



CALIDAD SENSORIAL, SEGURIDAD ALIMENTARIA Y SOSTENIBILIDAD DE TILAPIA EN POLICULTIVO CON MAÍZ HIDROPÓNICO

SENSORY QUALITY, FOOD SAFETY, AND SUSTAINABILITY OF TILAPIA IN POLYCULTURE WITH HYDROPONIC CORN

Stephanie Catalina Beltran Vera^{*1}

E-mail: stephanie.beltranv@ug.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7239-7133>

Lorena Isabel Mejía Burgos¹

E-mail: lorena.mejiab@ug.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3593-595X>

Rafael Fernando Montenegro Ramírez¹

E-mail: rafael.montenegror@ug.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4184-5862>

Edgar Johni Bustamante Romero¹

E-mail: johni.bustamanter@ug.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8376-5356>

¹Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

^{*}Autor para correspondencia

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Beltran Vera, S. C., Mejía Burgos, L. I., Montenegro Ramírez, R. F., & Bustamante Romero, E. J. (2026). Calidad sensorial, seguridad alimentaria y sostenibilidad de Tilapia en policultivo con maíz hidropónico. *Universidad y Sociedad* 18(1). e5778.

RESUMEN:

El estudio evaluó la aceptación sensorial de carne de tilapia (*Oreochromis* sp.) cultivada bajo condiciones sostenibles, alimentada con maíz hidropónico en un sistema multitrófico integrado. El objetivo fue analizar la percepción de consumidores respecto a sabor, olor, textura y apariencia para determinar su potencial de comercialización sin rechazo. El análisis confirmó la coherencia interna del instrumento y la validez de constructo de las dimensiones sensoriales, estableciendo que la dieta hidropónica y el cultivo multitrófico producen un producto aceptado y de alta calidad perceptiva. Se adoptó un diseño cuasiexperimental, ya que se manipularon las variables independientes (la dieta basada en maíz hidropónico y el sistema multitrófico de cultivo), manteniendo un control parcial de los factores externos que pudieran incidir en la calidad sensorial de la carne de tilapia. Los resultados mostraron una valoración positiva general, destacando textura y apariencia como atributos clave. La investigación avanza la comprensión de la relación entre sostenibilidad y calidad sensorial, aportando evidencia empírica que respalda la adopción de sistemas acuícolas sostenibles con potencial de expansión comercial. La importancia social de este estudio también radica en su potencial para contribuir a la seguridad alimentaria y la resiliencia de comunidades dependientes de la pesca y la acuicultura. La tilapia cultivada en estos sistemas puede reducir la presión sobre recursos naturales y disminuir insumos externos,

promoviendo prácticas agropecuarias responsables, generando empleo local y fortaleciendo cadenas de valor regionales. En contextos de crecimiento demográfico y cambio climático, estas tecnologías pueden contribuir a una mayor sostenibilidad alimentaria y a la reducción de impactos ambientales, fortaleciendo la seguridad y autonomía de comunidades productoras.

Palabras clave: Acuicultura sostenible, Tilapia, Calidad sensorial, Maíz hidropónico, Cultivo multitrófico, Aceptación del consumidor, Producción de alimentos.

ABSTRACT:

The study evaluated the sensory acceptance of tilapia meat (*Oreochromis* sp.) cultured under sustainable conditions, fed with hydroponic maize in an integrated multi-trophic system. The objective was to analyze consumer perceptions regarding taste, odor, texture, and appearance to determine its potential for commercialization without rejection. The analysis confirmed the instrument's internal consistency and the construct validity of the sensory dimensions, establishing that the hydroponic diet and the multi-trophic cultivation produce a product that is acceptable and perceptually high quality. A quasi-experimental design was adopted, as the independent variables (the hydroponic maize-based diet and the multi-trophic cultivation system) were manipulated while maintaining partial control over external factors that could affect the sensory

quality of tilapia meat. The results showed an overall positive assessment, highlighting texture and appearance as key attributes. The research advances understanding of the relationship between sustainability and sensory quality, providing empirical evidence that supports the adoption of sustainable aquaculture systems with potential for commercial expansion. The social importance of this study also lies in its potential to contribute to food security and the resilience of communities dependent on fishing and aquaculture. Tilapia raised in these systems can reduce pressure on natural resources and decrease external inputs, promoting responsible agricultural practices, generating local employment, and strengthening regional value chains. In contexts of demographic growth and climate change, these technologies can contribute to greater food sustainability and to reducing environmental impacts, strengthening the security and autonomy of producing communities.

Keywords: Sustainable aquaculture, Tilapia, Sensorial quality, Hydroponic maize, Multitrophic cultivation, Consumer acceptance, Food production.

INTRODUCCIÓN

La búsqueda de la mejora económica de la producción acuícola, ha experimentado un crecimiento sostenido en las últimas décadas debido a la creciente demanda global de alimentos de origen acuático y al interés por sistemas productivos sostenibles. En este contexto, la tilapia (*Oreochromis sp.*) se ha consolidado como una de las especies más cultivadas a nivel mundial gracias a su rusticidad, adaptabilidad y rápido crecimiento, convirtiéndose en un modelo ideal para investigaciones relacionadas con nutrición, sostenibilidad y calidad sensorial de carne (Monge et al., 2025).

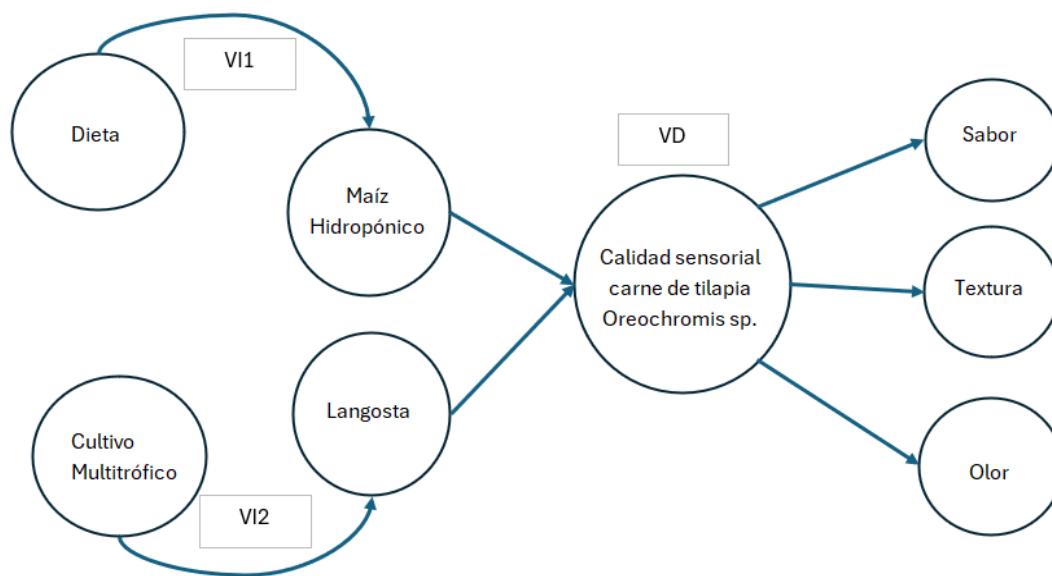


Fig 1: Modelo teórico de la aceptación de la carne de Tilapia (*Oreochromis sp.*)

La Figura 1 muestra el modelo teórico del estudio, en el cual se establecen las relaciones conceptuales entre las variables independientes y la variable dependiente. La primera (VI1: dieta) se representa a través del uso de maíz hidropónico, una alternativa alimenticia sostenible que aporta nutrientes esenciales y puede influir en la composición físico-química y organoléptica de la carne de tilapia. La segunda (VI2: cultivo multitrófico) se asocia con la incorporación de langosta en el sistema de producción, lo que permite aprovechar los residuos biológicos y optimizar el equilibrio ecológico del entorno acuícola.

Ambas variables convergen sobre la variable dependiente (VD): calidad sensorial de la carne de tilapia (*Oreochromis sp.*), comprendida como el conjunto de características perceptibles por el consumidor, tales como sabor, textura y olor, que determinan la aceptación del producto final. Este marco teórico integra los principios de sostenibilidad alimentaria,

eficiencia ecológica y calidad sensorial, proponiendo que las condiciones del cultivo y la dieta interactúan directamente para mejorar las propiedades organolépticas del pez. De esta forma, el modelo orienta la investigación hacia la comprensión de cómo los factores de producción sustentable influyen en la percepción sensorial y el valor comercial de la tilapia.

El avance hacia cultivos sostenibles ha impulsado la implementación de la acuicultura multitrófica integrada (IMTA), que busca optimizar los recursos naturales mediante la combinación de especies de diferentes niveles tróficos, reduciendo el impacto ambiental y mejorando la eficiencia productiva (Granada et al., 2016). En este tipo de sistemas, el uso de dietas alternativas, como las basadas en ingredientes vegetales de bajo impacto ambiental, resulta esencial para garantizar un equilibrio entre el rendimiento productivo y la sostenibilidad ecológica (Naspirán-Jojoa et al., 2022).

La búsqueda de fuentes alimenticias alternativas a los ingredientes convencionales, como la harina y el aceite de pescado, ha conducido a la exploración de recursos vegetales sostenibles, entre ellos el maíz hidropónico, que se presenta como una opción prometedora por su elevado valor nutricional, bajo requerimiento de espacio y alta eficiencia en el uso de agua y nutrientes (Benu et al., 2024).

La producción de maíz mediante sistemas hidropónicos permite un control riguroso de las condiciones de cultivo y una mayor uniformidad en la composición de los nutrientes, mejorando el perfil proteico y mineral del forraje resultante desde ya hace 17 años como lo demuestra Jordan-Meille y Pellerin, (2008). Este cultivo también favorece la reducción del uso de fertilizantes químicos, pudiendo emplearse compost orgánico o soluciones nutritivas recicladas, lo cual incrementa su valor en sistemas de acuicultura sostenible (Sulistijo et al., 2024). La incorporación de estas dietas a la alimentación de especies acuícolas representa una alternativa viable para disminuir los costos de producción y fortalecer la economía circular dentro de los sistemas multitróficos (Naik et al., 2017).

El sistema multitrófico integrado (IMTA) permite combinar especies de distintos niveles tróficos, como peces, crustáceos y moluscos, de forma que los residuos generados por una especie son aprovechados por otra, optimizando los recursos del sistema (Granada et al., 2016). Este enfoque se apoya en la lógica ecológica de los ecosistemas naturales, en los que los desechos de un organismo sirven como nutrientes para otro, cerrando el ciclo de materia y energía (Guerra-García et al., 2016). En este contexto, el uso de especies como la langosta o crustáceos

similares en un sistema multitrófico con tilapia puede contribuir al mantenimiento del equilibrio ecológico y mejorar la calidad del agua, lo que indirectamente influye en la calidad final de la carne del pez. Diversos estudios han mostrado que la integración de organismos filtradores o detritívoros en estos sistemas puede mejorar los parámetros fisicoquímicos del agua, reduciendo la concentración de amonio, nitrito y fósforo, y contribuyendo al bienestar general de los peces (Naspirán-Jojoa et al., 2022).

La calidad sensorial de la carne de tilapia se define por las propiedades organolépticas percibidas por los consumidores, tales como el sabor, el olor y la textura, las cuales dependen de factores intrínsecos como la composición muscular, y de factores extrínsecos como la dieta, las condiciones de cultivo y la calidad del agua (Li et al., 2024). El uso de ingredientes alternativos en la dieta puede modificar la composición de ácidos grasos, aminoácidos y compuestos volátiles de la carne, lo que a su vez influye en su aceptación sensorial. Por ejemplo, estudios recientes han demostrado que la inclusión de harinas de insectos, extractos vegetales o ingredientes ricos en antioxidantes mejora la palatabilidad, la jugosidad y el aroma de la carne de tilapia, evidenciando la relación directa entre la nutrición y la calidad sensorial (Sallam et al., 2025). Asimismo, las condiciones del sistema de cultivo, especialmente en entornos multitróficos, pueden generar variaciones en el metabolismo de los peces, afectando la textura del músculo y la retención de agua, factores determinantes de la percepción sensorial (Pérez-Rostro et al., 2025).

El maíz hidropónico se caracteriza por ser un alimento con un perfil nutricional balanceado que incluye carbohidratos complejos, proteínas y minerales esenciales, lo cual puede contribuir positivamente al desarrollo muscular y al sabor de la carne de peces (Saritha et al., 2020). Su digestibilidad y la calidad de sus nutrientes lo convierten en un componente ideal para dietas acuícolas sostenibles, especialmente cuando se busca sustituir parcial o totalmente el maíz convencional o ingredientes de origen animal (Okereke et al., 2017). Investigaciones previas en rumiantes y pequeños herbívoros han mostrado que la sustitución parcial del maíz convencional por maíz hidropónico mejora la digestibilidad y la eficiencia en la conversión alimenticia sin efectos adversos sobre el rendimiento productivo (Benu et al., 2024; Sallam et al., 2025; Sulistijo et al., 2024). En este sentido, evaluar los efectos de este tipo de dieta en la tilapia dentro de un sistema multitrófico puede generar información valiosa sobre la relación entre sostenibilidad alimentaria y calidad sensorial.

Los sistemas de cultivo multitrófico integrados ofrecen un marco propicio para implementar innovaciones

nutricionales y tecnológicas, promoviendo la resiliencia ecológica y la diversificación productiva (Granada et al., 2018). La interacción entre las especies participantes, como tilapia y langosta, permite un aprovechamiento eficiente de los nutrientes residuales, mientras que la introducción de dietas sostenibles contribuye al mantenimiento del equilibrio del sistema (Naspirán-Jojoa et al., 2022). Además, este tipo de sistemas puede incrementar la percepción de sostenibilidad entre los consumidores, quienes cada vez valoran más la producción responsable y el bienestar animal en la acuicultura (Monge et al., 2025).

Pese a los avances en acuicultura, la búsqueda de alimentos sostenibles que no comprometan la calidad sensorial de los productos sigue siendo un reto. Los sistemas intensivos convencionales, aunque productivos, generan externalidades negativas como la acumulación de desechos y el uso excesivo de insumos de origen no renovable. En este contexto, la pregunta de investigación es:

¿Cuál es el efecto de la dieta basada en maíz hidropónico en un ambiente de cultivo multitrófico sobre la calidad sensorial de la carne de tilapia (*Oreochromis sp.*)?

Una primera causa del problema radica en la dependencia de insumos convencionales de alto impacto ambiental, como harinas de pescado o soya, lo que genera un efecto directo sobre la sostenibilidad del sistema y el costo de producción. Una segunda se relaciona con la escasa integración de tecnologías limpias y cultivos complementarios, lo que impide aprovechar los residuos biológicos como nutrientes para otras especies, ocasionando un efecto de baja eficiencia ecológica. Finalmente, una tercera surge de la limitada evidencia sobre los efectos de dietas vegetales sostenibles en la calidad sensorial de peces, cuyo efecto se traduce en incertidumbre sobre la aceptación del producto por parte de los consumidores y la estabilidad del sistema productivo.

Teóricamente, se justifica esta investigación y se considera que es relevante, porque contribuye al conocimiento sobre la interacción entre la nutrición vegetal sostenible y la fisiología sensorial en especies acuícolas, aportando evidencia empírica sobre el uso del maíz hidropónico en dietas de tilapia. Metodológicamente, se justifica por su enfoque cuantitativo permitirá medir con precisión el impacto de la dieta y el sistema de cultivo en variables sensoriales mediante encuestas estructuradas y análisis estadístico. Desde la práctica, su pertinencia radica en ofrecer alternativas viables y sostenibles para productos acuícolas, promoviendo la eficiencia de los recursos y la aceptación de productos de alta calidad por parte del consumidor.

Es meritorio mencionar la relevancia social de estas producciones, pues permite fortalecer la capacidad para orientar políticas y prácticas de desarrollo sostenible en acuicultura. Al demostrar que una dieta hidropónica en un sistema multitrófico puede mantener o mejorar la calidad sensorial de la carne. Se respalda la viabilidad de modelos productivos que combinan productividad con conservación de recursos. Esto puede traducirse en seguridad alimentaria fortalecida, empleo local y fortalecimiento de cadenas de valor en zonas rurales, contribuyendo a la resiliencia comunitaria ante desafíos ambientales y demográficos.

El objeto de estudio de esta investigación es la calidad sensorial de la carne de tilapia (*Oreochromis sp.*), entendida como el conjunto de atributos organolépticos percibidos por los consumidores. El sujeto de estudio lo constituyen los individuos encargados de la evaluación sensorial de la carne de tilapia obtenida bajo un sistema multitrófico con langosta y alimentada con maíz hidropónico, conformando una muestra de 88 participantes durante un periodo experimental.

El objetivo general que se estableció fue analizar la percepción de consumidores respecto a sabor, olor, textura y apariencia para determinar su potencial de comercialización sin rechazo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque mixto, con la finalidad de medir y analizar de manera objetiva la relación existente entre la dieta basada en maíz hidropónico y la calidad sensorial de la carne de tilapia cultivada en un sistema multitrófico. Este enfoque permitió obtener datos numéricos a partir de la percepción sensorial de los evaluadores, los cuales fueron tratados estadísticamente para determinar el grado de influencia de las variables independientes sobre la dependiente. La metodología empleada se diseñó para asegurar la validez, confiabilidad y replicabilidad del estudio, siguiendo los estándares de la investigación experimental aplicada a la acuicultura sostenible, donde la precisión y el control de las condiciones de cultivo resultan fundamentales para garantizar la objetividad de los resultados (Granada et al., 2018; Pérez-Rostro et al., 2025).

En cuanto al diseño de investigación, este trabajo adoptó un diseño cuasiexperimental, ya que se manipularon las variables independientes “la dieta basada en maíz hidropónico y el sistema multitrófico de cultivo”, manteniendo un control parcial de los factores externos que pudieran incidir en la calidad sensorial de la carne de tilapia. Se consideró este tipo porque, si bien las condiciones del

cultivo fueron controladas, el experimento se desarrolló en un entorno de producción semi-controlado que refleja condiciones reales de acuicultura, lo que impide un control absoluto de todas las variables. El diseño resulta apropiado cuando se busca evaluar los efectos de un tratamiento o condición experimental en un contexto aplicado, sin desvirtuar la naturaleza ecológica del sistema de cultivo (Granada et al., 2016; Naspirán-Jojoa et al., 2022).

El tipo de estudio fue de carácter descriptivo y correlacional, pues se se buscó describir las propiedades sensoriales de la carne de tilapia bajo distintos tratamientos dietéticos y ambientales, y también establecer la relación entre la dieta, el sistema multitrófico y la calidad sensorial percibida. A través del análisis correlacional se pretendió identificar patrones significativos entre las variables independientes (maíz hidropónico y cultivo multitrófico) y la dependiente (dimensiones de sabor, olor y textura), lo que permitió inferir cómo las modificaciones en la alimentación y el ambiente repercuten en la percepción sensorial del producto final (Li et al., 2024; Sallam et al., 2025). El carácter descriptivo permitió caracterizar los resultados observados en la muestra de evaluación sensorial, mientras que el correlacional brindó evidencia de la dirección e intensidad de los efectos producidos.

El enfoque cuantitativo adoptado se basó en la medición mediante instrumentos estructurados, en este caso una encuesta tipo Likert, aplicada a los evaluadores sensoriales, quienes calificaron los atributos de la carne de tilapia según parámetros de sabor, olor y textura. Este enfoque permitió la obtención de datos numéricos estandarizados, susceptibles de ser analizados mediante técnicas estadísticas inferenciales. Se optó por esta estrategia porque facilita la obtención de resultados generalizables y objetivos, eliminando el sesgo interpretativo que podría derivarse de percepciones subjetivas sin cuantificación (Benu et al., 2024; Naik et al., 2017;).

La técnica de recolección de datos empleada fue la encuesta estructurada, aplicada a través de un instrumento diseñado con base en la tabla 1 de operacionalización de variables, la cual se construyó a partir de las dimensiones identificadas en la variable independiente (dieta con maíz hidropónico y sistema multitrófico) y la variable dependiente (calidad sensorial de la carne). Cuenta con doce preguntas cerradas con escala de Likert de cinco categorías, donde 1 representó el valor más bajo (“muy en desacuerdo”) y 5 el valor más alto (“muy de acuerdo”). Este instrumento fue validado mediante juicio de expertos en acuicultura y análisis sensorial, quienes revisaron la pertinencia, claridad y relevancia de cada ítem, asegurando la congruencia entre las preguntas y los indicadores definidos para cada dimensión de las variables. Posteriormente, se realizó una prueba piloto con un grupo reducido de participantes para ajustar la redacción y secuencia de las preguntas, garantizando así su comprensión y fiabilidad (Saritha et al., 2020; Sulistijo et al., 2024).

La confiabilidad del instrumento fue determinada mediante el coeficiente Alfa de Cronbach, el cual arrojó un valor de 0.9, indicando una alta consistencia interna entre los ítems que componen el cuestionario. Este nivel de confiabilidad se considera excelente en investigaciones de carácter cuantitativo, especialmente en estudios sensoriales donde la percepción humana puede variar de manera individual. Un coeficiente cercano a uno demuestra que los ítems miden de forma homogénea las dimensiones propuestas, lo que fortalece la validez del análisis estadístico posterior (Naik et al., 2017; Okereke et al., 2017).

La población estuvo conformada por 88 individuos que participaron como evaluadores sensoriales de la carne de tilapia. Estos participantes fueron seleccionados de manera intencional, bajo el criterio de haber tenido experiencia previa en la evaluación de productos acuícolas o en catas sensoriales relacionadas con alimentos. Se realizó durante un período de diez días consecutivos en diciembre de 2025, con sesiones diarias de degustación controlada en las que cada participante analizó muestras de carne cruda y cocida (frita en aceite de oliva), siguiendo un protocolo estandarizado de temperatura, porciones y presentación. La muestra incluyó evaluadores de ambos sexos y diferentes rangos de edad, con el propósito de obtener una percepción participativa y reducir el sesgo derivado de características individuales (Sallam et al., 2025).

Tabla 1: Operacionalización de la variable.

Dimensión	Indicador	Ítem / Pregunta	Código
Sabor	Aceptación e intensidad del gusto.	1. La carne de tilapia presenta un sabor agradable y natural.	SABOR_1
	Uniformidad del sabor.	2. El sabor del pescado es uniforme y sin sabores extraños.	SABOR_2
	Atributos del gusto residual.	3. El sabor de la carne después de comer resulta agradable y limpio.	SABOR_3



Olor	Frescura aromática.	4. El aroma del pescado cocido es fresco y característico.	OLOR_1
	Ausencia de olores indeseables.	5. No se perciben aromas desagradables o rancios en la carne.	OLOR_2
	Intensidad y atractivo del aroma.	6. El olor del pescado cocido es atractivo y estimula el apetito.	OLOR_3
Textura	Firmeza y homogeneidad del músculo.	7. La carne de tilapia presenta una textura firme y homogénea tras la cocción.	TEXT_1
	Jugosidad y suavidad.	8. La carne conserva su jugosidad y resulta agradable al masticar.	TEXT_2
	Apariencia estructural.	9. La carne cocida no se desintegra fácilmente al manipularla.	TEXT_3
Apariencia visual (carne cruda)	Frescura y color.	10. La carne cruda de tilapia presenta un color natural y una apariencia fresca.	VISUAL_1
	Atractivo general.	11. La apariencia visual del producto refleja buena calidad y frescura.	VISUAL_2
	Presentación.	12. La presentación del producto resulta adecuada para el consumo.	VISUAL_3

El recorrido metodológico consistió en el desarrollo de cuatro fases principales. En la primera de ellas se establecieron las condiciones experimentales de cultivo, implementando el sistema multitrófico con tilapia y langosta bajo parámetros controlados de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y fotoperiodo. La segunda comprendió la preparación y suministro de la dieta experimental, basada en maíz hidropónico, la cual fue administrada durante un período de alimentación establecido para permitir la adaptación metabólica de los peces. En la tercera se realizó la recolección de muestras de carne de tilapia una vez concluido el periodo experimental, asegurando su manipulación bajo normas de higiene y conservación adecuadas. Finalmente, la cuarta involucró la aplicación de las encuestas sensoriales y el tratamiento estadístico de los datos (Granada et al., 2016; Pérez-Rostro et al., 2025).

Para el procesamiento de los datos se utilizó el programa estadístico SPSS, que permitió calcular medidas descriptivas como promedios, desviaciones estándar y frecuencias para cada uno de los ítems de la encuesta. Posteriormente, se aplicaron pruebas de correlación de Pearson y análisis de regresión lineal múltiple con el objetivo de determinar la relación y el nivel de influencia de las variables independientes sobre las dependientes. La elección de estas pruebas se sustentó en la naturaleza de las variables medidas en escala de intervalo y en la necesidad de establecer asociaciones cuantitativas entre los factores evaluados (Li et al., 2024; Sallam et al., 2025). Los resultados se interpretaron con un nivel de significancia de 0.05, considerando significativas aquellas correlaciones cuyo valor de *p* fuese inferior a dicho umbral.

El análisis estadístico permitió identificar la contribución individual y combinada del maíz hidropónico y del sistema multitrófico en los atributos sensoriales de la carne, lo cual constituye un aporte relevante para la acuicultura sostenible. Esta metodología garantiza que los datos obtenidos sean robustos, válidos y replicables, cumpliendo con los estándares científicos requeridos en estudios experimentales del ámbito agroalimentario (Benu et al., 2024; Sulistijo et al., 2024).

En síntesis, el enfoque metodológico planteado integra una perspectiva experimental cuantitativa orientada a la sostenibilidad, en la cual la combinación del maíz hidropónico y el sistema multitrófico actúan como variables independientes susceptibles de manipulación controlada. La rigurosidad en el diseño, la consistencia del instrumento y el análisis estadístico garantizan la fiabilidad de los resultados y su potencial para contribuir al desarrollo de prácticas acuícolas sostenibles con alto valor agregado en términos de calidad sensorial del producto final.

RESULTADOS

Estadísticos

La Tabla 2 presenta los estadísticos descriptivos obtenidos para las cuatro dimensiones que conforman la variable dependiente calidad sensorial de la carne de tilapia (*Oreochromis sp.*): sabor, olor, textura y apariencia visual. Los resultados evidenciaron una alta valoración general del producto por parte de los evaluadores sensoriales. En la dimensión sabor, se ha obtenido una media de 4.46 (DE = 0.910), lo que indica que la mayoría de los participantes consideran la carne de tilapia como agradable y de gusto natural. En la dimensión olor, la media fue de 4.17 (DE = 0.797), mostrando una percepción positiva del aroma del pescado cocido, aunque ligeramente inferior respecto a las demás características sensoriales. En cuanto a la textura, se observa una media de 4.55 (DE = 0.883), evidenciando que los evaluadores perciben la carne como firme, jugosa y homogénea. Finalmente, la dimensión visual, correspondiente a la observación de la carne cruda, alcanza la media más alta (4.63, DE = 0.834), reflejando una valoración sobresaliente de la apariencia, color y frescura del producto. En todas las dimensiones, el rango de respuestas se mantiene entre valores mínimos de 1.00–1.33 y máximos de 5.00, sin casos perdidos (N = 88), lo que demuestra consistencia y homogeneidad en las respuestas.

Tabla 2: Descriptivas.

	Sabor	Olor	Textura	Visual
N	88	88	88	88
Perdidos	0	0	0	0
Media	4.46	4.17	4.55	4.63
Mediana	4.67	4.33	5.00	5.00
Desviación estándar	0.910	0.797	0.883	0.834
Mínimo	1.00	1.00	1.33	1.33
Máximo	5.00	4.67	5.00	5.00

Estos resultados indican que la carne de tilapia cultivada bajo las condiciones experimentales del estudio, dieta basada en maíz hidropónico y sistema multitrófico con langosta, ha sido ampliamente aceptada en términos sensoriales, mostrando valores cercanos al nivel máximo de la escala Likert en todos los atributos evaluados. El alto valor de la media en textura y apariencia sugiere que las condiciones de alimentación y cultivo han favorecido las propiedades organolépticas del producto final, fortaleciendo la hipótesis de que la sostenibilidad productiva puede coexistir con una excelente calidad percibida.

Análisis factorial exploratorio

Previo al análisis factorial exploratorio, se evalúa la adecuación de los datos mediante la Prueba de esfericidad de Bartlett, la cual determina la pertinencia estadística de aplicar el modelo factorial al conjunto de variables sensoriales. Los resultados muestran un valor de $\chi^2(66) = \text{Inf}$, $p < .001$, lo que indica que la matriz de correlaciones no fue una matriz identidad, cumpliendo así con el supuesto de intercorrelación significativa entre los ítems. Este resultado confirma que las variables presentan asociaciones suficientes para ser analizadas conjuntamente, justificando la reducción dimensional mediante el método de componentes principales. La significancia obtenida ($p < .001$) evidencia que los ítems del instrumento sensorial compartieron varianza común, permitiendo identificar un factor latente subyacente relacionado con la calidad sensorial de la carne de tilapia (*Oreochromis sp.*). En consecuencia, el modelo factorial aplicado es estadísticamente válido y permite continuar con la extracción e interpretación de los componentes principales.

La Tabla 3 presenta los resultados del análisis factorial exploratorio (AFE) aplicado a los doce ítems del instrumento de medición de la calidad sensorial de la carne de tilapia (*Oreochromis sp.*). El procedimiento se realiza mediante el método de componentes principales con rotación varimax, con el objetivo de identificar la estructura subyacente de las dimensiones evaluadas. Los resultados mostraron cargas factoriales elevadas en el Componente 1 (figura2), con valores que oscilan entre 0.856 y 0.985, lo que evidencia una alta correlación entre los ítems y el factor común. De igual modo, las unicidades presentaron valores bajos (entre 0.03 y 0.26), lo que indica que la mayor parte de la varianza de cada ítem fue explicada por el modelo factorial. Estos resultados confirman que los ítems relacionados con sabor, olor, textura y apariencia visual se agruparon en un solo componente latente, interpretado como la calidad sensorial global de la carne de tilapia.



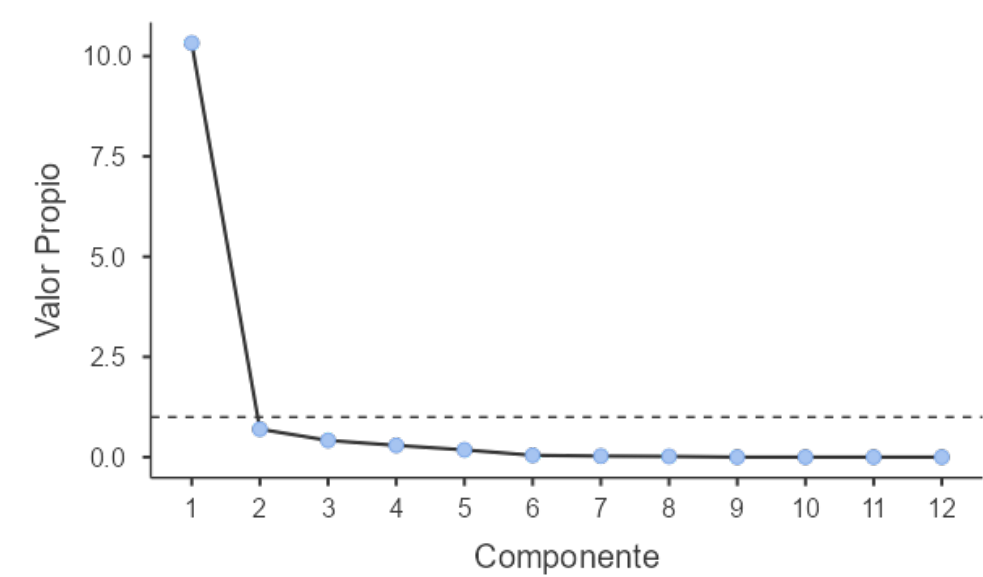


Fig 2. Gráfica de Sedimentación.

El análisis ha permitido verificar la validez de constructo del instrumento, mostrando que los doce ítems convergieron significativamente en un único factor de medición, lo cual respalda la consistencia conceptual de la variable dependiente. Asimismo, las altas cargas factoriales demuestran que las dimensiones teóricas del instrumento se comportan empíricamente de manera homogénea, reforzando la fiabilidad del cuestionario, previamente confirmada con un Alfa de Cronbach de 0.9. En conjunto, estos resultados indican que la encuesta utilizada es un instrumento estadísticamente sólido para la evaluación de la calidad sensorial en estudios acuícolas con enfoque cuantitativo.

Tabla 3: Cargas de los Componentes

Sabor	Componente	
	1	Unicidad
SABOR_1	0.962	0.0738
SABOR_2	0.897	0.1957
SABOR_3	0.856	0.2674
OLOR_1	0.985	0.0301
OLOR_2	0.874	0.2368
OLOR_3	0.958	0.0828
TEXT_1	0.912	0.1688
TEXT_2	0.952	0.0932
TEXT_3	0.912	0.1688
VISUAL_1	0.952	0.0932
VISUAL_2	0.912	0.1688
VISUAL_3	0.952	0.0932

Correlaciones entre dimensiones sensoriales

Se aplica la correlación de Pearson con el propósito de determinar la fuerza y dirección de la relación lineal entre las dimensiones sensoriales evaluadas. Dado que las variables corresponden a promedios de ítems tipo Likert y se comportan como medidas continuas, esta prueba resulta estadísticamente apropiada. La elección de Pearson se justifica además por el tamaño de la muestra (n = 88), que permite asumir normalidad en la distribución de las medias. Los

resultados muestran correlaciones positivas y significativas entre todas las dimensiones ($p < .001$), lo que confirma la coherencia interna y la validez convergente del instrumento de medición.

La Tabla 4 presenta la matriz de correlaciones de Pearson obtenida para las cuatro dimensiones evaluadas de la calidad sensorial de la carne de tilapia (*Oreochromis sp.*). Los resultados evidencian correlaciones positivas y altamente significativas entre todas las variables analizadas ($p < .001$). Las relaciones más fuertes se observan entre textura y apariencia visual ($r = 0.975$), seguidas por sabor y olor ($r = 0.970$), lo que indica una alta coherencia perceptiva entre estos atributos. Asimismo, las correlaciones entre sabor y apariencia visual ($r = 0.935$) y entre olor y textura ($r = 0.909$) muestran una asociación consistente, sugiriendo que los consumidores perciben la calidad sensorial del producto de manera integral.

Estos resultados confirman que las dimensiones sensoriales evaluadas no operan de forma aislada, sino que se complementan mutuamente en la percepción general de aceptación del producto. En conjunto, las correlaciones obtenidas respaldan la validez convergente del instrumento y evidencian que una valoración positiva en cualquiera de los atributos sensoriales se asocia con una apreciación favorable de los demás.

Tabla 4: Matriz de correlaciones.

		Sabor	Olor	Textura	Visual
Sabor	R de Pearson	—			
	gl	—			
	valor p	—			
Olor	R de Pearson	0.970	—		
	gl	86	—		
	valor p	<.001	—		
Textura	R de Pearson	0.895	0.909	—	
	gl	86	86	—	
	valor p	<.001	<.001	—	
Visual	R de Pearson	0.935	0.931	0.975	—
	gl	86	86	86	—
	valor p	<.001	<.001	<.001	—

Nota. H_a es correlación positiva

Interpretación técnica:

- Todos los valores $r > 0.89 \rightarrow$ correlaciones muy fuertes.
- $p < .001 \rightarrow$ estadísticamente significativas.
- Esto refuerza que el instrumento mide un solo constructo coherente, y que los consumidores valoran de forma global la calidad sensorial.

ANOVA de medidas repetidas (One-Way Repeated Measures)

La Tabla 5 presenta los resultados del análisis de varianza de medidas repetidas (ANOVA) aplicado a las cuatro dimensiones sensoriales de la carne de tilapia (*Oreochromis sp.*). Los resultados indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las medias de sabor, olor, textura y apariencia visual, $F(3, 261) = 70.2, p < .001$. Este hallazgo sugiere que los participantes no valoran de manera idéntica los distintos atributos del producto, sino que identifican diferencias perceptibles entre ellos. La varianza explicada por el factor sensorial (Suma de cuadrados = 10.5) supera ampliamente la varianza residual (13.0), lo que confirma la consistencia del modelo. En consecuencia, se determina que las dimensiones sensoriales contribuyen de forma diferencial a la percepción global de calidad, siendo la apariencia visual y la textura las categorías con las medias más elevadas, tal como se observa en los análisis descriptivos previos. Estos resultados refuerzan la conclusión que el producto ha sido aceptado de manera muy favorable, destacando principalmente por su aspecto visual y la calidad de su textura.



Tabla 5: Efectos Dentro de los Sujetos.

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
MR Factor 1	10.5	3	34.992	70.2	<.001
Residual	13.0	261	0.0498		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo 3

La Figura 3, representa gráficamente las diferencias entre las medias de las dimensiones sensoriales (sabor, olor, textura y apariencia visual), con sus respectivas desviaciones estándar. Esta figura visualiza los resultados del ANOVA y refuerza la interpretación de que la textura y la apariencia visual obtuvieron las valoraciones más altas en la aceptación del producto por parte de los consumidores.

Figura 3. Diferencias en las medias sensoriales según ANOVA de medidas repetidas (n = 88)

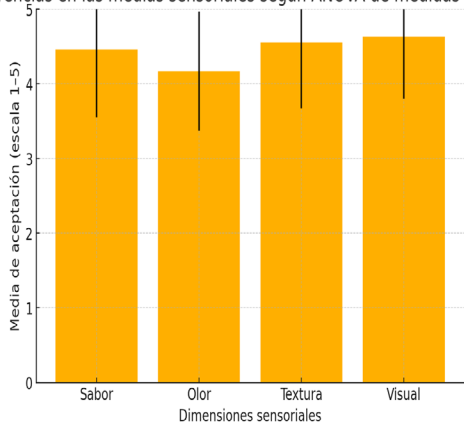


Fig 3: Diferencias en las medias sensoriales según ANOVA

DISCUSIÓN

Aceptación sensorial general del producto

Los resultados obtenidos demuestran que la carne de tilapia (*Oreochromis sp.*) presenta un nivel alto de aceptación sensorial, con valores medios superiores a 4.0. Los consumidores califican positivamente el sabor, la textura, el olor y la apariencia visual, lo que evidencia que el producto fue percibido como de calidad y libre de rechazo. Esta tendencia coincide con lo planteado por Li et al. (2024), quienes indican que las dietas basadas en ingredientes de origen vegetal, como insectos o maíz hidropónico, contribuyen a mejorar la percepción del sabor y la calidad general de la carne de tilapia. De manera similar, Sallam et al. (2025) reportan que el uso prolongado de extractos vegetales en la alimentación de tilapias aumenta la firmeza del músculo y mejora la aceptación organoléptica del producto final, hallazgo que respalda los resultados obtenidos en el presente estudio.

La alta puntuación alcanzada en las dimensiones de textura (M = 4.55) y apariencia visual (M = 4.63) sugiere que los consumidores otorgan gran importancia a las características físicas del producto durante la degustación. Este patrón de preferencia coincide con lo señalado por Pérez-Rostro et al. (2025), quienes encuentran que las condiciones sostenibles de cultivo acuapónico mejoran la calidad visual y estructural de la carne de tilapia. Por tanto, los resultados obtenidos confirman la hipótesis de que un manejo sustentable en el cultivo no compromete las propiedades sensoriales del pescado, sino que puede incluso potenciarlas.

Relación entre los atributos sensoriales

El análisis de correlaciones de Pearson evidencia asociaciones positivas y significativas entre todas las dimensiones sensoriales (p < .001). Las correlaciones más fuertes se registran entre textura y apariencia visual (r = 0.975) y entre sabor y olor (r = 0.970), lo que muestra una alta coherencia perceptiva entre los evaluadores. Estos hallazgos demuestran

que los consumidores no analizan los atributos de manera aislada, sino que construyen una impresión integral de calidad. Esta relación fue coherente con lo observado por Sallam et al. (2025), quienes destacan que la textura influye directamente en la percepción del sabor, generando una experiencia sensorial más completa.

La elevada correlación entre las dimensiones evaluadas también respalda la validez convergente del instrumento utilizado, en concordancia con lo discutido por Benu et al. (2024) y Sulistijo et al. (2024), quienes demuestran que los parámetros organolépticos pueden agruparse bajo un mismo factor perceptivo cuando las condiciones nutricionales y ambientales del cultivo son estables. De esta manera, se confirma que la aceptación sensorial de la carne de tilapia depende de una interacción compleja entre los estímulos gustativos, visuales y texturales, que reflejan la influencia del ambiente de cultivo y la composición dietética.

Diferencias perceptivas entre los atributos

El análisis de varianza de medidas repetidas muestra diferencias significativas entre las medias de sabor, olor, textura y apariencia visual, $F(3, 261) = 70.2$, $p < .001$. Este resultado indica que los consumidores perciben variaciones entre los atributos sensoriales, priorizando la apariencia visual y la textura sobre el olor. La preferencia por características visuales ha sido ampliamente documentada en estudios de aceptación de productos acuícolas. Monge et al. (2025) señalan que la primera impresión del consumidor depende en gran medida del aspecto físico del producto, lo cual influye en su decisión de compra y percepción de frescura. De manera concordante, Li et al. (2024) describen que los cambios metabólicos inducidos por dietas vegetales generan tonalidades y estructuras musculares más atractivas para el consumidor, lo que refuerza el valor estético de la carne.

Asimismo, la textura se consolida como un atributo decisivo, resultado que coincide con lo informado por Sallam et al. (2025), quienes encuentran que los regímenes alimenticios sostenibles incrementan la densidad muscular y la jugosidad en tilapias criadas en condiciones de baja salinidad. En conjunto, estas evidencias indican que las prácticas acuícolas sustentables, como el uso de maíz hidropónico y sistemas multitróficos, pueden mejorar simultáneamente la eficiencia productiva y la aceptación del consumidor.

CONCLUSIONES

La investigación permitió demostrar que la carne de tilapia producida bajo un sistema de cultivo sostenible, alimentada con dieta a base de maíz hidropónico y

desarrollada en un ambiente multitrófico, alcanzó una aceptación sensorial elevada entre los consumidores. Los resultados obtenidos confirmaron que los atributos de sabor, olor, textura y apariencia visual fueron percibidos de manera favorable y homogénea, evidenciando la viabilidad de prácticas acuícolas sustentables sin detrimento de la calidad organoléptica del producto. El estudio aportó una validación empírica sobre la coherencia perceptiva de las dimensiones sensoriales, consolidando un modelo de evaluación confiable y replicable en otros contextos productivos.

Desde una perspectiva aplicada, los hallazgos demostraron que la implementación de dietas vegetales, como el maíz hidropónico, puede fortalecer la aceptación comercial de la tilapia, ampliando las posibilidades de posicionamiento en mercados que valoran los productos ecológicos y de bajo impacto ambiental. En el ámbito científico, este trabajo contribuyó al entendimiento de la relación entre sostenibilidad alimentaria y percepción sensorial, abriendo nuevas líneas de investigación sobre el efecto de la nutrición vegetal en la composición química y metabólica de los peces.

Finalmente, la investigación representó un avance en el conocimiento de los sistemas acuícolas integrados y su potencial de aplicación en distintas regiones tropicales y subtropicales. La evidencia obtenida sugiere que la producción multitrófica combinada con dietas hidropónicas constituye una alternativa eficiente, ambientalmente responsable y socialmente aceptada, capaz de satisfacer las expectativas del consumidor moderno y de fortalecer la competitividad del sector acuícola. Proporcionando un impacto social positivo, pues conlleva a generar empleo local, fortalecer cadenas de valor y mejora la seguridad alimentaria; además de aportar resiliencia a las comunidades dependientes de la pesca, reduciendo la dependencia de insumos externos y la presión sobre recursos naturales. Esto favorece prácticas más responsables y sostenibles a mediano y largo plazo.

Implicaciones y proyecciones futuras

Los resultados obtenidos han confirmado que la tilapia cultivada en sistemas sostenibles es ampliamente aceptada por los consumidores desde el punto de vista sensorial, lo que abre oportunidades para su comercialización bajo etiquetas de producción ecológica o responsable. La integración de dietas alternativas, como el maíz hidropónico, constituye una estrategia viable para reducir el impacto ambiental de la acuicultura sin comprometer la calidad organoléptica del producto.

No obstante, se recomienda que futuras investigaciones incorporen análisis químicos y de perfil de sabor para

relacionar las percepciones sensoriales con los metabolitos específicos de la carne. Además, sería pertinente explorar la aceptación del producto en distintos segmentos de mercado, a fin de comprender mejor las preferencias del consumidor en función de su experiencia, nivel educativo o hábitos alimentarios. En el contexto más amplio, estos hallazgos aportan evidencia empírica sobre la compatibilidad entre sostenibilidad y calidad percibida en la acuicultura moderna, contribuyendo a los objetivos de producción responsable propuestos por organismos internacionales de seguridad alimentaria y sostenibilidad ambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benu, I., Sulistijo, E. D., Oematan, G., Rosnah, U. S., Hilakore, M. A., Laut, M. M., & Sol'Uf, M. M. (2024). The effect of different levels of liquid organic compost of *Chromolaena odorata* on production, nutrient composition, and in Vitro digestibility of hydroponic maize fodder. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, **1341**(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1341/1/012074>
- Granada, L., Lopes, S., Novais, S. C., & Lemos, M. F. L. (2018). Modelling integrated multi-trophic aquaculture: Optimizing a three trophic level system. *Aquaculture*, **495**, 90-97. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.05.029>
- Granada, L., Sousa, N., Lopes, S., & Lemos, M. F. L. (2016). Is integrated multitrophic aquaculture the solution to the sectors' major challenges? – A review. *Reviews in Aquaculture*, **8**(3), 283-300. <https://doi.org/10.1111/raq.12093>
- Guerra-García, J., Hachero-Cruzado, I., González-Romero, P., Jiménez-Prada, P., Cassell, C., & Ros, M. (2016). Towards Integrated Multi-Trophic Aquaculture: Lessons from Caprellids (Crustacea: Amphipoda). *PLOS ONE*, **11**(4), e0154776. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154776>
- Jordan-Meille, L., & Pellerin, S. (2008). Shoot and root growth of hydroponic maize (*Zea mays* L.) as influenced by K deficiency. *Plant and Soil*, **304**(1), 157-168. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9534-8>
- Li, Y., Li, H., Zhang, G., Liu, J., Drolma, D., Ye, B., & Yang, M. (2024). Boosted Meat Flavor by the Metabolomic Effects of Nile Tilapia Dietary Inclusion of *Zophobas atratus* Larval Meal. *Frontiers in Bioscience - Landmark*, **29**(11). <https://doi.org/10.31083/j.fbl2911382>
- Monge Quevedo, A., Hernández Trejo, V., Lluch Cota, S. E., Carreño León, D. P., & Vázquez Sánchez, R. I. (2025). Acuicultura en Baja California Sur, México. Evolución, diagnóstico actual y potencial de desarrollo regional. *Estudios Sociales: Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, **35**(66), 18. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10463100>
- Naik, P. K., Dhawaskar, B. D., Fatarpekar, D. D., Karunakaran, M., Dhuri, R. B., Swain, B. K., Chakurkar, E. B., & Singh, N. P. (2017). Effect of feeding hydroponics maize fodder replacing maize of concentrate mixture partially on digestibility of nutrients and milk production in lactating cows. *The Indian Journal of Animal Sciences*, **87**(4). <https://doi.org/10.56093/ijans.v87i4.69527>
- Naspirán-Jojoa, D. C., Fajardo-Rosero, A. G., Ueno-Fukura, M., Collazos-Lasso, L. F., Naspirán-Jojoa, D. C., Fajardo-Rosero, A. G., Ueno-Fukura, M., & Collazos-Lasso, L. F. (2022). Perspectivas de una producción sostenible en acuicultura multitrófica integrada (IMTA): Una revisión. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, **69**(1), 75-97. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v69n1.101539>
- Okereke, C., Csintalan, Z., & Okereke, C. (2017). Responses of Early Growth of Maize (*Zea mays* L.) to Foliar Fertilizers Application in Hydroponics Environment. *Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, **1**(1), 1-9. <https://doi.org/10.9734/AJSSPN/2017/33573>
- Pérez-Rostro, C. I., Paredes-Olguin, R., Muñoz-Córdova, G., & Hernández-Vergara, M. P. (2025). Integrated evaluation of aquaponic system performance using red tilapia (*Oreochromis* sp., trihybrid Pargo-UNAM line) and horticultural crops: Growth, nutritional quality, and welfare indicators. *Aquaculture International*, **33**(5). <https://doi.org/10.1007/s10499-025-02053-1>
- Sallam, G. R., Abdel-Rahim, M. M., Lotfy, A. M., Fayed, W. M., Shehata, A. I., El Basuini, M. F., Elwan, R. I., Al-absawey, M. A., & Elhetawy, A. I. G. (2025). Long term dietary Moringa oleifera leaf extract to Florida red tilapia *Oreochromis* sp improves performance immunity maturation and reproduction in saltwater. *Scientific Reports*, **15**(1), 20261. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-06881-2>
- Sallam, G. R., Abdel-Rahim, M. M., Sallam, A. E., Mourad, M. M., Lotfy, A. M., Al-absawey, M. A., Mabrouk, H. A.-H., Fayed, W. M., Khalil, H. S., & Elhetawy, Ashraf. I. G. (2025). Fertilization fallout and fish fertility in low-silt ponds: Studying the impacts on soil properties, water quality, immune-physiological response, and reproductive performance in red tilapia broodstock under saline conditions and plant-based diets. *BMC Veterinary Research*, **21**(1), 701. <https://doi.org/10.1186/s12917-025-05127-7>
- Saritha, A., Ramanjaneyulu, A. V., & Umarani, E. (2020). *Nutritional Importance and Value Addition in Maize*. **2**(9), 974-977. <https://bit.ly/49DkUOh>
- Sulistijo, E. D., Benu, I., Oematan, G., Rosnah, U. S., Hilakore, M. A., & Jelantik, I. G. N. (2024). Enhancing Nutrient Intake, Digestibility, Rumen Fermentation, and Blood Metabolites in Kacang Goats Using Compost-Enriched Hydroponic Maize Fodder. *Tropical Animal Science Journal*, **47**(4), 475-482. <https://journal.ipb.ac.id/index.php/tasj/article/view/57200>

CONFLICTO DE INTERESES:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores (Taxonomía CRediT)

Autor	Roles
Stephanie Catalina Beltrán Vera	Encargada de: Conceptualización, Metodología, Análisis formal, Escritura – borrador original.
Lorena Isabel Mejía Burgos	Encargada de: Curación de datos, Validación, Visualización, Redacción – revisión y edición.
Rafael Fernando Montenegro Ramírez	Encargado de: Investigación, Recursos, Supervisión, Administración de proyectos.

Universidad & Sociedad publica sus artículos bajo una licencia Creative Commons <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

