes-Flores, M., Sandoval-Villa, M., Rodríguez-Mendoza, N., Trejo-Téllez, L.I., Sánchez-Escudero, J., & Reta-Mendiola, J. (2016). Concentración de nutrientes en efluente acuapónico para producción de *Solanum lycopersicum* L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (17), 3529-3542.  
<https://www.redalyc.org/pdf/2631/263149506012.pdf>


Reyes-Flores, M., Sandoval-Villa, M., Rodríguez-Mendoza, M. de las N., & Trejo-Téllez, L.I. (2020). Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en acuaponía complementado con fertilización foliar de micronutrientes. *Agro Productividad*, 13(5), 79-86. <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1635/1320>

Rodríguez-Crespo, J. (2021). El test de la T de Student, ¿ sólo en poblaciones normales? Trabajo de fin de grado, Facultad de Matemáticas, Universidad de Santiago de Compostela, España. <https://lc.cx/eviyzu>

Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. Editorial Limusa, México.

Saavedra, G., Corradini, F., Antúnez, A., Felmer, S., Estay, P., & Sepúlveda, P. (2017). *Manual de producción de lechuga*. Instituto de Desarrollo Agropecuario (INIA), Instituto de Investigaciones Agropecuarias Universitarias (IIA). 337 p.  
<https://lc.cx/gS9QkN>

Somerville, C., Cohen, M., Patanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2022). Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala. *Cultivo integral de peces y plantas*.

- 
- Documento Técnico de Pesca y Acuicultura #589. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <https://n9.cl/tvoa1>
- Valdes-Zamora, A. (2018). Análisis y perspectivas de la acuaponía en México. Tesis de maestría en Ciencias en Estrategia Agroempresarial, Universidad Autónoma Chapingo. México. <https://lc.cx/-x1ExG>
- Valenzuela-Antelo, A., Sandoval-Villa, M., Almaraz-Suárez, J.J., Alcántar-González, G., & Bórquez-López, R. (2023). Efecto de la granulometría del tezontle en tomate (*Solanum lycopersicum* L.), pepino (*Cucumis sativus* L.) y lechuga (*Lactuca sativa* L.) en acuaponía. *Terra Latinoamericana*, 41, 1-11. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v41/2395-8030-tl-41-e1598.pdf>
- Viladomat, L. (2012). Handbook for construction and operation of domestic scale aquaponic systems in the West Bank. Oxfam, Italia. <https://www.coursehero.com/file/37855383/Handbook-for-small-scale-aquaponics-in-the-West-Bank-pdf/>