

Propiedades reológicas, nutricionales y sensoriales de tilapia, *Oreochromis* spp., costarricense e importada

Cristofer Jased Miranda-Valle¹ , Alejandro Chacón-Villalobos² , María Lourdes Pineda-Castro³  & Juan Ignacio Herrera-Muñoz⁴ 

1. Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Escuela de Tecnología de Alimentos. San José, Costa Rica; cristofer.mirandavalle@ucr.ac.cr
2. Universidad de Costa Rica. Escuela de Zootecnia. Estación Experimental Alfredo Volio Mata. La Unión, Cartago, Costa Rica; alejandro.chacon@ucr.ac.cr
3. Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Escuela de Tecnología de Alimentos. San José, Costa Rica; maria.pinedacastro@ucr.ac.cr
4. Universidad de Costa Rica, Escuela de Zootecnia. San Pedro, San José, Costa Rica; juanignacio.herrera@ucr.ac.cr

Recibido 10-XI-2025 • Corregido 20-II-2026 • Aceptado 13-III-2026

DOI: <https://doi.org/10.22458/urj.v18i1.6186>

ABSTRACT. “Rheological, Nutritional, and Sensory Properties of Costa Rican and Imported tilapia, *Oreochromis* spp.”. **Introduction:** In the Costa Rican market, tilapia (*Oreochromis spp.*) represents 80% of aquaculture production, competing in sales with fillets imported mainly from Asia. Yet there is a lack of comparative studies on the quantitative differences and quality perceptions of these products. **Objective:** To compare the instrumental, sensory, and nutritional properties of tilapia fillets produced in Costa Rica and three imported samples commercially available nationwide. **Methods.** We evaluated one domestic and three imported commercial tilapia brands for proximate composition (moisture, protein, lipids, ash, pH, and water activity) and fatty acid profiles using gas chromatography. We also measured instrumental color and texture via Texture Profile Analysis, and overall sensory acceptability by 105 untrained consumers. We applied one-way ANOVA with Tukey’s HSD or LSD mean comparison tests, Pearson correlations and Ward’s hierarchical cluster analysis. **Results:** Domestic tilapia had a higher protein content (19%) and lower moisture (79%), which resulted in a texture profile with more firmness, gumminess and chewiness. We associated this with a pH close to neutrality (6,37), indicating greater freshness compared to the imported counterparts, which showed much more alkaline values up to 8,57. The individual lipid profile did not present significant differences among samples and was dominated by oleic, palmitic, and linoleic acids, whereas when grouped by saturation, only a slight superiority in ω -3 was evidenced in one imported sample. A different case was colorimetry, where we did find differences for lightness (L^*) and yellowness (b^*). The sensory acceptability evaluation revealed the existence of four consumer clusters, two of which rated domestic tilapia with low scores, describing it as less desirable compared to imported samples, making it clear that texture was prioritized as an attribute. **Conclusion:** Although it can be argued that domestic tilapia has greater freshness and a debatably better nutritional profile, the imported samples were more sensorially attractive for a significant fraction of consumers participating in the sensory panel.

Keywords: aquaculture, quality, agricultural production-aquaculture, animal products, composition.

RESUMEN. Introducción: la tilapia (*Oreochromis spp.*) representa el 80% de la producción acuícola en el mercado costarricense, compitiendo en ventas con filetes importados principalmente de Asia. Debido a la inexistencia de estudios comparativos que abarquen las diferencias cuantitativas y las diferentes percepciones



de calidad entre estos productos es que decidimos emprender esta investigación. **Objetivo:** estudiar, desde una óptica comparativa, las propiedades instrumentales, sensoriales y nutricionales de filetes de tilapia producidos en Costa Rica y tres muestras importadas, disponibles comercialmente a nivel nacional. **Métodos:** evaluamos una marca de tilapia comercial nacional y tres importadas respecto a su composición (humedad, proteína, lípidos, cenizas, pH, actividad del agua) y perfil de ácidos grasos con cromatografía de gases; adicionalmente, estudiamos los parámetros de color instrumental en sistema CIELab, así como su textura por medio de un Análisis de Perfil de Textura (TPA). Evaluamos el agrado sensorial general de las muestras mediante un panel con 105 consumidores no entrenados. Usamos ANDEVA de una vía y pruebas de comparación de medias HSD de Tukey para datos instrumentales y LSD para sensoriales, además de correlaciones de Pearson. Usamos adicionalmente un análisis jerárquico de conglomerados de Ward para los datos sensoriales. **Resultados:** la tilapia nacional presentó un mayor contenido de proteína (19,50%) y una humedad menor (78,77%), lo cual derivó en un perfil de textura con mayor firmeza, gomosidad y masticabilidad. A esto asociamos un pH cercano a la neutralidad (6,37) que denotó una mayor frescura con respecto a la mayoría de sus contrapartes importadas, las cuales tuvieron valores mucho más alcalinos de hasta 8,57. El perfil de lípidos individual no presentó diferencias significativas entre muestras y estuvo dominado por los ácidos oleico, palmítico y linoleico, mientras que, al agrupar según insaturaciones, solo se evidenció una leve superioridad en ω -3 en una muestra importada. En colorimetría observamos diferencias entre muestras para los parámetros de luminosidad (L^*) y tendencia al amarillo (b^*). La evaluación del agrado sensorial mostró la existencia de cuatro conglomerados de consumidores, dos de los cuales calificaron la tilapia costarricense con puntuaciones bajas al estimarla de menor agrado en comparación con las muestras importadas, lo que nos deja en claro que se priorizó la textura como atributo. **Conclusión:** a pesar de que se puede argumentar que la tilapia nacional tiene una mayor frescura y un perfil nutricional mejor, las muestras importadas son más atractivas sensorialmente para una fracción importante de los consumidores participantes del panel sensorial.

Palabras clave: acuicultura, calidad, producción agropecuaria-acuícola, alimentos de origen animal, composición.

El consumo de pescado ofrece distintos beneficios en la salud, como la prevención de enfermedades cardiovasculares, el mantenimiento funcional del sistema nervioso y la regulación de los procesos metabólicos, los cuales se deben principalmente a la elevada proporción de proteína biodisponible y la presencia de minerales esenciales, así como también a su contenido de ácidos grasos poliinsaturados de la familia Omega-3 (Noreen et al., 2025).

Este producto, aun teniendo tantos beneficios sobre la salud y el bienestar, en algunos países sigue consumiéndose por debajo de los niveles recomendados de entre 300 y 500 gramos (Castellanos & Rodríguez, 2015). En el caso de Costa Rica, se ha asociado el bajo consumo de pescado, de solo una o dos veces al mes y menos de la mitad del consumo medio per cápita global (7,41kg vs 20,7kg), a deficiencias de micronutrientes como vitamina D, selenio, calcio, vitamina E y otros que se encuentran de manera significativa en los tejidos de los peces (Chinnock-Mc'Neil et al., 2017; Cámara de Industriales de Alimentos Balanceados [CIAB], 2024; Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2024). El bajo consumo se explica directamente con las limitaciones en cuanto al acceso, debido a precios excesivamente altos y a la percepción cultural de que este producto no forma parte de una dieta balanceada del ser humano (Chinnock-Mc'Neil et al., 2017).

Actualmente la principal fuente de productos acuáticos en el mundo es la acuicultura, la cual se ha encargado de desplazar a la pesca extractiva (FAO, 2023). En Costa Rica, la tilapia (*Oreochromis spp.*) permanece en el primer lugar, representando más del 80% de la producción acuícola y es el segundo grupo de especies más cultivado después de las carpas a nivel global (Wang



& Lu, 2016). La tilapia es una especie originaria de África y el Medio Oriente, la cual presenta ventajas biológicas que se relacionan con su crecimiento rápido, capacidad de reproducción en sistemas controlados y la gran capacidad de adaptación a distintas condiciones ambientales (Boonanuntasarn et al., 2018; Shiyan et al., 2021).

La producción de tilapia en Costa Rica está liderada por empresas que la envían principalmente a mercados de alta capacidad adquisitiva como Estados Unidos, su principal destino, según PROCOMER (2024). Es por esto por lo que el mercado costarricense se abastece en su mayoría por medio de importaciones de menor valor comercial desde China y países asiáticos como Singapur, Tailandia y Taiwán (Peña-Navarro & Chacón-Guzmán, 2019). Por ejemplo, en 2021 la producción costarricense alcanzó 12 949 toneladas, mientras que las importaciones superaron las 3495 toneladas, con un valor aproximado de 24 millones de dólares (INCOPECA, 2021; SEPSA, 2023).

Estudios internacionales consideran que la textura y sabor del pescado influyen directamente en la aceptación del producto por parte del consumidor (Ruiz et al., 2021); sin embargo, la tilapia costarricense presenta un potencial de diferenciación que se relaciona con la calidad, pero que aún no se ha investigado a fondo. El vacío en estudios que consideren análisis fisicoquímicos, reológicos y sensoriales de la tilapia, según su lugar de origen, ha limitado el acceso a nuevas estrategias para promoción del consumo, el apoyo de los productores locales e incluso, la orientación del consumidor hacia una elección informada. Además, limita la posibilidad de vincular la producción acuícola con objetivos de seguridad alimentaria y nutricional, especialmente en zonas rurales donde la acuicultura representa una fuente relevante de empleo e ingresos.

El presente trabajo tiene el objetivo de comparar las propiedades nutricionales, reológicas y sensoriales de filetes de tilapia de producción costarricense frente a filetes importados disponibles en Costa Rica, para con ello aportar evidencia científica que permita caracterizar las diferencias entre productos, fortalecer la base de conocimiento costarricense en el campo de la acuicultura y contribuir a la formulación de estrategias para mejorar la aceptación del pescado en la dieta costarricense.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima: trabajamos con cuatro marcas comerciales de filetes de tilapia (*Oreochromis* spp.) congelados.

La primera de estas marcas comerciales fue la que denominamos como “*Nacional*” de origen costarricense. Las siguientes marcas comerciales se denominaron como “*Importada 1*”, “*Importada 2*” e “*Importada 3*” y eran marcas de diferentes casas comerciales originarias de Asia. Todas las muestras se adquirieron en comercios de la Gran Área Metropolitana costarricense (GAM). La selección de los tratamientos (marca/origen) la realizamos posteriormente a un análisis preliminar de productos comerciales disponibles en presentación congelada en los principales supermercados de la provincia de San José que consideramos representaba la mayor parte de la oferta real en volumen de producto para el consumidor al momento de la ejecución de la prueba.

Para los análisis fisicoquímicos y de textura establecimos tres lotes diferentes por marca, adquiridos en semanas consecutivas, mientras que, para la evaluación sensorial trabajamos con un solo lote por marca para mantener la consistencia en los resultados. Las muestras las transportamos en contenedores térmicos con hielo y temperatura constante con un tiempo aproximado de traslado de 30 minutos. Cuando fue requerido, almacenamos los filetes a -18°C en congeladores con sensor de temperatura, mientras que las porciones destinadas al perfil de ácidos grasos y proteína, las conservamos a -80°C para asegurar su estabilidad.



Preparación y cocción de las muestras: para los análisis que requerían filetes cocidos (textura y evaluación sensorial) descongelamos las muestras durante 20 horas en refrigeración a 4°C, conforme al protocolo de Zhang et al. (2023). Las piezas las colocamos en bandejas de acero inoxidable recubiertas con plástico transparente de cocina, considerando que, en el caso de la tilapia nacional, los filetes los empacamos individualmente para facilitar la manipulación. Con base en las pruebas preliminares, optamos por el horneado como método de cocción porque garantizó una mayor uniformidad (Zhang et al., 2023). Horneamos una muestra de cada marca al mismo tiempo (triplicado), en la que cada filete (aproximadamente 15cm de largo por 9,2cm de ancho) lo envolvimos individualmente en papel aluminio y horneamos en convección forzada a 202°C hasta alcanzar una temperatura interna de 74°C, considerando que aleatorizamos las posiciones de las muestras (AMSA, 2016; FAO, 2023). Para los análisis fisicoquímicos, descongelamos las muestras en un baño de agua a 32°C durante 90-120 minutos. Posteriormente, combinamos seis filetes de cada lote y homogenizamos en un procesador de cuchillas de alta velocidad (Retsch, GM 200) durante tres minutos a 1000rpm, con el fin de obtener una muestra compuesta representativa. En el caso de la tilapia cocinada, la homogenización la realizamos con una licuadora doméstica (Oster). Para el panel sensorial, recalentamos los trozos cocinados en microondas doméstico (1000W) durante seis segundos, alcanzando al menos 70°C en la parte más gruesa de cada muestra y las servimos sin ningún aditivo.

Análisis fisicoquímico: cada evaluación la realizamos en triplicado por muestra compuesta, con el propósito de garantizar la exactitud y reproducibilidad de los resultados.

- **Humedad, cenizas y lípidos:** determinamos el porcentaje de humedad utilizando el método gravimétrico AOAC (2023), colocando entre 9,5 y 10,5g de pescado triturado en cápsulas metálicas con arena. Para el contenido de cenizas realizamos una precalcinación a 250–350°C y posteriormente una incineración en mufla a 555°C (Latimer, 2023). Finalmente, obtuvimos el porcentaje de lípidos totales mediante hidrólisis ácida, seguida de una extracción *Soxhlet* con éter de petróleo (Latimer, 2023).
- **pH y actividad de agua (a_w):** medimos el pH preparando una suspensión de 10g de muestra en 25ml de agua destilada (AOAC, 2023; Pateiro et al., 2018). Utilizamos un pHmetro (Metrohm, 827 pH *lab*) para realizar esta medición. Por otro lado, determinamos la actividad de agua (a_w) a 25°C con un equipo *Aqua Lab Dew Point* 4TE, siguiendo las instrucciones de Meter Group (2018).
- **Proteína:** el contenido de nitrógeno total lo cuantificamos en muestras previamente liofilizadas, utilizando el método de combustión Dumas (Nollet & Toldrá, 2015) mediante un analizador *Rapid N-Exceed*. Para expresar los resultados en base húmeda, determinamos previamente la humedad del liofilizado con un analizador termogravimétrico TGA701 marca LECO. A partir de estos valores, el porcentaje de proteína lo calculamos multiplicando el contenido de nitrógeno por el factor 6,25, según lo recomendado por Mæhre et al. (2018).
- **Perfil de ácidos grasos:** llevamos a cabo la determinación de los ácidos grasos siguiendo el método establecido por AOAC (2023). La identificación y cuantificación la realizamos utilizando un cromatógrafo de gases Shimadzu GC-2011, el cual está equipado con un detector de ionización de llama (FID) y una columna capilar SPTM-2560 (100m × 0,25mm × 2,0µm).
- **Color instrumental:** realizamos la evaluación del color en las muestras cocinadas y homogenizadas empleando un colorímetro *ColorFlex EZ* de *HunterLab*, con iluminante D65 y un observador de 10° (Herrera-Stanziola et al., 2023). Registramos los valores de luminosidad (L^*), la coordenada rojo-verde (a^*) y la coordenada amarillo-azul (b^*) (Shi et al., 2022). Con estos datos, calculamos la cromaticidad (C^*) y el ángulo de tono (h°).

Perfil de Textura (TPA): evaluamos la textura en los filetes cocinados utilizando un texturómetro TA-XTPlus (*Stable Micro Systems*). Realizamos una prueba de doble compresión en trozos de filete con un grosor mínimo de 2cm, utilizando una sonda cilíndrica de 10mm de diámetro. La prueba la realizamos a una velocidad de 1,0mm/s hasta una distancia de 10mm. A partir de las curvas fuerza-tiempo calculamos los parámetros de dureza (N), adhesividad (N·s), elasticidad (mm), cohesividad, gomosidad (N) y masticabilidad (N·m).

Evaluación sensorial: realizamos una prueba de agrado general con 105 consumidores no entrenados (Saldaña et al., 2019; Ares et al., 2017). Cada panelista recibió cuatro muestras cocinadas (una por cada marca), codificadas con números aleatorios de tres dígitos y presentadas en un orden aleatorio y balanceado (Ruiz et al., 2021; Araya-Morice et al., 2022). Servimos las muestras calientes sin adición de sal en un ambiente ventilado y a cada panelista dimos instrucciones proyectadas para asegurar homogeneidad en el procedimiento. Solicitamos que evaluaran el nivel de agrado de cada muestra, empleando una escala lineal híbrida de diez puntos (Kato et al., 2018), en la cual cero significaba "Desagrada extremadamente" y diez "Agrada extremadamente". Al terminar la prueba, recogimos los comentarios verbales de los panelistas para complementar los resultados.

Análisis estadístico: analizamos los datos fisicoquímicos y de textura con un ANDEVA de una vía, empleando un diseño irrestricto aleatorio que contempló las cuatro marcas como tratamientos. Para los datos sensoriales, primero hicimos un Análisis de Conglomerados Jerárquico (método de *Ward*) con el fin de segmentar a los consumidores según sus patrones de preferencia. Seguidamente, efectuamos un ANDEVA dentro de cada conglomerado para evaluar las diferencias entre las muestras.

Al detectarse diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en el ANDEVA, aplicamos pruebas de comparación de medias (HSD *Tukey* para datos instrumentales y LSD para datos sensoriales, para conocer entre qué tratamientos se daban esas diferencias. Asimismo, calculamos el coeficiente de correlación de Pearson para analizar cómo se relacionaban las variables fisicoquímicas entre sí. Utilizamos el software JMP v.8 para realizar todos los análisis estadísticos.

RESULTADOS

El origen de las muestras influyó en las propiedades fisicoquímicas, composición proximal, características de textura y análisis sensorial, lo que indica que las condiciones de postcosecha o de cultivo afectan directamente la calidad del producto final.

Análisis proximal

La tilapia costarricense obtuvo un menor contenido de humedad (78,77%) y, a su vez, un mayor contenido de proteína (19,50%) en comparación con las otras tres muestras estudiadas, cuyas humedades oscilaron entre 81,70 y 82,67% y porcentajes de proteína entre 15,30 y 16,58%.

En cuanto al pH (TABLA 1), la muestra importada 2 obtuvo 8,57 y la 1 logró 8,00. Estos valores alcalinos representan un bajo nivel de frescura, pues, a pesar de que estos aún estaban dentro de su vida útil, este resultado indica un estado de descomposición avanzado por acumulación de aminos volátiles, lo que se relaciona con un mayor tiempo de traslado y consecuente reto de mantener la cadena de frío durante el transporte desde Asia. Por otro lado, la muestra costarricense obtuvo un 6,37 y la importada 3 alcanzó 6,77. Considerando la actividad de agua (*aw*) observamos valores cercanos entre las muestras dentro de un rango entre 0,9953 y 0,9969.

En el perfil de ácidos grasos de las muestras comerciales de tilapia predomina el ácido oleico (C18:1n-9; 33,6%), seguido del ácido palmítico (C16:0; 25,2%) y del ácido linoleico (C18:2n-6; 18,9%), representando estos tres ácidos grasos un 77,7% del total. No detectamos diferencias significativas entre tratamientos (muestras según su origen) en cuanto a la proporción de ácidos grasos individuales.

TABLA 1

Composición proximal porcentual en base húmeda, así como valores de pH y a_w , de la carne de tilapia de cuatro presentaciones comerciales del mercado costarricense.

Variable	Contenido porcentual (%)			
	Nacional	Importada 1	Importada 2	Importada 3
Humedad	78,77±0,64 ^b	81,70±1,49 ^a	82,67±0,58 ^a	82,03±0,91 ^a
Lípidos	1,63±0,30	1,97±0,29	1,67±0,47	1,67±0,45
Proteína	19,50±0,26 ^a	15,30±0,70 ^b	16,58±1,88 ^b	15,93±0,70 ^b
Cenizas	0,90±0,06 ^b	1,20±0,10 ^a	1,03±0,12 ^{ab}	0,87±0,02 ^b
pH	6,37±0,06 ^b	8,00±0,52 ^a	8,57±0,15 ^a	6,77±0,58 ^b
a_w	0,9954±0,0006 ^{ab}	0,9953±0,0010 ^{ab}	0,9956±0,0009 ^b	0,9969±0,0001 ^a

*Letras diferentes en una misma fila denotan diferencias significativas ($p \leq 0,05$) basado en la prueba de medias HSD de Tukey.

Ácidos grasos

La agrupación por familias de ácidos grasos permitió detectar diferencias que no fueron evidentes a nivel individual, en las cuales se observó una única diferencia significativa en el contenido de Omega-3 (TABLA 2). En este grupo de AG, la muestra importada 1 superó a la costarricense y la importada 2, lo que se podría relacionar con una modulación de la dieta (ya sea por un mayor suministro de precursores n-3 o de PUFA de cadena larga preformados (LC-PUFA)) o a diferencias en cuanto a manejo que afectan la retención de PUFA y que, según la evidencia científica sobre tilapia, al optimizar los aceites de la ración, mejora la composición lipídica del filete.

TABLA 2

Ácidos grasos según tipo de insaturación de la carne de tilapia de cuatro presentaciones comerciales del mercado costarricense.

Ácidos Grasos	Nacional (%)	DE (%)	Importada 1 (%)	DE (%)	Importada 2 (%)	DE (%)	Importada 3 (%)	DE (%)	p-value*
Saturados	31,70	3,71	32,54	3,58	36,89	0,98	35,87	1,74	0,135
Monoinsaturados	41,51	0,82	40,01	1,16	39,24	2,35	40,78	1,40	0,367
Poliinsaturados	25,11	1,25	27,23	3,60	23,69	3,18	23,15	1,72	0,300
Trans	1,67	2,34	0,22	0,08	0,18	0,09	0,20	0,07	0,375
% del Total de Fracción Grasa	100,00		100,00		100,00		100,00		
Omega-3	1,46 ^b	0,03	2,43 ^a	0,58	1,46 ^b	0,34	1,70 ^{ab}	0,29	0,037
Omega-6	22,97	1,29	24,01	3,93	21,40	2,78	20,67	1,61	0,444
Omega-9	37,77	0,66	36,26	0,66	36,03	1,60	35,80	1,44	0,238
% del Total de Fracción Grasa	62,20		62,69		58,90		58,17		

*Letras diferentes en una misma fila denotan diferencias significativas.



Parámetros colorimétricos

El color de los filetes de tilapia también estuvo vinculado de manera cercana con el pH y la composición (TABLA 3), porque se notó que la tilapia importada 1 mostró la menor luminosidad ($L^*=69,94$) y el mayor amarillamiento ($b^*=14,14$), lo cual concuerda con el pH alcalino que favorece las reacciones de Maillard y el oscurecimiento. En cambio, la tilapia nacional, a pesar de su pH bajo, mostró la mayor luminosidad ($L^*=73,77$) y un amarillamiento alto ($b^*=13,23$).

TABLA 3

Parámetros de colorimetría de la carne de tilapia de cuatro presentaciones comerciales del mercado costarricense.

Variable	Tilapia			
	Nacional	Importada 1	Importada 2	Importada 3
L*	73,77±0,05 ^a	69,94 ± 0,10 ^c	70,95±0,40 ^b	70,54 ± 0,31 ^b
a*	-0,02±0,01 ^c	0,37±0,01 ^a	0,12±0,2 ^b	0,02 ± 0,07 ^c
b*	13,23±0,01 ^b	14,14±0,04 ^a	11,90±0,03 ^c	11,76 ± 0,03 ^d
C*	13,23±0,01 ^b	14,14±0,36 ^a	11,91±0,03 ^c	11,76 ± 0,03 ^d
h°	90,08±0,04 ^a	88,50±0,04 ^c	89,42±0,10 ^b	89,92 ± 0,36 ^a

Letras diferentes en una misma fila denotan diferencias significativas ($p \leq 0,001$) basado en la prueba de medias HSD de Tukey. L=luminosidad; a*=eje verde-rojo; b*=eje azul-amarillo; C*=cromaticidad; h°=ángulo de tono.

Parámetros del perfil de textura y la fuerza de corte

La tilapia costarricense fue significativamente más dura (6,4 N), gomosa (1,7 N) y con mayor masticabilidad (0,012 N·m) que las importadas (TABLA 4).

TABLA 4

Parámetros de perfil de Textura de la carne de tilapia cocinada de cuatro presentaciones comerciales del mercado costarricense.

Variable	Tilapia			
	Nacional	Importada 1	Importada 2	Importada 3
<i>Parámetros del perfil de textura</i>				
Dureza (N)	6,4±1,8 ^a	3,8±1,9 ^b	3,5±0,8 ^b	3,8±1,2 ^b
Adhesividad (N,s)	-0,09±0,06	-0,1±0,1	-0,08±0,09	-0,1±0,1
Elasticidad (mm)	6,5±0,9	6,6±1,2	7,3±1,3	6,4±1,2
Cohesividad	0,23±0,06	0,27±0,06	0,28±0,08	0,28±0,08
Masticabilidad (N,m)	0,012±0,005 ^a	0,008±0,006 ^b	0,008±0,004 ^b	0,007±0,004 ^b
Gomosidad (N)	1,7±0,7 ^a	1,1±0,7 ^b	1,0±0,4 ^b	1,1±0,5 ^b

*Letras diferentes en una misma fila denotan diferencias significativas ($p \leq 0,001$) basado en la prueba de medias HSD de Tukey.

Evaluación del agrado general

La textura condicionó la aceptación del consumidor, debido a que mostramos que la tilapia costarricense recibió puntuaciones bajas en dos de los cuatro conglomerados. Obtuvimos cuatro conglomerados de agrado en la evaluación del agrado general de las muestras experimentales



mediante el análisis de Clusterización Aglomerativo Jerárquico (CAJ) bajo el método de Ward (TABLA 5). El primer conglomerado estuvo conformado por el 26% de los panelistas, el segundo por 17% de ellos, el tercero por un 38% de los participantes y finalmente el cuarto por un 19% (105 panelistas en total).

TABLA 5

Resultados del panel sensorial de agrado general según conglomerado para la carne de tilapia cocinada de cuatro presentaciones comerciales del mercado costarricense.

Tilapia	Conglomerados			
	1	2	3	4
Nacional	4,2 ± 1,6 ^b	9,0 ± 1,8	6,7 ± 1,6 ^a	3,2 ± 1,0 ^c
Importada 1	8,1 ± 1,3 ^a	8,5 ± 1,9	6,6 ± 1,7 ^a	4,3 ± 1,3 ^{bc}
Importada 2	8,2 ± 1,8 ^a	8,7 ± 2,8	4,8 ± 1,8 ^b	7,4 ± 1,3 ^a
Importada 3	8,0 ± 1,6 ^a	8,8 ± 2,1	6,3 ± 2,1 ^a	5,5 ± 1,1 ^b

*Letras diferentes en una misma columna denotan diferencias significativas ($p \leq 0,05$) basado en la prueba de medias de LSD. Escala: cero significa "Desagrada extremadamente" y diez "Agrada extremadamente".

DISCUSIÓN

Según lo reportado por Islam et al. (2021), estos resultados, en general, coinciden con la producción en sistemas de jaulas: según Uehara et al. (2022) en ambientes salinos y según Sayouh et al. (2024), se relacionan con la producción en ambientes dulces.

Las diferencias en alimentación, cantidad de especies en cultivo y sistema de postcosecha, son algunos de los factores que influyen directamente en el porcentaje de humedad, esto también considerando que una lenta congelación o una rápida descongelación afectan la capacidad de retención de agua por formación de cristales de hielo y daño celular (Zuanazzi et al., 2020; Wu et al., 2025). Aunado a esto, la práctica de inyección de soluciones estabilizadoras y conservantes en productos cárnicos a base de agua con fosfatos, sal, carbonato de potasio, trehalosa y otros, puede tener efectos importantes en la concentración nutricional por dilución, jugosidad y pH de los filetes (Li et al., 2021); sin embargo, no fue posible determinar su uso en las muestras estudiadas. De igual manera, la tilapia nacional, al tener un mayor porcentaje de proteína, es posible encontrarla dentro del rango establecido para peces con dietas controladas y podría reflejar prácticas más balanceadas de alimentación y manejo (Qubay et al., 2025). Por el contrario, los porcentajes de proteína de las tilapias importadas se asemejan a los de peces silvestres, lo que nos indica que pudieron estar expuestas a sistemas de alimentación menos balanceados y a condiciones de mayor estrés (Birie et al., 2024; Martínez-Palacios et al., 2018).

Los valores alcalinos de las muestras importadas representan un bajo nivel de frescura, a diferencia de las costarricenses (ver Tsironi & Taoukis, 2014; Fahrul et al., 2024).

La consistencia de ácidos grasos, tanto en el estudio actual como en la literatura (He et al., 2021; Sabba et al., 2023), refleja una base metabólica común en la tilapia, más allá del origen geográfico o del procesamiento comercial. Esto está relacionado con lo reportado para *Oreochromis niloticus* en diversas matrices y fracciones lipídicas, en las cuales, los ácidos grasos saturados (SFA) tienden a ser dominantes, mientras que los poliinsaturados (PUFA) se hallan en mayor concentración en los fosfolípidos (PL) que en los triacilglicéridos (TG) (He et al., 2021). La dieta



constituye el principal determinante de la composición de ácidos grasos de filete de tilapia y al modificar las fuentes de lípidos de la ración es posible ajustar el perfil lipídico del músculo (He et al., 2021). Los factores ambientales también intervienen; no obstante, su efecto suele ser de menor impacto, especialmente cuando las dietas empleadas son similares. Esto ocurre también en otras especies de agua dulce, en las que los factores fisiológicos, ambientales y nutricionales afectan en conjunto al perfil de ácidos grasos (Sabba et al., 2023).

Este resultado es relevante a la luz de la variabilidad expuesta en parte de la literatura disponible, en la cual, el sistema de cultivo, dieta y entorno se asocian a las diferencias en cuanto a composición lipídica. En estudios como el de Islam et al. (2021) se reporta que, en tilapias silvestres, de estanque y de jaula en Bangladesh se observaron diferencias significativas en el contenido lipídico ($p < 0,05$) con valores entre 0,59 y 2,35%. En los resultados obtenidos en este estudio se evidencia una uniformidad que podría reflejar una estandarización en las prácticas acuícolas, como lo es el uso de dietas comerciales con perfiles nutricionales similares; empero, no se contó con información detallada sobre el manejo precosecha de las muestras analizadas. Además, esto contrasta con los resultados obtenidos para proteína, recalando que, aunque la dieta es un factor muy determinante en el contenido nutricional del músculo, no es el único.

En el contenido de Omega-3 las diferencias se podrían relacionar con una modulación de la dieta (ya sea por un mayor suministro de precursores n-3 o de PUFA de cadena larga preformados (LC-PUFA)) o con diferencias en cuanto a manejo que afectan la retención de PUFA: según la evidencia científica sobre tilapia, al optimizar los aceites de la ración, mejora la composición lipídica del filete (He et al., 2021).

En los vertebrados, la disponibilidad de LC-PUFA depende también de los precursores dietarios (ácido linoleico (LA) y ácido alfa-linolénico (ALA)) y de una capacidad enzimática limitada de desaturasas y elongasas, de hecho, numerosas especies de peces no sintetizan cantidades suficientes y requieren aportes exógenos, siendo esto mayormente cierto en las especies de agua salada o ambientes marinos (Yoon et al., 2022). En este marco, el predominio de ácido linoleico (LA, ω -6) observado en las muestras intensifica la competencia por la enzima gen desaturasa de ácidos grasos 2 (FADS2) dentro de la vía acoplada de desaturasas y elongasas, desplazando al α -linolénico (ALA, ω -3) y restringiendo su ya ineficiente conversión a ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido docosahexaenoico (DHA). Como consecuencia, la relación ω -6/ ω -3 resultó alta ($\approx 9.9:1$ – $15.7:1$), superó el umbral recomendado ($\leq 4:1$) y se apartó de perfiles más equilibrados, como el 1.21:1 informado por He et al. (2021).

A pesar de que los factores ambientales son capaces de influir en la lipogénesis (por ejemplo, las huellas térmicas tempranas que provocan la esteroil-CoA desaturasa (SCD) y la desaturasa de ácidos grasos 1 (FADS1) durante la aclimatación al frío en esturión a 16°C comparado con 20°C (Yoon et al., 2022)), se considera que la alta disponibilidad de LA es la explicación bioquímica más probable de la fracción reducida de ω -3. La concentración más alta de ω -3 en importada 1 se explica como el potencial efecto acumulativo de diferencias sutiles: (i) formulación dietética con algo más de ALA y/o menos LA, que reduce la competencia entre enzimas y favorece la vía n-3; (ii) manejo postcosecha más cuidadoso, dada la alta susceptibilidad a la oxidación de los ω -3 (cadena de frío más estable y menos ciclos de congelación-descongelación) y (iii) posible sesgo de muestreo o de fracción lipídica, dado que los LC-PUFA (EPA, DHA) se concentran en fosfolípidos de membrana y no en triacilglicéridos, de modo que una mayor proporción de tejido rico en membranas eleva el ω -3 aparente (He et al., 2021).

En nuestro estudio, solo la muestra denominada “nacional” es costarricense; las otras tres son importadas de China y, aunque el efecto concreto no puede atribuirse sin datos de trazabilidad, esta diferencia puede ser un factor en cuanto a posibles fuentes de variación (formulación del

alimento, genética de cultivo y cadena de frío). La evidencia postcosecha muestra que los PUFA, en particular los ω -3, son altamente susceptibles a oxidación y degradación durante el almacenamiento congelado, el descongelado y eventuales recongelaciones: en filetes de tilapia expuestos a ciclos repetidos se han registrado pérdidas de peso acumuladas del 9,48 %, incremento del pH y mayor oxidación lipídica medida como sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) (Zuanazzi et al., 2020). Aunque la congelación retarda el deterioro, no lo evita porque la oxidación de lípidos, la desnaturalización proteica y los cambios de pH dependen de la velocidad de congelación, la temperatura y la duración del almacenamiento, por lo que mantener temperaturas lo más bajas y estables posibles es necesario para proteger lípidos insaturados (Ugwu et al., 2024). En este contexto, aun si el total de ω -3 difiere entre muestras, es importante recordar que con la tilapia los niveles absolutos de EPA y DHA son, en general, bajos frente a especies marinas y que en el músculo predominan los n-6 sobre los n-3 (He et al., 2021).

Nuestros resultados son coherentes con el perfil de lípidos que se espera de la tilapia de cultivo moderna y con la literatura, lo que significa que, cuando haya uniformidad entre genéticas, dieta base y ambiente, el perfil general tiende a ser relativamente constante entre lotes. No obstante, una relación ω -6/ ω -3 desfavorable indica una oportunidad específica para realizar una mejora en la dieta. La variación encontrada en los ω -3 respalda la idea de que, incluso pequeños cambios en la formulación de la dieta o en el manejo postcosecha pueden resultar en diferencias nutricionales significativas en el producto final. Lo anterior se alinea con la descripción de la tilapia como un pescado magro de agua dulce cuyo contenido de LC-PUFA depende considerablemente de la dieta y de la cadena de frío (Islam et al., 2021; Zuanazzi et al., 2020). En este contexto, el contenido de ω -3 funciona como un indicador relevante del manejo térmico y la alimentación durante todo el proceso.

La tilapia importada 1 mostró la menor luminosidad ($L^*=69,94$) y el mayor amarillamiento ($b^*=14,14$), lo cual concuerda con el pH alcalino que favorece las reacciones de Maillard y el oscurecimiento (Fitri et al., 2022; Roijackers et al., 2025). En cambio, la tilapia nacional tuvo características de elevado contenido de proteína y menor humedad que concentran los reactivos y favorecen la creación de compuestos coloreados en la cocción. Asimismo, el daño microbiano y el estrés oxidativo influyen en la reducción de pigmentos naturales y modifican la coloración (Tahiluddin et al., 2022; Xie et al., 2023).

Relacionamos la textura de la tilapia costarricense con su mayor proteína y menor humedad, dado que son condiciones que refuerzan las redes de colágeno y miofibrillas, produciendo una estructura más resistente al calor (Subbaiah et al., 2015; Sun et al., 2025). En contraste, las tilapias importadas que se sometieron a almacenamiento congelado prolongado y posibles ciclos de descongelación experimentaron degradación proteica enzimática (catepsinas y calpaínas), lo que resultó en texturas más blandas (Xie et al., 2023; Li & Chu, 2023). La elasticidad y la cohesividad, por otro lado, no mostraron variaciones relevantes como corresponde al comportamiento general de la carne de pescado cocido.

La baja puntuación por textura de la tilapia costarricense podría estar relacionada con factores previos y posteriores al sacrificio, como el estrés presacrificio debido a malas prácticas de manejo durante la cosecha o la ausencia de un periodo adecuado de maduración *post mortem*. El estrés antes del sacrificio influye en el desarrollo del *rigor mortis*, disminuye la capacidad de retención de agua y puede resultar en una textura más firme, lo que podría explicar las características observadas; empero, se ha observado que un tiempo de descanso inmediatamente presacrificio puede atenuar este efecto (Silva et al., 2025). En contraste, las tilapias importadas, incluso aquellas con pH elevado, que indica menor frescura, obtuvieron valoraciones más altas de aceptación. Interpretamos esto como evidencia de que los consumidores priorizan la ternura y

jugosidad por encima de indicadores de frescura o calidad nutricional. El caso de importada 2 fue interesante porque, a pesar de su pH alto, alcanzó puntuaciones elevadas en tres conglomerados, lo que sugiere que las expectativas culturales y el sabor típico de la tilapia influyeron fuertemente en la percepción. Este hallazgo coincide con lo descrito por Zamuz et al. (2023), quienes señalan que ciertos consumidores prefieren carnes que han pasado por procesos de proteólisis que aumentan la suavidad.

La tilapia costarricense presenta un mejor perfil nutricional, existiendo diferencias en la textura y el color entre las tilapias costarricenses y las importadas; tales diferencias, sumadas a la detectadas sensorialmente, ocasionan que la carne de tilapia costarricense sea de menor agrado para un porcentaje importante de los consumidores locales.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Estación Experimental Alfredo Volio Mata (EEAVM), al Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA), a la Escuela de Tecnología de Alimentos de la Universidad de Costa Rica y al Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA) sin cuyo apoyo material no hubiese sido posible la concreción de este estudio.

ÉTICA, CONFLICTO DE INTERESES Y DECLARACIÓN DE FINANCIAMIENTO

Los autores declaramos haber cumplido con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en el manuscrito; que no hay conflictos de interés de ningún tipo y que todas las fuentes financieras se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. Asimismo, están de acuerdo con la versión editada final del documento. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

La declaración de contribución de cada autor es la siguiente: CJMV, ACV, MLPC y JIHM diseño del estudio, así como en la recopilación y análisis de los datos. ACV y JIHM preparación del manuscrito.

REFERENCIAS

American Meat Science Association. (2016). *Research guidelines for cookery, sensory evaluation, and instrumental tenderness measurements of meat (2nd ed.)*. American Meat Science Association.

AOAC International. (2023). *Official methods of analysis (22nd ed.)*. AOAC International. <https://doi.org/10.1093/9780197610145.001.0001>

Araya-Morice, A., Mora-Norori, A. L., Cubero-Castillo, C., Azofeifa, A. & Araya-Quesada, Y. (2022). Caracterización físico-química y sensorial de dos variedades de arroz (*Oryza sativa*) durante el proceso de añejado en silo. *Agronomía Mesoamericana*, 33, 51586. <https://doi.org/10.15517/am.v33iEspecial.51586>

Ares, G., Alcaire, F., Antúnez, L., Vidal, L., Giménez, A. & Castura, J.C. (2017). Identification of drivers of (dis)liking based on dynamic sensory profiles: Comparison of Temporal Dominance of Sensations and Temporal Check-all-that-apply. *Food Research International*, 92, 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.016>



- Birie, S., Geremew, H., Mingist, M., Getnet, B., Kibret, M., Atlog, M. Y. & Mequanent, D. (2024). Proximate composition, microbial quality and heavy metal concentration of fresh Nile tilapia fillet in Lake Tana, Ethiopia. *Heliyon*, 10(24).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40953>
- Boonanuntanasarn, S., Jangprai, A., Kumkhong, Plagnes-Juana, E., Verona, V., Burel, C., Marandel, L. & Panserat, S. (2018). Adaptation of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to different levels of dietary carbohydrates: New insights from a long-term nutritional study. *Aquaculture*, 496, 58-65. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.07.011>
- Cámara de Industriales de Alimentos Balanceados. (2024). *Informe anual Costa Rica 2024* (Versión 2). CIAB.
- Castellanos, L. T. & Rodríguez, M. D. (2015). El efecto de omega 3 en la salud humana y consideraciones en la ingesta. *Revista Chilena de Nutrición*, 42(1), 90-95.
<https://doi.org/10.4067/S0717-75182015000100012>
- Chinnock-Mc'Neil, A., Céspedes-Vindas, C., Flores Soto, N., Guevara-Villalobos, D. & Úbeda-Carrasquilla, L. (2017). Análisis de los hábitos alimentarios de un grupo de personas costarricenses de 15 a 65 años residentes en el Área Urbana durante el 2014 y 2015 [Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica].
<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/5696>
- Fahrul, M., Metusalach, Tonglo, V. D., Ahmad, N. F., & Utami, S. N. (2024). Quality Analysis of the Marketed Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the City of Makassar, South Sulawesi. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 28(6), 2571-2583.
<https://doi.org/10.21608/ejabf.2024.402691>
- Fitri, N., Chan, S. X. Y., Che Lah, N. H., Jam, F. A., Misnan, N. M., Kamal, N., Sarian, M. N., Mohd Lazaldin, M. A., Low, C. F., Hamezah, H. S., Rohani, E. R., Mediani, A., & Abas, F. (2022). A Comprehensive Review on the Processing of Dried Fish and the Associated Chemical and Nutritional Changes. *Foods (Basel, Switzerland)*, 11(19), 2938.
<https://doi.org/10.3390/foods11192938>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024: Blue transformation in action* (ISBN 978-92-5-138763-4). FAO.
<https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd0683en>
- He, C., Cao, J., Bao, Y., Sun, Z., Liu, Z., & Li, C. (2021). Characterization of lipid profiling in three parts (muscle, head and viscera) of tilapia (*Oreochromis niloticus*) using lipidomics with UPLC-ESI-Q-TOF-MS. *Food Chemistry*, 347, 129057.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129057>
- Herrera-Stanziola, J.E., Chacón-Villalobos, A. & Pineda-Castro, M.L. (2023). Physicochemical and microbiological characterization of “New Zealand” rabbit meat and effect of marinating with CaCl₂. *Agronomía Mesoamericana*, 34(3), 51204.
<https://doi.org/10.15517/am.2023.51204>



- Kato, T., Mastelini, S. M., Campos, G. F., Barbon, A. P., Prudêncio, S. H., Shimokomaki, M., Soares, A. L. & Junior, S. B. (2018). White striping degree assessment using computer vision system and consumer acceptance test. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 32, 1015–1026. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0504>
- Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPECA). (2021). *Exportaciones e importaciones productos pesqueros y acuícolas 2017-2021*. https://www.incopeca.go.cr/acerca_incopeca/transparencia_institucional/datos_abiertos.aspx
- Islam, S., Bhowmik, S., Majumdar, P. R., Srzednicki, G., Rahman, M. & Hossain, M. A. (2021). Nutritional profile of wild, pond-, gher- and cage-cultured tilapia in Bangladesh. *Heliyon*, 7(5), e06968. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06968>
- Latimer, G. W., Jr. (2023). *Official methods of analysis of AOAC International* (22nd ed.). <https://doi.org/10.1093/9780197610145.001.0001>
- Li, N., Xie, J., & Chu, Y. M. (2023). Degradation and evaluation of myofibril proteins induced by endogenous protease in aquatic products during storage: A review. *Food Science and Biotechnology*, 32, 1005–1018. <https://doi.org/10.1007/s10068-023-01291-4>
- Li, M., Luo, J., Zhang, Y., Zhang, K., Guan, Z. Q., & Ling, C. M. (2021). Effects of different phosphorus-free water-retaining agents on the quality of frozen tilapia fillets. *Food science & nutrition*, 10(3), 633–644. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2686>
- Martínez-Palacios, C. A., Ross, L. G., & Jiménez-Badillo, M. L. (2018). Extensive and semi-intensive tilapia culture. In L. G. Ross & J. R. Martínez-Cordero (Eds.), *Tilapia in intensive co-culture systems* (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper N.º 613, pp. 79–92). FAO. <https://www.fao.org/3/ca5184en/ca5184en.pdf>
- Mæhre, H. K., Dalheim, L., Edvinsen, G. K., Elvevoll, E. O. & Jensen, I. J. (2018). Protein Determination—Method Matters. *Foods*, 7(5), 2-11. <https://doi.org/10.3390/foods7010005>
- Meter Group. (2018). *AquaLab 4TE Manual*.
- Nollet, L. M. L. & Toldrá, F. (2015). *Handbook of food analysis* (3rd ed.). CRC Press.
- Noreen, S., Hashmi, B., Aja, P. M., & Atoki, A. V. (2025). Health benefits of fish and fish by-products—a nutritional and functional perspective. *Front. Nutr.* 12:1564315. <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1564315>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2023). *Código de prácticas para el pescado y los productos pesqueros*. Codex Alimentarius. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma.



- Pateiro, M., Barba, F. J., Domínguez, R., Sant'Ana, A. S., Khaneghah, A. M., Gavahian, M., Gómez, B. & Lorenzo, J. M. (2018). Essential oils as natural additives to prevent oxidation reactions in meat and meat products: A review. *Food Research International*, 113, 156–166. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.014>
- Peña-Navarro, N. & Chacón-Guzmán, J. (2019). *Acuicultura en Costa Rica*. Universidad Técnica Nacional. <https://hdl.handle.net/20.500.13077/345>
- Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER). (2024, 13 de marzo). *Costa Rica se destaca en Seafood 2024: Exhibiendo la excelencia de sus productos del mar en Estados Unidos*. PROCOMER. <https://procomer.com/costa-rica-se-destaca-en-seafood-2024-exhibiendo-la-excelencia-de-sus-productos-del-mar-en-estados-unidos>
- Qubay, M., Vegi, M. R. & Mutego, E. (2025). Proximate composition and mineral content of the common fish species in the selected lakes of Tanzania. *Journal of Food Composition and Analysis*, 142, 107510. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.107510>
- Roijackers, A., Nederlof, M. A. J., Van Beilen, G. H., Garay, S., Kokou, F., Vreeke, G. J. C., Wierenga, P. A. & Schrama J. W. (2025). Maillard reaction and protein crosslinking in relation to protein digestibility and gut microbiota in juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) raised at different water temperatures. *Aquaculture*, 599, 742195. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.742195>
- Ruiz, C., Herrero, A., Pintado, T. & Delgado, G. (2021). Sensory analysis and consumer research in new meat products development. *Foods*, 10(2), 429. <https://doi.org/10.3390/foods10020429>
- Sabba, E., Boudida, Y., & Boudjellal, A. (2023). Evaluation of fatty acid and the composition of six different species of freshwater fish in the North of Algeria. *Journal of Food Quality and Hazards Control*, 10, 115–122. <https://doi.org/10.18502/jfghc.10.3.13642>
- Saldaña, E., Saldarriaga, L., Cabrera, J., Behrens, J. H., Selani, M. M., Rios-Mera, J., & Contreras-Castillo, C. J. (2019). Descriptive and hedonic sensory perception of Brazilian consumers for smoked bacon. *Meat Science*, 147, 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.08.023>
- Sayouh, M., Ali, M., Li, Y., Tao, Y.-F., Lu, S.-Q. & Qiang, J. (2024). Differences in growth performance and meat quality between male and female juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during separate rearing. *Animals*, 14(20), 2954. <https://doi.org/10.3390/ani14202954>
- Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA). (2023). *Boletín Estadístico Agropecuario N.º 31*, serie cronológica 2017-2022.
- Shi, C., Han, J., Sun, X., Guo, Y., Yang, X. & Jia, Z. (2022). An intelligent colorimetric film based on complex anthocyanins and bacterial cellulose nanofibers for tilapia freshness detection



in an actual cold chain. *International Journal of Biological Macromolecules*, 221, 183-192.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.08.205>

- Shiyan, R., Liping, S., Xiaodong, S., Jinlun, H. & Yongliang, Z. (2021). Novel umami peptides from tilapia lower jaw and molecular docking to the taste receptor T1R1/T1R3. *Food Chemistry*, 362, 130249. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130249>
- Silva, M. I. d., Silva, V. F. d., Goes, M. D., Cardoso, S. U., Baumgartner, L. A., Souza, M. L. R. d., Honorato, C. A., Bombardelli, R. A., & Goes, E. S. d. R. (2025). Pre-Slaughter Rest Is Effective in Improving the Physiology and Quality of Nile Tilapia Fillets Subjected to In Vivo Transportation at High Densities. *Foods*, 14(13), 2279.
<https://doi.org/10.3390/foods14132279>
- Subbaiah, K., Majumdar, R. K., Choudhury, J., Priyadarshini, B. M., Dhar, B., Roy, D., Saha, A., & Maurya, P. (2015). Protein degradation and instrumental textural changes in fresh Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during frozen storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(10), 2206–2214. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12465>
- Sun, W., Lu, Q., Chen, J., Fan, X., Zhan, S., Yang, W., Huang, T., & Li, F. (2025). Influences of pH on gelling and digestion–fermentation properties of fish gelatin–polysaccharide hydrogels. *Foods*, 14(15), 2631. <https://doi.org/10.3390/foods14152631>
- Tahiluddin, A., Maribao, I., Amlani, M. & Sarri, J. (2022). A review on spoilage microorganisms in fresh and processed aquatic food products. *Food Bulletin*, 1, 21-36.
<https://doi.org/10.29329/foodb.2022.495.05>
- Tsironi, T. N., & Taoukis, P. S. (2014). Effect of processing parameters on water activity and shelf life of osmotically dehydrated fish filets. *Journal of Food Engineering*, 123, 188–192.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.09.020>
- Uehara, S. A., Coutinho, C. E. R., Aronovich, M., Walter, E. H. M., Furtado, A. A. L., Calixto, F. A. A., Takata, R., & Mesquita, E. F. M. (2022). Influence of saline environment and depuration time on quality and proximate composition of Nile tilapia fillet (*Oreochromis niloticus*). *Food Science and Technology*, 42, e69322. <https://doi.org/10.1590/fst.69322>
- Ugwu, C. N., Okon, M. B. & Ugwu-Okechukwu, P. C. (2024). The effects of freezing on the nutritional composition of fish. *INOSR Experimental Sciences*, 13(1), 61-65.
<https://doi.org/10.59298/INOSRES/2024/1.61.6510>
- Wang, M., & Lu, M. (2016). Tilapia polyculture: A global review. *Aquaculture Research*, 47 (8), 2363–2374. <https://doi.org/10.1111/are.12708>
- Wu, Q., Xiang, H., Hao, S., Cen, J., Chen, S., Zhao, Y., Li, C., Huang, H. & Wei, Y. (2025). Quality changes and deterioration mechanisms during frozen storage of starching tilapia fillets based on quality characteristics, protein properties and microstructure analysis. *Food Chemistry*, 487, 144265. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.144265>



- Xie, Y., Zhou, K., Tan, L., Ma, Y., Li, C., Zhou, H., Wang, Z. & Xu, B. (2023). Coexisting with Ice Crystals: Cryogenic Preservation of Muscle Food—Mechanisms, Challenges, and Cutting-Edge Strategies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(49), 19221-19239. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c06155>
- Yoon, G. R., Bugg, W. S., Fehrmann, F., Yusishen, M. E., Suh, M. & Anderson, G. (2022). Long-term effects of temperature during early life on growth and fatty acid metabolism in age-0 Lake Sturgeon (*Acipenser fulvescens*). *Journal of Thermal Biology*, 105, 103210. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103210>
- Zamuz, S., Bohrer, B. M., Shariati, M. A., Rebezov, M., Kumar, M., Pateiro, M. & Lorenzo, J. M. (2023). Assessing the quality of octopus: from sea to table. *Food Frontiers*, 4(2), 733–749. <https://doi.org/10.1002/fft2.226>
- Zhang, D., Ayed, C., Fisk, I. D. & Liu, Y. (2023). Effect of cooking processes on tilapia aroma and potential umami perception. *Food Science and Human Wellness*, 12(1), 275-282. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.07.008>
- Zuanazzi, J. S. G., Reis, E. S., Almeida, F. L. A., Goes, M. D., Lara, J. A. F., & Ribeiro, R. P. (2020). Effects of freezing and thawing cycles on the quality of Nile tilapia fillets. *Food Science and Technology*, 40(Suppl. 1), 300–304. <https://doi.org/10.1590/fst.11119>

