



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN






FACPYA

FACULTAD DE CONTADURÍA PÚBLICA Y ADMINISTRACIÓN

VinculaTégica
EFAN

Producción acuapónica de especies acuícolas endémicas: incorporación de tecnologías limpias y generación del modelo matemático

(Aquaponic production of endemic aquaculture species: incorporation of clean technologies and generation of the mathematical model)

Martin Tapia-Salazar¹ ; Laura Adame-Rodríguez²  y Maricela Villanueva-Pimentel³ 

¹ Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro (México), mtapia@itspa.edu.mx

² Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro (México), ladame@itspa.edu.mx

³ Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro (México), mwillanueva@itspa.edu.mx

* Autor de Contacto

Cómo citar: Tapia-Salazar, M., Adame-Rodríguez, L., & Villanueva-Pimentel, M. (2026). Producción acuapónica de especies acuícolas endémicas: incorporación de tecnologías limpias y generación del modelo matemático. *Vinculatégica EFAN*, 12(2), 151–165. <https://doi.org/10.29105/vtga12.2-1238>

Información revisada por arbitraje tipo doble par ciego.

Recibido: 2 de mayo del 2025

Aceptado: 29 de mayo del 2025

Publicado: 31 de marzo del 2026



Copyright: © 2025 por los autores; licencia no exclusiva otorgada a la revista VinculaTégica EFAN. Este artículo es de acceso abierto y distribuido bajo una licencia de Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0). Para ver una copia de esta licencia, visite <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Resumen

La presente investigación se desarrolla con el objetivo de generar un modelo matemático para la proyección de producción acuícola de especies endémicas del lago de Pátzcuaro con incorporación de tecnologías limpias en un sistema acuapónico a nivel familiar. Se desarrolla una metodología con enfoque cuantitativo en cuatro etapas: a) Estandarización de parámetros de funcionalidad del sistema acuapónico, b) Análisis estadístico de variables, c) Diseño de modelo matemático - estadístico para pronóstico de producción y d) Análisis situacional de incorporación de tecnologías limpias. Los resultados obtenidos muestran que el grado de asociación entre las variables dependientes Talla y Peso, y la variable independiente Temperatura, tienen un coeficiente de correlación de .1869 en relación a Temperatura-Talla, mientras que para Temperatura-Peso es de .1923, en ambos casos se presenta una relación lineal positiva pero débil, ya que los valores están más cercanos a 0. Respecto al coeficiente de correlación entre las variables Talla y Peso se muestra una relación lineal positiva fuerte de .7482, lo que demuestra el crecimiento relacionado de las dos variables en el desarrollo de las especies endémicas acuícolas. Se concluye que incorporar tecnologías limpias en el proceso de alimentación es factible para hacer de la acuaponía una biotecnología sustentable.

Palabras clave: Acuaponia, biotecnología, producción, sustentable, tecnologías limpias

Códigos JEL: A13, D41, D81, I10, I12

Abstract

This research is developed with the objective of generating a mathematical model for the projection of aquaculture production of endemic species of Lake Pátzcuaro incorporating clean technologies into a family-scale aquaponic system. A quantitative methodology is developed in four stages: a) Standardization of aquaponic system functionality parameters, b) Statistical analysis of variables, c) Design of a mathematical-statistical model for production forecasting, and d) Situational analysis of the incorporation of clean technologies. The results obtained show that the degree of association between the dependent study variables, Size and Weight, and the independent variable Temperature, have a correlation coefficient of .1869 in the Temperature-Size relationship, while for Temperature-Weight it is .1923, in both cases a positive but weak linear relationship, since the values are closer to 0. With respect to the correlation coefficient between the variables Size and Weight, it shows a strong positive linear relationship of .7482, which demonstrates the related growth of the two variables in the development of endemic aquaculture species. It is concluded that incorporating clean technologies in the feeding process is feasible to make aquaponics a sustainable biotechnology.

Key words: Aquaponics, biotechnology, production, sustainable, clean technologies

JEL Codes: A13, D41, D81, I10, I12

Introducción

En esta investigación se plantea como objetivo generar un modelo matemático para la proyección de producción acuícola de especies endémicas del lago de Pátzcuaro con incorporación de tecnologías limpias en un sistema acuapónico a nivel familiar. La metodología con enfoque cuantitativo se fundamenta en cuatro etapas: a) Estandarización de parámetros de funcionalidad del sistema acuapónico. b) Análisis estadístico de variables. c) Diseño de modelo matemático - estadístico para pronóstico de producción y d) Análisis situacional de incorporación de tecnologías limpias.

La implementación de tecnologías limpias en el modelo de Acuaponía pretende incidir en manera sustentable en mejorar las condiciones de producción de la acúmara (*Algansea lacustris*), especie endémica del lago con gran relevancia económica, social, cultural y ambiental. Con ello además de contribuir a la conservación de la misma, se incide en la preservación del recurso hídrico del ecosistema y en generar conocimiento sobre las biotecnologías amigables con el medio ambiente en aras de impulsar sistemas productivos sostenibles en las comunidades de esta región ya que se puede disminuir la presión de la pesquería de estas especies en el lago de Pátzcuaro, Michoacán, presentando a la vez una oportunidad de mejorar la calidad de vida, la generación de fuentes alimenticias para autoconsumo y/o comercialización de excedentes a nivel local. La acuaponía es un sistema productivo que integra la acuicultura y la hidroponía, se destaca por su capacidad de producir alimentos de forma sostenible, promoviendo el reciclaje de nutrientes, el uso eficiente del agua y generando alimentos de alta calidad e inocuidad (Baganz, et. al., 2022; Cifuentes, et. al., (2023). Un sistema acuapónico con recirculación de agua (RAS) es una alternativa económica para producir alimentos saludables en áreas rurales y urbanas con recursos limitados de agua y tierra (Zappernick, et. al., 2022).

La generación de un modelo matemático-estadístico para eficientar la producción acuícola en modelos acuapónicos permitirá la proyección en diferentes escalas de producción, factibles para la implementación sistemática de modelos de traspatio en la región lacustre de Pátzcuaro, Michoacán. La incorporación de tecnologías limpias en el proceso de alimentación es una opción factible para hacer de la acuaponía una biotecnología sustentable y que aporta un beneficio ecológico para la preservación de especies acuícolas endémicas y del recurso hídrico del lago, así como una alternativa potencial de producción de fuente proteínica en alimentos de calidad para el autoconsumo familiar.

Se considera importante dar seguimiento a este proyecto a otra escala productiva como futura línea de investigación, para generar las condiciones de adopción y transferencia tecnológica por parte de las familias indígenas de esta región y que se hagan aportaciones relevantes en cuanto a una mayor incidencia para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS). Según Valdez,

et.al (2023), la Agenda 2030 integrada por 17 ODS ha sido creada para atender las necesidades sociales, económicas, políticas y ambientales que enfrenta la humanidad en esta crisis global. Para este autor, el uso de acuaponía tiene un gran potencial para atender problemas de seguridad alimentaria, impactos ambientales negativos, desarrollo económico y bienestar social. La acuaponía representa una tecnología verde prometedora para la seguridad alimentaria y el cambio climático (Verma, et. al., 2023).

Método

La metodología implementada se desarrolla mediante un enfoque cuantitativo y estructurado en las siguientes etapas:

1. Estandarización de parámetros de funcionalidad del sistema acuapónico, con la generación de base de datos sobre mediciones periódicas en los parámetros de control, función y producción acuícola en el sistema.

En esta etapa se tomaron las mediciones periódicas de los parámetros de control del sistema de producción acuícola. Para llevar a cabo el análisis de calidad de agua, los parámetros de control medidos fueron: Nitratos, Nitritos, Amonio y Fósforo, D.Q.O. (Demanda de oxígeno), Temperatura y pH. Se utilizó para ello el HI 83099 (Cod and Multiparameter Bench Photometer), además de técnicas de detección con ayuda del HI 839800 (COD REACTOR and Test Tuve Heater 2008 Series). Estos análisis se midieron en entrada y salida del sistema de filtración por considerar este el sitio adecuado para evaluar la actividad biológica dentro del sistema acuapónico.

La producción de la especie acuícola endémica Acúmara (*Algansea lacustris*), se fundamenta en el incremento de su peso y talla a través de biometrías durante el periodo de crecimiento. En esta investigación se tomaron biometrías al inicio, y al final de la siembra de 200 organismos en etapa juvenil para un periodo de dos meses. Para el caso de la especie vegetal el crecimiento o productividad se valora a partir de las medidas de análisis de área foliar y tamaño de hoja y raíz. Para este proyecto, el alcance de la investigación se delimitó para la producción acuícola considerando que es una especie endémica.

2. Análisis Estadístico de variables.

Se realizó un análisis de correlación de las variables a partir de la base de datos recolectados sobre peso y talla de la especie acuícola endémica. Para este fin se utilizó el software estadístico SPSS V27.

3. Diseño de modelo matemático - estadístico para pronóstico de producción.

Desarrollo del modelo matemático que permite pronosticar el comportamiento de las especies acuícolas endémicas, tomando en cuenta las variables dependientes Talla, Peso y el factor de

influencia Temperatura, además de considerar las correlaciones, covarianzas y grado de asociación de tal manera que permitan inferir a partir de este modelo matemático proyecciones futuras de la producción acuícola en este tipo de sistemas acuapónicos con las condiciones de funcionalidad aquí descritas.

4. Análisis situacional de procesos de automatización y la alternativa de tecnologías limpias en la alimentación de la especie acuícola en el sistema.

Para el desarrollo de esta acción fue necesario tomar como referencia el enfoque estratégico, haciendo uso de diferentes técnicas para la obtención de datos, se aplicó el análisis de Fortalezas Oportunidades Debilidades y Amenazas (FODA) y la Matriz de Factores Interno (MEFI), así como la Matriz de factores externos (MEFE). Se valoró la adaptación de un alimentador automático para suministro controlado y monitoreado digitalmente.

Participantes

Los resultados presentados en este artículo se generan a partir del proyecto de investigación financiado al Cuerpo Académico en Consolidación ITSPA-CA-1, por el Tecnológico Nacional de México (TecNM) a través del Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro (ITSPA) en la convocatoria 2023. El proyecto antes mencionado tuvo una incidencia social para un productor de Chapultepec comunidad indígena de la zona lacustre de Pátzcuaro, Michoacán, con la transferencia de un modelo acuapónico básico probado por un periodo de 2 años de trabajo experimental y colaborativo con investigadores del Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera CRIAP Pátzcuaro, del Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentable (IMIPAS). El presente proyecto toma como base el modelo acuapónico transferido.

Es importante mencionar que con los resultados generados se contribuye con una alternativa innovadora de producción acuícola para las comunidades de la región lacustre de Pátzcuaro, además de fomentar la conservación de las especies endémicas del lago y atender la problemática de la contaminación de su recurso hídrico, así como también el desarrollo local de las mismas, con ello, se tiene proyectado una mayor participación de productores de las comunidades indígenas de la región.

Técnica e Instrumento

Las técnicas e instrumentos requeridos y usados en esta investigación se concentran en la tabla 1, en la que se muestran los diversos procesos de producción acuapónica, así como en las etapas del presente estudio.

Tabla 1. *Técnicas e instrumentos de medición.*

Variables, Técnicas e instrumentos de medición				
Elemento	Parámetro	Indicador	Técnica	Instrumento
Sistema acuapónico	Agua: Características fisicoquímicas	Nitratos, Nitritos, Amonio y Fósforo, D.Q.O. (Demanda de oxígeno), Temperatura y pH.	Se recolecta una muestra de agua en forma periódica, se procesa en el laboratorio de ciencias básicas.	HI 83099 (Cod and Multiparameter Bench Photometer), además de técnicas de detección con ayuda del HI 839800 (COD REACTOR and Test Tuve Heater 2008 Series). Termómetro.
	Peces	Biometría en peces: Peso y talla	Se realiza un muestreo del 10% de los organismos en estanque.	Báscula, regla y sustancia para control de estrés de los organismos.
	Hortalizas	Número de hojas y área foliar	Se miden de forma periódica el área foliar y número de hojas.	Regleta
	Sistema de aireación y recirculación de agua	Funcionamiento adecuado de sistema de bombeo	Circulación del agua en el estanque. Correcta oxigenación	Filtros, Bomba de agua

Fuente. Base descriptiva de Agudelo Camargo (2021).

Procedimiento

Para la establecer la funcionalidad del sistema acuapónico se consideró estandarizar las condiciones requeridas para el crecimiento de la acúmara, especie acuícola endémica en estudio, generando las condiciones en los parámetros fisicoquímicos del agua, mediante un control de medición con espacio de temporalidad de una semana. Las muestras de agua se tomaron en la entrada de agua al sistema y en la salida del sistema de filtración y se analizaron en un multiparamétrico en el laboratorio de ciencias básicas del ITSPA.

El procedimiento para la obtención de datos biométricos de la especie acuícola se tomó al inicio y al final de un lapso de dos meses de funcionamiento del sistema, considerando que la acúmara es una especie de lento crecimiento que alcanza su peso y talla de consumo promedio a los seis meses bajo condiciones controladas.

La generación del modelo matemático para la predicción y producción de especies endémicas requirió de diversas actividades de análisis estadístico a partir de la base de datos de las variables: talla, peso y temperatura obtenidas durante el periodo de ejecución del proyecto las cuales se describen en el siguiente resumen gráfico.

Figura 1. Metodología para la generación del modelo matemático



Resultados

Los resultados sobre las medidas y estandarización de parámetros fisicoquímicos para hacer funcional el sistema acuapónico en cuanto a los valores de control requeridos para la producción óptima de las especies acuícola se resumen en las tablas 2, 3 y 4 que se presentan a continuación:

Tabla 2. Valores promedio de parámetros de calidad de agua.

Parámetro de calidad de agua	Entrada	Filtro
Amonio mg/l	0.05 ± 0.00	0.00 ± 0.02
Nitratos mg/l	7.9± 18.5	9.0 ± 18.5
Nitritos mg/l	0.02 ± 0.16	0.02 ± 0.15
D.Q.O mg/l	-----	-----
Fósforo mg/l	0.1 ± 0.5	0.0 ± 0.6

Todos los parámetros referidos en la tabla anterior están dentro de los límites permitidos o requeridos en cumplimiento de las necesidades de producción acuícola.

Tabla 3. *Valores de temperatura, oxígeno disuelto y pH del sistema acuapónico.*

Temperatura (promedio)	Oxígeno Disuelto (promedio)	pH (promedio)
20.71 °C	7.0 mg/l	8.3

La temperatura promedio del sistema se observa dentro de la temperatura requerida para el crecimiento adecuado de la especie acuícola acúmara (14-21°C, según Hoil-Rosas, 2017), al igual que el valor de oxígeno disuelto con un valor adecuado dentro del margen (4 a 7.3 mg/l, de acuerdo con Hoil-Rosas, 2017). Respecto al valor del pH, el valor promedio obtenido fue mayor al referido como pertinente dentro de un sistema acuapónico (debe estar cercano a la neutralidad, según Candarle, 2014), sin embargo, en el estudio se identifica que la especie es adaptable y resiliente a las variaciones tanto de temperatura como del parámetro de pH.

Tabla 4. *Resumen de la estadística descriptiva de la biometría (talla y peso) de la especie acuícola.*

Estadístico	Talla 1 (cm)	Peso 1 (gr)	Talla 2 (cm)	Peso 2 (gr)
Media	12.1	16.44	12.93	19.97
Mediana	12.1	14.00	12.00	18.00
Desviación estándar	1.7	5.99	1.17	7.94
Varianza de la muestra	3.0	35.82	1.37	63.07

En la tabla anterior se observa que el crecimiento promedio de la especie acuícola comparando peso 1 y talla 1 (de inicio) con peso 2 y talla 2 (de final) es con tendencia incremental. También se observa que la desviación estándar de los datos es menor a medida que transcurre el tiempo, infiriendo una relación más fuerte entre la talla y el peso.

En este estudio, los parámetros de talla y peso como medidas biométricas del crecimiento de la especie acuícola se consideraron como variables para relacionarlas con la temperatura del sistema acuapónico y el análisis de correlación de estas variables indica que existe una correlación negativa entre la variable independiente: temperatura y las variables dependientes: Talla (-0.187) y Peso (-0.192), identificando que la influencia de la temperatura es un factor importante en el comportamiento del peso y talla de la especie endémica acuícola, a medida que la temperatura disminuye el desempeño de la especie se ve afectada, con un impacto similar en las dos variables de medición dependientes. Se identifica que la correlación entre las variables Talla y Peso muestra una correlación positiva de .748, en la que los valores de ambos factores tienden a incrementarse juntos.

Tabla 5. *Correlaciones entre temperatura, talla y peso.*

	Temperatura (°C)	Talla (cm)	Peso (gr)
Temperatura (°C)	1.000	-0.187	-0.192
Talla (cm)	-0.187	1.000	0.748
Peso (gr)	-0.192	0.748	1.000

A través del análisis de medidas de la asociación entre dos variables, específicamente con el cálculo de la covarianza, en dónde Anderson et. al. (2008) la identifican como “una medida descriptiva de la asociación entre dos variables” y establece la formula siguiente:

Medida descriptiva de la asociación entre dos variables

$$S_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n - 1}$$

“Por tanto, S_{xy} positivo indica que hay una asociación lineal positiva entre x y y ; es decir, que a medida que el valor de x aumenta, el valor de y aumenta también. Si S_{xy} es negativo indica que hay una asociación lineal negativa entre x y y ; esto es, conforme el valor de x aumenta, el valor de y disminuye. Por último, si los puntos tienen distribución uniforme en los cuatro cuadrantes, S_{xy} tendrá un valor cercano a cero, lo que indicará que no hay asociación lineal entre x y y ” (Anderson et. al, 2008, p. 112).

El resultado del análisis de covarianza muestra un resultado negativo entre el factor Temperatura y las variables Talla (-0.245) y Peso (-1.283) de las especies endémicas acuícolas, y que a medida que los valores de la temperatura descienden los valores de Talla y Peso se ven afectados negativamente, con un impacto mayor en el pesos de las especies.

Tabla 6. *Análisis de covarianza.*

	Temperatura (°C)	Talla (cm)	Peso (gr)
Temperatura (°C)	1.113	-0.245	-1.283
Talla (cm)	-0.245	1.545	5.881
Peso (gr)	-1.283	5.881	39.992

Verificación del coeficiente de correlación por medio del producto - momento de Pearson, con la finalidad de medir el grado de relación entre las variables. Tomando de referencia los comentarios de Anderson et al. (2008, p.114). sobre los coeficientes de correlación “El coeficiente de correlación va desde -1 hasta +1. Los valores cercanos a -1 o a +1 corresponden a una relación lineal fuerte. Entre más cercano a cero sea el valor de la correlación, más débil es la relación lineal. El cálculo de correlación se aplicará la siguiente fórmula, descrita por los autores Anderson et al (2008).

El grado de asociación entre las variables en estudio dependientes Talla y Peso y la variable independiente Temperatura, analizado mediante el coeficiente de correlación muestra que la relación de Temperatura -Talla es de .1869 y Temperatura-Peso de .1923, mostrando en ambos casos una relación lineal positiva pero débil, ya que los valores están más cercanos a 0.

El coeficiente de correlación entre las variables Talla y Peso muestra una relación lineal positiva fuerte de .7482, lo que demuestra el crecimiento relacionado de las dos variables en el desarrollo de las especies endémicas acuícolas.

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

La ecuación/modelo matemática-estadística para el pronóstico de la variable dependiente Peso, tomando en cuenta los factores de Talla y Temperatura, es:

$$Y = -21.02 + (-0.32) x_1 (\text{temperatura}) + 3.75 x_2 (\text{talla})$$

$$R = .75$$

Lo anterior, muestra un impacto negativo de la temperatura y una influencia positiva de la talla en la ecuación de pronóstico para el peso de las especies. Con un coeficiente de correlación positiva.

Tomando en cuenta la variable Talla como variable dependiente, y Peso, Temperatura como factores de impacto, la ecuación/modelo matemática-estadística para el pronóstico es:

$$Y = 10.16 + (-0.05) x_1 (\text{temperatura}) + .15 x_2 (\text{peso})$$

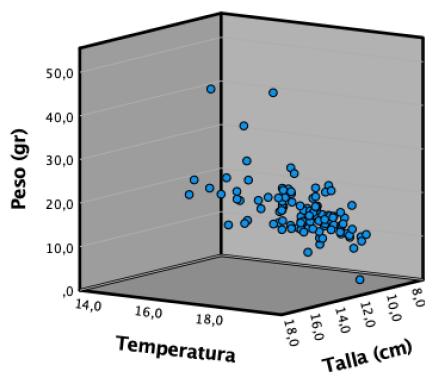
$$R = .75$$

Se identifica un impacto negativo menor de la temperatura y una influencia positiva menor del peso, con respecto a la ecuación de pronóstico para el peso de las especies.

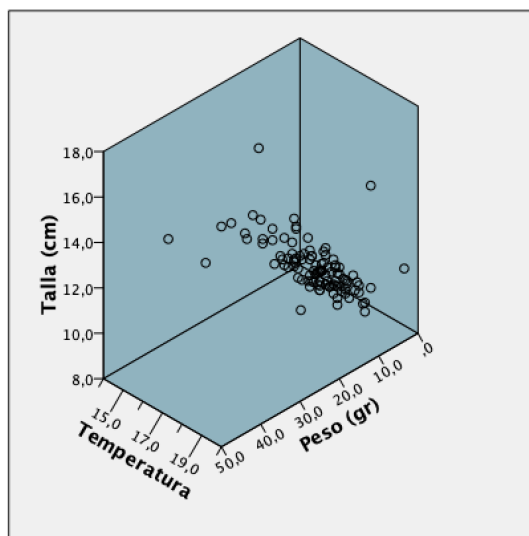
Por otro lado, la representación gráfica del modelo de pronóstico se expresa de la siguiente manera

Figura 2. Representación gráfica del modelo de pronóstico.

Dispersión 3-D Simple de Peso (gr) por Temperatura por Talla (cm)



Dispersión 3-D Simple de Talla (cm) por Temperatura por Peso (gr)



A partir de los resultados obtenidos en el análisis situacional sobre las posibilidades de automatizar el proceso de alimentación de la especie acuícola, se pudo identificar una tendencia favorable hacia la adopción de tecnologías limpias como lo es un alimentador automático con conexión de red local/online, programación por WIFE, sistema de monitoreo de oxígeno disuelto y pH con alarma de rango de niveles de estos y su respaldo de datos e historial en gráficas. Con ello, se proporciona posibilidades de eficiencia del modelo acuapónico al ahorrar tiempo de alimentación, energía y tener un mejor control de parámetros fisicoquímicos.

Discusión

Los valores de los parámetros fisicoquímicos del agua referidos en las tablas 2 y 3 de resultados permiten observar que durante el tiempo de corrida experimental del estudio se logró mantener el sistema en las condiciones requeridas para el crecimiento adecuado de la acúmara, aclarando que para el indicador de medida de pH no se tuvieron los valores de neutralidad recomendados para este tipo de sistemas acuapónicos, sin embargo, se destaca que a pesar de ello la especie logró adaptarse a estas condiciones por su resiliencia y margen de tolerancia relativamente amplio a este factor.

El funcionamiento adecuado de los sistemas que conforman un modelo acuapónico es imprescindible para hacer de este tipo de biotecnología una alternativa viable de producción de alimentos. La generación de conocimiento desde la perspectiva ingenieril y tecnológico es el área que más se ha desarrollado, pues según Cifuentes et, al., (2023) el 44% de las investigaciones realizadas sobre acuaponía se relacionan con la categoría de desarrollo de ingeniería, nuevas tendencias y tecnologías, seguida con un 28% de investigación con perspectiva biológica y un 20%

sobre aspectos ambientales y sociales, y solamente un 8% de las investigaciones se relacionan con aspectos de rentabilidad.

Incidir en la identificación de parámetros ingenieriles de producción acuapónica es de gran relevancia, ya que a pesar de existir un gran interés a nivel mundial sobre estos modelos de producción, dada la creciente demanda y preferencia de alimentos cultivados localmente de forma respetuosa con el medio ambiente y sostenible, también existen algunos estudios donde se destacan algunas complicaciones en el desarrollo y eficiencia de este modelo productivo, tal es el caso de Colt et, al., (2022) donde se menciona que muchos de los experimentos acuapónicos publicados se basan en sistemas pequeños, diseñados mediante métodos de ensayo y error, implementados con especies apropiadas localmente limitadas, recursos financieros limitados y mercados distorsionados. De forma similar, Sasi, et. al., (2023) citan que el uso de acuaponía a gran escala de producción se ve limitado por varios desafíos importantes como mantener una química y un pH óptimos del agua, controlar las infecciones en peces y plantas y aumentar la productividad de forma eficiente, económica y sostenible. También Zhang, et al (2022) refirieron que en estos sistemas existen problemas como la baja eficiencia en el uso del nitrógeno, los altos costos de aireación y la calidad del agua deficiente.

No obstante, generar investigaciones sobre alternativas de producción sustentable con menor consumo de recursos y menor impacto ambiental, además de contribuir a la conservación de especies endémicas, como es el caso de la acúmara, es crucial para la región del lago de Pátzcuaro, que es la zona de incidencia social de este estudio y donde es primordial la conservación del recurso hídrico. Uno de los retos actuales es la producción de alimento inocuo y de forma sustentable que pueda ser empleada por la sociedad y capaz de cultivar especies de calidad en densidad, aprovechando los nutrientes y controlando la disponibilidad de agua para mejorar las condiciones climáticas (Holguín-Peña, et. al., 2023), con ello la acuaponía se convierte en un modelo potencial para asumir tal reto.

En el 2023, Basumatary y otros autores realizaron un estudio cuantitativo exhaustivo sobre la producción científica mundial en acuaponía entre el 2004 y 2021 con base de datos Scopus, los resultados mostraron que, en los últimos años, las investigaciones versan sobre la optimización del rendimiento del sistema; tratamiento de aguas residuales; gestión de nutrientes; adopción de tecnologías y variedades de plantas y peces. En el estudio se destaca a Estados Unidos, Europa y algunos países asiáticos, especialmente China e India como las regiones más innovadoras con investigaciones significativas en acuaponía. En México, la investigación en acuaponía es incipiente y la implementación de estos sistemas con especies endémicas es importante desde el punto de vista de conservación de biodiversidad, conservación del recurso hídrico y fuentes potenciales para contribuir a la seguridad alimentaria.

En la tabla 5 de resultados de esta investigación, se observa que los datos entre talla 1 y 2 y

peso 1 y 2 existe una diferencia incremental, destacando que la acúmara es una especie con potencial acuícola y acuapónica por su adaptabilidad a condiciones variantes y por su importancia nutritiva, cultural y biológica en la región lacustre de Pátzcuaro. El alcance de este estudio para la obtención y uso de información sobre la especie acuícola parte de la posibilidad de haber estandarizado y controlado sus condiciones de crecimiento, no así las del sistema hidropónico en el que se ha suscitado cierta complejidad en sistematizar su funcionamiento. Esta sigue representando un área de oportunidad de investigación, ya que en algunos estudios se ha reportado la necesidad de mejorar la cantidad de nutrientes en la unidad hidropónica debido a que el agua residual de los peces no siempre es suficiente en calidad ni en cantidad para satisfacer las demandas nutricionales de las plantas y en diversas ocasiones se requiere adicionar soluciones balanceadas con micronutrientes y fertilizantes minerales al sistema; ajustar la pendiente de los canales de cultivo en caso de Técnicas de Película Nutritiva; o bien adaptar las condiciones del sistema acordes tanto a la especie acuícola como vegetal (Goicochea, et. al., 2021; Duarte, et.al., 2023; Mendonça, et. al., 2023).

La incorporación de tecnologías limpias a este tipo de sistemas productivos es un aspecto de gran importancia para contribuir a la eficiencia en la producción acuícola y vegetal que se obtiene con la acuaponía. En este estudio se realizó un análisis situacional sobre las posibilidades de incorporar un sistema de alimentación automatizado a la unidad de producción acuícola con la finalidad de sistematizar y controlar digitalmente el proceso de alimentación y contribuir a la optimización y sustentabilidad del modelo, concluyendo que es factible contribuir con ello a la eficiencia del modelo.

Existen diversos estudios donde se ha visibilizado integrar las ventajas digitales en estos sistemas productivos, en el 2024, Abidin y otros autores reportan en su investigación una propuesta de sistema acuapónico inteligente, donde se integra un sistema de monitoreo en tiempo real basado en el Internet de las Cosas (IoT) para la temperatura del aire, la humedad del aire, el nivel, pH, temperatura y sólidos disueltos totales del agua, además de un sistema de automatización para la alimentación. Para este monitoreo en tiempo real, Samikannu, et. al., (2023) también reportan el uso de una aplicación que utiliza gemelos digitales dentro del marco de IoT y concluyen que con la introducción de la automatización inteligente se reduzca la cantidad de trabajo manual y mejore la gestión de procesos acuapónicos. Al respecto, Zappernick, et. al., (2022), reportan que los costos de mano de obra se reducen si en el sistema acuapónico se realiza un monitoreo automatizado de la calidad del agua.

La creación de un modelo matemático que permita la proyección de la producción acuícola en un sistema acuapónico con ciertas condiciones de funcionalidad se asume que pueda tener un gran impacto en la identificación de alternativas para efficientar este tipo de sistemas productivos

innovadores, que tienden a resolver problemáticas reales y que buscan incidir socialmente en mejorar la vida de las poblaciones en la región lacustre de Pátzcuaro, Michoacán (Tapia, et. al. 2023), debido a que los proyectos de acuaponía se alinean de forma directa e indirecta con algunas metas de los ODS de la Agenda 2030, pues según Valdez et. al., (2023) estos proyectos tienen un impacto positivo en 11 de los 17 Objetivos de dicha Agenda.

Generar conocimiento sobre la sistematización y eficiencia de un modelo de acuaponía para especies endémicas y con la consigna de preservar el recurso hídrico es sustancial para el deterioro ambiental que se vive actualmente en este emblemático lago de Michoacán y México, por lo que las aportaciones en investigación científica de esta índole son necesarias para ir consolidando estas prácticas de producción innovadora. La acuaponía es un sistema de producción de alimentos nutritivos, respetuoso con el medio ambiente y una alternativa importante para las regiones urbanas con baja disponibilidad de recursos hídricos (David, et. al., 2022) y tiene la ventaja de acercar al consumidor a la fuente de origen del alimento dando mayor certeza sobre su inocuidad, debido a ello, los consumidores conscientes del medio ambiente y la salud presentan una disposición a pagar más altos precios por los productos acuapónicos que por los productos del campo (Meyer, 2025), hecho que lo visibiliza como una potencial fuente de ingresos familiar.

Lo anterior, pone de manifiesto la relevancia de ir posicionando poco a poco el desarrollo teórico y práctico de la producción acuapónica en aras de un bienestar de las comunidades de esta región de estudio, pues según Bojórquez, et. al., (2024), los productores de alimentos presentan mayores niveles de seguridad alimentaria que aquellos que no lo son y por ende se torna significativo no perder a este segmento de la población rural, siendo necesario recuperar los apoyos directos en cuanto a la producción de alimentos con infraestructura, el manejo técnico del agua y la investigación.

Referencias

- Abidin, Z., Putra, A. D., Zainuri, A., & Maulana, E. (2024, August). Smart Aquaponics with Automatic Sensors Cleaning for Zero Waste Integrated Farming System using Internet of Things. In 2024 International Electronics Symposium (IES) (pp. 120-125). IEEE. DOI: 10.1109/IES63037.2024.10665792
- Agudelo Camargo, W. A. (2021). Propuesta de un sistema de acuaponía para promover la agricultura sostenible y mejorar la economía del municipio de Tibacuy, caso de estudio finca Los Naranjos.
- Anderson, D. R., Sweeney, D. J., & Williams, T. A. (2008). *Estadística para administración y economía* (10.ª ed.). Cengage Learning.
- 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>
- Basumatary, B., Verma, A. K., & Verma, M. K. (2023). Global research trends on aquaponics: a systematic review based on computational mapping. *Aquaculture International*, 31(2), 1115-1141. <https://doi.org/10.1007/s10499-022-01018-y>

- Bojórquez, C.A.L., Flores, N.A., Domínguez, C. J.G., Medina, G. M.B. (2024) Construyendo caminos sostenibles a partir de la mercadotecnia, el emprendimiento social y la agroecología / coordinadores — Ciudad de México : Comunicación Científica,. (Colección Ciencia e Investigación). 260 páginas : gráficas, mapas ; 23 x 16.5 centímetros DOI: 1052501/cc.193 ISBN: 978-607-9104-45-0
- Candarle, P. (2014), Centro Nacional de desarrollo Acuícola (CENADAC), “Técnicas de acuaponía”, 1- 47 pp.
- Cifuentes, AA, Leguizamón, AK, Zambrano, JA y Landines, MA. (2023). Factores clave y tendencias en los sistemas acuapónicos: revisión de literatura. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia* , 70 (3), e8. Publicación electrónica del 18 de abril de 2024. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v70n3.107673>
- Colt, J., Schuur, A. M., Weaver, D., & Semmens, K. (2022). Engineering design of aquaponics systems. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 30(1), 33-80. <https://doi.org/10.1080/23308249.2021.1886240>
- David, L. H., Pinho, S. M., Agostinho, F., Costa, J. I., Portella, M. C., Keesman, K. J., & Garcia, F. (2022). Sustainability of urban aquaponics farms: An emery point of view. *Journal of Cleaner Production*, 331, 129896. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129896>
- Duarte, E., Silva, E. D. B., Moreira, F. D. C., Braga, D., & Santos, S. G. D. (2023). Nutrients in lettuce production in aquaponics with tilapia fish compared to that with hydroponics. *Revista Caatinga*, 36, 21-32. <https://doi.org/10.1590/1983-21252023v36n103rc>
- Goicochea, J. C., Bacalla, S. B. O., Valle, J. M. O., Pinedo, S. Y. R., & Bernal, J. D. D. (2021). Determination of the symbiosis of three cultivation densities of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and four varieties of lettuces (*Lactuca sativa*), installed in an aquaponic system with water recirculation technology, Corosha district, Amazonas.
- Hoil-Rosas, C. A. (2017). Sistema computacional para el análisis y manejo del fotoperiodo en ciclos reproductivos de la *Algasea lacustris*. Tesis para obtener el grado de maestría en ciencias de ingeniería de cómputo. IPN. México, Ciudad de México.
- Holguín-Peña, Ramón Jaime, Ruiz-Juárez, Daniel, & Medina-Hernández, Diana. (2023). Producción de acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.) con efluente del cultivo de robalo (*Centropomus viridis*) en un sistema acuapónico. *Terra Latinoamericana*, 41, e1683. Epub 14 de noviembre de 2023. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1683>
- Mendonça, V. V., Silva, C. A. D., Mendonça, C. R., Silva, C. J. D., & Guimarães, C. M. (2023). Lettuce production in hydroponic and fish-farming aquaponic under different channel
- Meyer, J., Weisstein, F. L., Kershaw, J., & Neves, K. (2025). A multi-method approach to assessing consumer acceptance of sustainable aquaponics. *Aquaculture*, 596, 741764. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741764>
- Samikannu, R., Koshariya, A. K., Poornima, E., Ramesh, S., Kumar, A., & Boopathi, S. (2023). Sustainable Development in Modern Aquaponics Cultivation Systems Using IoT Technologies. In *Human Agro-Energy Optimization for Business and Industry* (pp. 105-127). IGI global. DOI: 10.4018/978-1-6684-4118-3.ch006
- Sasi, S., Prasad, K., Weerasinghe, J., Bazaka, O., Ivanova, E. P., Levchenko, I., & Bazaka, K. (2023). Plasma for aquaponics. *Trends in Biotechnology*, 41(1), 46-62.
- Tapia-Salazar, M., Adame-Rodríguez, L., & Villanueva-Pimentel, M. (2023). Metodológica para la gestión de innovación y su transferencia tecnológica: incidencia en la zona lacustre de Pátzcuaro, Michoacán. *Vinculatégica EFAN*, 9(2), 169–181. <https://doi.org/10.29105/vtga9.2-362>
- Valdez Martínez , D., Soto Alcalá , J., & Hernández Sandoval , P. (2023). Contribución de los sistemas acuapónicos en los objetivos del desarrollo sostenible y su relación con el COVID-19. *Revista Ra Ximhai* , 19(3 Especial), 83–103. <https://doi.org/10.35197/rx.19.03.2023.04.dv>
- Verma, A. K., Chandrakant, M. H., John, V. C., Peter, R. M., & John, I. E. (2023). Aquaponics as an integrated agri-aquaculture system (IAAS): Emerging trends and future prospects.

- Technological Forecasting and Social Change, 194, 122709 <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107716>
- Zhang, Y., Zhang, Y. K., & Li, Z. (2022). A new and improved aquaponics system model for food production patterns for urban architecture. *Journal of Cleaner Production*, 342, 130867. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130867>
- Zappernick, N., Nedunuri, K. V., Islam, K. R., Khanal, S., Worley, T., Laki, S. L., & Shah, A. (2022). Techno-economic analysis of a recirculating tilapia-lettuce aquaponics system. *Journal of Cleaner Production*, 365, 132753. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132753>