

Evaluación integrada de la frescura en filetes de congrio costero *Cynoponticus coniceps* (Anguilliformes: Muraenesocidae) durante el almacenamiento en hielo

Cristian Fonseca-Rodríguez¹ , Luis Hernández-Noguera¹  & Steven Fallas-Fernández¹ 

1. Universidad Nacional, Estación de Biología Marina Juan Bertoglia Richards, Calle 4, Barrio Las Playitas, Puntarenas, Puntarenas, Costa Rica; cristian.fonseca.rodriguez@una.ac.cr, luis.hernandez.noguera@una.cr, steven.fallas.fernandez@una.ac.cr

Recibido 27-IV-2026 • Corregido 01-IX-2026 • Aceptado 10-IX-2026

DOI: <https://doi.org/10.22458/urj.v18i1.6510>

ABSTRACT. “Integrated evaluation of freshness in coastal conger, *Cynoponticus coniceps* (Anguilliformes: Muraenesocidae) fillets during ice storage”. **Introduction:** Fish freshness is a determining factor for quality and consumer acceptability during ice storage, particularly in locally consumed species for which information on postmortem changes is limited. In this context, coastal conger (*Cynoponticus coniceps*) represents a poorly studied resource under commercial storage conditions. **Objective:** To evaluate the sensory, physical, and chemical changes associated with the freshness of coastal conger (*Cynoponticus coniceps*) fillets during ice storage. **Methods:** We described changes in freshness-related indicators of coastal conger fillets stored on ice over a 16-day period. We collected samples at eight time points during the storage period and evaluated them using sensory, chemical, and physical analyses. We conducted sensory evaluation using the Quality Index Method (QIM). We used ATP degradation and its breakdown products to calculate the K value, while we employed dielectric properties and pH as physical freshness indicators. In addition, we determined proximate composition at the beginning of the storage period. **Results:** Fillets had a high protein content ($19,3 \pm 0,58\%$) and moderate lipid levels. Quality Index (QI) scores and K values increased progressively with storage time, whereas torrymeter readings showed a general decreasing trend. pH exhibited temporal variation consistent with postmortem deterioration processes. Based on sensory evaluation, we identified an operational sensory rejection criterion on day 9 of storage under our experimental conditions. **Conclusion:** Under ice storage, coastal conger fillets suffered progressive loss of freshness, reflected by increasing QI and K values and decreasing torrymeter readings, with sensory rejection occurring on day 9. Approximate sensory shelf life is nine days under our experimental storage conditions.

Keywords: postmortem deterioration, shelf life, sensory evaluation, dielectric properties, chilled storage, fish, coastal conger, quality.

RESUMEN. Introducción: la frescura del pescado es un factor determinante de calidad y aceptabilidad por parte del consumidor durante el almacenamiento en hielo, particularmente en especies de consumo local para las cuales existe poca información sobre los cambios *post mortem*. En este contexto, el congrio costero (*Cynoponticus coniceps*) representa un recurso poco estudiado en condiciones comerciales de almacenamiento. **Objetivo:** evaluar los cambios sensoriales, físicos y químicos asociados con la frescura de filetes de congrio costero (*Cynoponticus coniceps*) durante el almacenamiento en hielo. **Métodos:** describimos los cambios en indicadores relacionados con la frescura de filetes de congrio costero almacenados en hielo durante 16 días. Recolectamos muestras en ocho momentos durante el período de almacenamiento y las evaluamos mediante análisis sensoriales, químicos y físicos. Realizamos la evaluación sensorial mediante el Método del Índice de Calidad (MIC). Utilizamos la degradación del ATP y sus productos de degradación para calcular el valor K, mientras que empleamos las propiedades dieléctricas y el pH como indicadores físicos de frescura. Además, determinamos la composición proximal al inicio del período de almacenamiento.

Resultados: los filetes presentaron un alto contenido de proteína ($19,3 \pm 0,58 \%$) y niveles moderados de lípidos. Los valores del Índice de Calidad (IC) y K aumentaron progresivamente con el tiempo de almacenamiento, mientras que las lecturas del *Torrrymer* tendieron a disminuir. El pH presentó variación temporal coherente con deterioro *post mortem*. Hubo rechazo sensorial en el día 9 de almacenamiento en nuestras condiciones experimentales. **Conclusión:** durante el almacenamiento en hielo, los filetes de congrio costero sufrieron una pérdida progresiva de frescura, reflejada en el aumento de los valores QI y K y la disminución de las lecturas del *Torrrymer*, con rechazo sensorial en el día 9. La vida útil sensorial aproximada es de nueve días en nuestras condiciones experimentales.

Palabras clave: deterioro *post mortem*, vida útil, evaluación sensorial, propiedades dieléctricas, conservación, pescado, congrio costero, calidad.

La calidad de un alimento puede entenderse desde distintas perspectivas, incluyendo sus características sensoriales, su valor nutricional y su inocuidad. En el caso del pescado fresco, la calidad reviste especial importancia tanto para la industria pesquera como para los consumidores, debido a su elevada perecibilidad y a la creciente demanda de productos seguros y de alta calidad (Cheng et al., 2015; Hyldig & Nielsen, 2001; Wu et al., 2019).

Tras la muerte, el pescado experimenta una serie de cambios bioquímicos, físicos y microbiológicos que afectan progresivamente su frescura, manifestándose en alteraciones de olor, textura y apariencia. Estos procesos *post mortem* han sido ampliamente descritos y se asocian con reacciones autolíticas, enzimáticas y bacterianas que reducen la vida útil del producto (Bernardi et al., 2013; Boziaris & Parlapani, 2017; Cheng et al., 2014; Sallam, 2007). Por esta razón, durante la manipulación y el almacenamiento, el deterioro de la calidad del pescado fresco ocurre rápidamente, limitando su conservación y comercialización (Gram & Huss, 1996; Ocaño-Higuera et al., 2011).

Diversos métodos han sido aplicados para la evaluación de la frescura y calidad del pescado, basándose en cambios sensoriales, físicos y químicos; los cuales permiten describir el deterioro *post mortem* bajo distintas condiciones de almacenamiento (Alasalvar et al., 2011; Cheng et al., 2016; Marquez-Rios et al., 2016; Martinsdóttir, 2002; Mazorra-Manzano et al., 2000). En particular, la aplicación integrada de métodos sensoriales, como el Método de Índice de Calidad (MIC), junto con indicadores físicos y químicos, han demostrado ser útiles para la caracterización práctica de la frescura en diferentes especies de pescado almacenadas en hielo, y aún son ampliamente utilizada en estudios recientes (Bernardi et al., 2013; Bernardo et al., 2020; Bonilla et al., 2007; Prabhakar et al., 2020).

No obstante, a pesar de la amplia aplicación de estas metodologías, la información disponible sobre los cambios asociados a la frescura en especies de importancia local o consumo limitado sigue siendo escasa, especialmente para recursos que no forman parte de pesquerías de gran escala. En este contexto, los estudios descriptivos que integran múltiples indicadores de frescura bajo condiciones controladas de almacenamiento aportan información de referencia relevante para el manejo y aprovechamiento de recursos pesqueros poco documentados (Duarte et al., 2020; Huidobro et al., 2001; Hyldig & Nielsen, 2001).

El congrio costero (*Cynoponticus coniceps*) se distribuye en el Pacífico oriental, desde el Golfo de California hasta el norte de Perú, y habita principalmente fondos arenosos y fangosos, así como zonas de manglar (McCosker & Rosenblatt, 1995). En Costa Rica, esta especie se consume principalmente a nivel local, inicialmente producto de capturas incidentales en pesquerías artesanales y semiindustriales (Villalobos-Rojas et al., 2014). Sin embargo, en la actualidad, el

congrío costero es una especie objetivo de la flota artesanal del golfo de Nicoya que utiliza palangre de fondo. A pesar de su presencia regional, existe escasa información publicada sobre los cambios *post mortem* y las características de almacenamiento de esta especie.

Hasta donde conocemos, no existen estudios publicados que describan de manera integrada los cambios sensoriales, físicos y químicos asociados a la frescura de filetes de *C. coniceps* durante el almacenamiento en hielo.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo describir los cambios sensoriales, físicos y químicos asociados a la frescura de filetes del congrío costero (*C. coniceps*) durante su almacenamiento en hielo, mediante la aplicación del Método de Índice de Calidad (MIC), mediciones de propiedades dieléctricas (torrímetero), pH y compuestos de degradación del ATP, para el aporte de información acerca de la calidad de este recurso bajo condiciones comerciales de almacenamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención, preparación y almacenamiento de las muestras: describimos filetes de *C. coniceps* con un peso aproximado entre 190 y 350g, adquiridos en un centro de acopio local de la ciudad de Puntarenas, Costa Rica, aproximadamente cuatro horas posteriores a la captura. Aunque no se contó con información detallada y precisa sobre las condiciones específicas de captura y manejo poscaptura, se conoce que los organismos fueron capturados mediante el arte de pesca con palangre de fondo utilizado por pescadores de la flota artesanal de pequeña escala que opera en el golfo de Nicoya, Costa Rica (10°9'1,4" N 85°27'3,3" O).

A partir del momento de adquisición, los filetes fueron transportados al laboratorio de Análisis Biológico-Pesqueros (LABIP) de la Estación de Biología Marina Juan Bertoglia Richards, Universidad Nacional en Puntarenas. Utilizamos una hielera de poliestireno expandido con hielo. Tres filetes fueron muestreados inmediatamente (día 0), mientras que el resto los cubrimos con una cantidad suficiente de hielo en escamas. La hielera estuvo provista de una salida para el drenaje del agua de fusión y la relación hielo:filetes (2:1) se mantuvo constante durante todo el experimento.

La manipulación y el almacenamiento en hielo lo realizamos bajo condiciones estandarizadas, con el fin de minimizar la variabilidad asociada al manejo posterior a la adquisición y evaluar de manera consistente los cambios en los indicadores de frescura. Las condiciones de manejo y almacenamiento empleadas simulan estrechamente las prácticas comerciales habituales aplicadas por la industria pesquera de Costa Rica, por lo que los resultados obtenidos reflejan el comportamiento de los filetes bajo condiciones de almacenamiento controladas y representativas del contexto comercial local.

Muestreo: todos los parámetros los realizamos en ocho tiempos de muestreo correspondientes a los 0, 2, 4, 7, 9, 11, 14 y 16 días de almacenamiento en hielo. En cada tiempo de muestreo seleccionamos al azar tres filetes distintos, los cuales fueron analizados de manera independiente. Los filetes analizados en cada tiempo de muestreo no se reutilizaron en evaluaciones posteriores. El tamaño muestral utilizado fue consistente con estudios descriptivos previos de evaluación de frescura en pescado almacenado en hielo, donde se emplean entre tres y cinco unidades experimentales por tiempo de muestreo (Bonilla et al., 2007; Sant'Ana et al., 2011; Özogul et al., 2005).

Composición proximal: la composición proximal la determinamos únicamente como caracterización inicial del material, por lo que no evaluamos cambios en estos componentes durante el almacenamiento. Al inicio del periodo de almacenamiento (día 0), utilizamos cuatro filetes de congrío costero seleccionados al azar, a cada uno de estos filetes les determinamos el contenido de humedad, cenizas, proteína cruda y extracto etéreo, de acuerdo con la metodología descrita por

AOAC (1984). El contenido de humedad la determinamos por deshidratación en horno a 100°C durante 24h. Las cenizas por calcinación lenta, incrementando la temperatura hasta 500°C y manteniéndola durante 12h (Crisp, 1971). La proteína cruda mediante el método de Kjeldahl, utilizando un factor de conversión de 6,25 (Crisp, 1971). El extracto etéreo mediante extracción Soxhlet (Lab-Line Instruments Inc., Illinois, EE. UU.) utilizando éter de petróleo como solvente. Los resultados de la composición proximal los expresamos en base húmeda.

Evaluación sensorial: utilizamos el Método de Índice de Calidad (MIC) para evaluar la frescura de filetes crudos de congrio costero, aplicando el esquema propuesto por Bonilla et al. (2007). Dicho esquema lo adaptamos con ajustes menores en los descriptores sensoriales, con el fin de adecuarlos a las características morfológicas y sensoriales específicas de los filetes de esta especie, sin modificar la estructura general del método ni la escala de puntuación.

Cada evaluación la realizamos por un mínimo de tres panelistas entrenados. Los evaluadores fueron capacitados previamente en la aplicación del MIC siguiendo los lineamientos generales descritos por Bonilla et al. (2007), mediante sesiones de familiarización con los descriptores sensoriales, discusión consensuada de los criterios de evaluación y práctica previa con muestras similares, con el fin de asegurar consistencia en la asignación de puntuaciones.

En cada tiempo de muestreo evaluamos tres filetes, considerando de manera objetiva atributos sensoriales de la carne cruda tales como textura, olor, color, brillo y presencia de rajaduras o fisuras (TABLA 1). Cada atributo lo calificamos mediante la selección de uno de cuatro descriptores posibles, con una puntuación asignada de 0 a 3, donde 0 representa calidad óptima o pescado muy fresco y los valores mayores indican un mayor grado de deterioro. Las puntuaciones de todos los atributos se sumaron para obtener una calificación sensorial global (puntuación total MIC), utilizada para el cálculo del Índice de Calidad (IC).

Adicionalmente, los evaluadores nos indicaron si los filetes eran o no aceptables para consumo humano; este criterio se empleó como referencia para la determinación del día 9 sensorial de los filetes de congrio costero.

TABLA 1
Esquema del Método de Índice de Calidad (MIC) desarrollado para filetes frescos de congrio costero.

Parámetro de calidad		Descripción	Puntaje
Carne	Textura	Firme	0
		Suave	1
		Muy suave	2
	Sangre	Rojo brillante, no presente	0
		Rojo apagado	1
		Oscuro, marrón	2
	Olor	Fresco, neutral	0
		Algas marinas, hierbas	1
		Leche agria	2
	Color	Ácido, amoniacal	3
		Blanco, grisáceo	0
		Algo amarillento, un poco rosado	1
	Brillantes	Amarillo, un poco rosado	2
		Transparente	0
		Opaco	1
	Rajaduras	Lechoso	2
		Sin rajaduras, una rajadura longitudinalmente	0
		Pocas rajaduras, menos del 25% del filete	1
		Ligeras rajaduras, 25-75% del filete	2
		Rajadura profunda o enorme, más del 75% del filete	3
Índice de calidad (0-14)			

Compuestos de degradación del ATP: el ATP y sus productos de degradación (ADP, AMP, IMP, inosina [HxR] e hipoxantina [Hx]) se extrajeron a partir de 5g de músculo de cada filete utilizando ácido perclórico 0,6M, siguiendo el método descrito por Ryder (1985). El extracto obtenido lo ajustamos a pH 6,8 y se almacenó a -30°C hasta su análisis. El análisis lo realizamos mediante cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC), de acuerdo con el método propuesto por Özogul et al. (2000). Previo al análisis, los extractos se filtraron utilizando filtros de jeringa de nylon de 25mm de diámetro y $0,45\mu\text{m}$ de tamaño de poro (GVS).

Utilizamos un sistema HPLC Agilent modelo 1260, equipado con una bomba cuaternaria (modelo G1311C) y un detector de arreglo de diodos (DAD, modelo G4212B). La separación cromatográfica del ATP, ADP, AMP, IMP, HxR y Hx la realizamos en una columna de fase reversa C18 ($5\mu\text{m} \times 4,6\text{mm} \times 250\text{mm}$; Agilent Technologies, EE. UU.), utilizando un gradiente de elución con buffer fosfato ($0,04\text{M KH}_2\text{PO}_4 - 0,06\text{M K}_2\text{HPO}_4$) y acetonitrilo como fase móvil. El volumen de inyección fue de $20\mu\text{L}$ y la detección se efectuó a 254nm; las condiciones cromatográficas se resumen a continuación (Tabla 2). El equipo fue calibrado utilizando estándares analíticos certificados (Sigma Chemical Company, St. Louis, MO, EE. UU.).

TABLA 2

Gradiente de HPLC para la separación de ATP y sus compuestos de descomposición.

Tiempo (min)	Composición de la fase móvil (%)		
	Buffer de fosfatos (A)	Acetonitrilo (B)	Flujo (mL/min)
0	100	0	1,7
3	95	5	1,6
6	75	25	2,0
7	100	0	1,7

El valor K lo calculamos como el porcentaje del cociente entre la suma de las concentraciones de Hx e HxR y la suma de las concentraciones de ATP y todos sus productos de degradación, según la ecuación propuesta por Saito et al. (1959): $\text{valor K (\%)} = [(Hx + HxR) / (ATP + ADP + AMP + IMP + Hx + HxR)] \times 100$

Las determinaciones de ATP y sus derivados las realizamos por duplicado a partir de tres filetes en cada tiempo de muestreo.

Medidas de torrímetro (TM): utilizamos el torrímetro (TM) Distell, modelo 295 (Distell Industries Ltd., West Lothian, Escocia, Reino Unido) para evaluar los cambios en las propiedades dieléctricas asociados a la degradación del músculo del pescado. La sonda la colocamos directamente sobre cada filete. Los valores se registraron en una escala digital de 0 a 16, donde 16 indica un producto muy fresco y 0 corresponde a un producto deteriorado.

Determinación del pH: homogenizamos 2g de músculo en 5ml de agua destilada utilizando un homogeneizador CAT (modelo X520). Posteriormente, el pH lo medimos con un pH-metro digital Orion Research (modelo 420A), siguiendo el método descrito por Woyewoda et al. (1986).

Análisis estadístico: para el análisis de los datos empleamos estadística descriptiva, expresando los resultados como promedio $\pm$ desviación estándar. Adicionalmente, aplicamos análisis de regresión lineal simple con el fin de describir tendencias temporales en los indicadores de frescura evaluados durante el almacenamiento en hielo. Los análisis de regresión se utilizaron exclusivamente con un enfoque descriptivo, sin realizar inferencias comparativas ni pruebas de significancia estadística entre los distintos tiempos de muestreo. En el caso de variables como el pH, donde no se observó una relación lineal clara con el tiempo de almacenamiento, la regresión se utilizó únicamente con fines ilustrativos, sin implicaciones inferenciales.

RESULTADOS

Presentamos los resultados como promedios $\pm$ desviación estándar, los cuales describen el comportamiento temporal de los distintos indicadores de frescura evaluados durante el almacenamiento en hielo. En general, los parámetros sensoriales, químicos y físicos mostraron patrones consistentes con los procesos de deterioro *post mortem* descritos para productos pesqueros almacenados bajo condiciones de refrigeración.

Composición proximal inicial

La composición proximal de los filetes de congrio costero, determinada al inicio del periodo de almacenamiento (día 0), evidenció un alto contenido proteico ($19,3 \pm 0,58\%$) y un contenido

lipídico moderado ($2,5 \pm 0,18\%$), característico de especies semigrasas. El contenido de humedad fue de $78,85 \pm 0,69\%$, mientras que el de ceniza fue de $1,22 \pm 0,29\%$, valores que se ubican dentro de los rangos reportados para otros peces marinos. Los datos se expresaron como promedio $\pm$ desviación estándar en base húmeda ($n = 4$).

Evaluación sensorial e índice de calidad (IC)

La evaluación sensorial mediante el Método de Índice de Calidad (MIC) nos permitió describir de manera progresiva el deterioro de los filetes de congrio costero durante el almacenamiento en hielo. Las principales modificaciones sensoriales se asociaron con cambios en el olor, la textura y el brillo superficial de los filetes (Fig. 1). Inicialmente, los filetes presentaron superficie brillante, apariencia translúcida y textura firme. Conforme avanzó el tiempo de almacenamiento, observamos una disminución del brillo superficial, mayor opacidad del músculo y pérdida gradual de firmeza, junto con la aparición de rajaduras o fisuras longitudinales en el tejido, características que coincidieron con el aumento en las puntuaciones del IC.

El índice de calidad calculado a partir de la suma de las puntuaciones del MIC mostró un incremento gradual conforme avanzó el tiempo de almacenamiento (Fig. 2), lo que refleja la pérdida progresiva de atributos sensoriales asociados a la frescura del producto.



Fig. 1. Evolución de los principales cambios sensoriales en filetes de congrio costero almacenados en hielo.

Con base en la evaluación del panel entrenado, observamos que a partir del día 9 de almacenamiento los filetes presentaron características sensoriales que motivaron su clasificación como no aceptables para consumo humano bajo las condiciones experimentales evaluadas. Este punto fue considerado en el presente estudio como un umbral operativo de aceptabilidad sensorial.

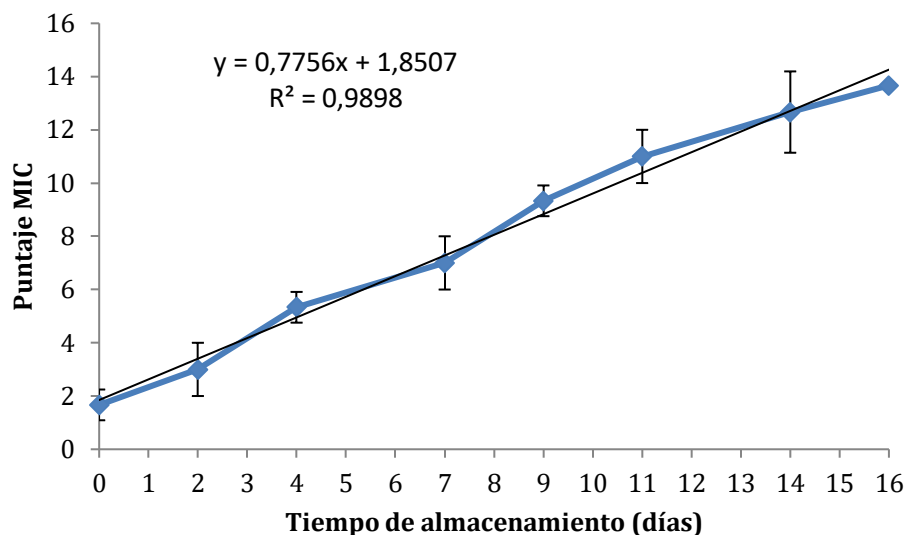


Fig. 2. Cambios en la puntuación del Índice de calidad (IC) percibidos en filetes de congrio costero almacenados en hielo. Cada punto representa el promedio $\pm$ desviación estándar (n=3).

Compuestos de degradación del ATP y valor K

Encontramos que los compuestos de degradación del ATP mostraron variaciones temporales coherentes con los procesos bioquímicos *post mortem* del músculo del pescado. Durante los primeros días de almacenamiento observamos una disminución progresiva del ATP y sus derivados tempranos, acompañados por un incremento de los productos finales de degradación, particularmente inosina e hipoxantina (Fig. 3). Como consecuencia de estos cambios, el valor K aumentó de manera progresiva a lo largo del periodo de almacenamiento en hielo (Fig. 4), evidenciando el avance del deterioro bioquímico del producto.

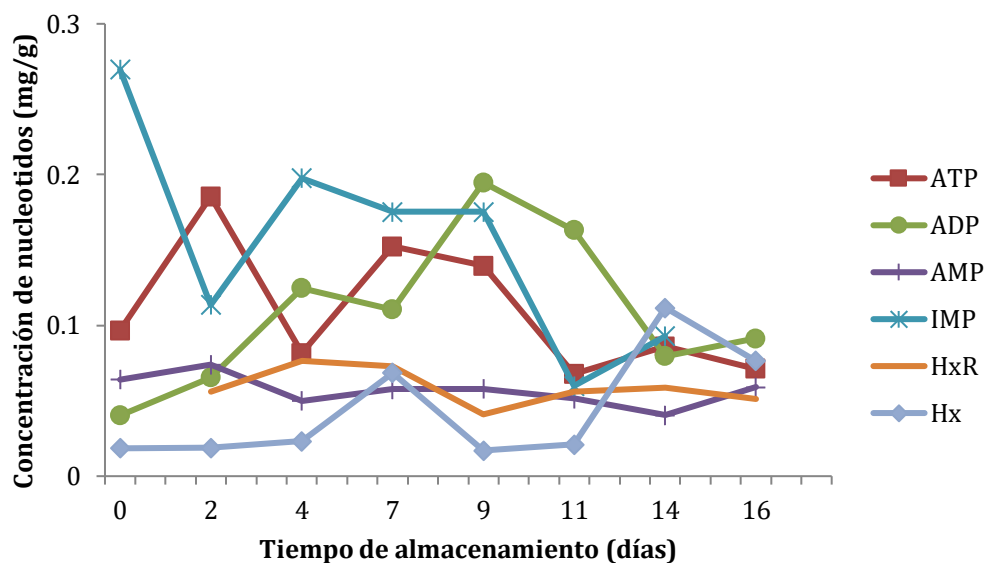


Fig. 3. Cambios en la concentración de compuestos de degradación del ATP en filetes de congrio costero almacenados en hielo. Cada punto representa el promedio $\pm$ desviación estándar (n=3).

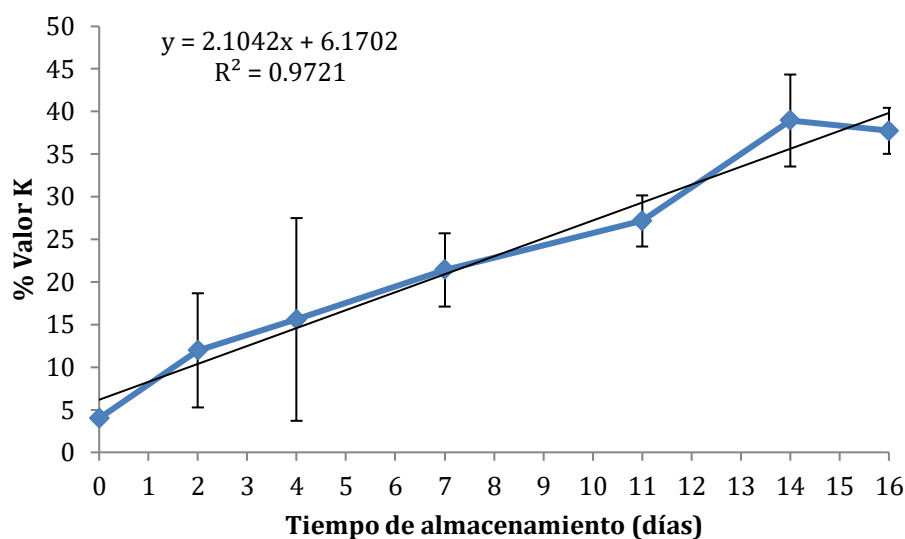


Fig. 4. Cambios en el Valor K en filetes de congrio costero almacenados en hielo. Cada punto representa el promedio $\pm$ desviación estándar (n=3).

Medidas de torrímetro

Las lecturas obtenidas mediante el torrímetro mostraron valores relativamente elevados al inicio del almacenamiento, seguidos de una disminución gradual conforme avanzó el tiempo de conservación en hielo (Fig. 5). Esta tendencia refleja los cambios en las propiedades dieléctricas del músculo asociados a la pérdida de integridad celular y al deterioro estructural del tejido. Aunque los valores iniciales no corresponden a un estado inmediatamente posterior a la captura, la tendencia observada fue consistente durante todo el periodo experimental.

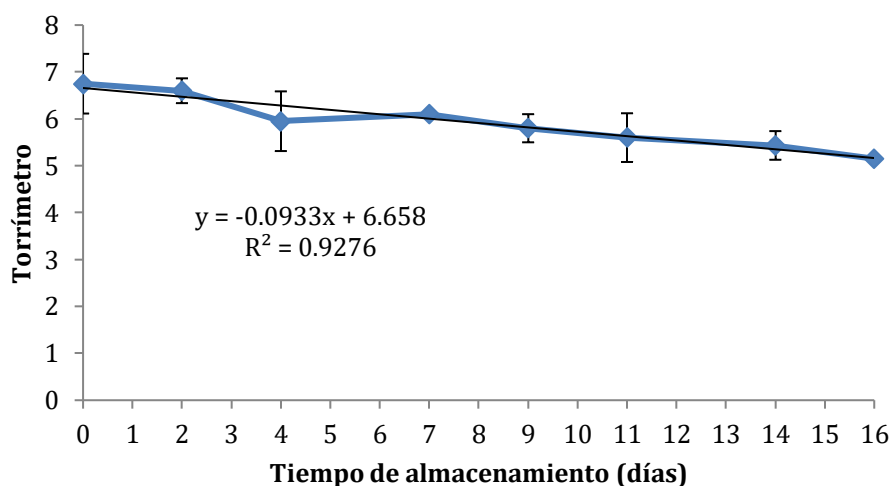


Fig. 5. Mediciones del torrímetro de filetes de congrio almacenados en hielo. Cada punto representa el promedio $\pm$ desviación estándar (n=3).

Comportamiento del pH

El pH de los filetes de congrio costero presentó una disminución durante los primeros días de almacenamiento, seguida de una estabilización hacia la segunda mitad del periodo evaluado (Fig. 6). Este comportamiento sugiere la ocurrencia de procesos autolíticos iniciales, seguidos por una fase en la que la acumulación de compuestos básicos contrarresta la acidificación inicial del músculo.

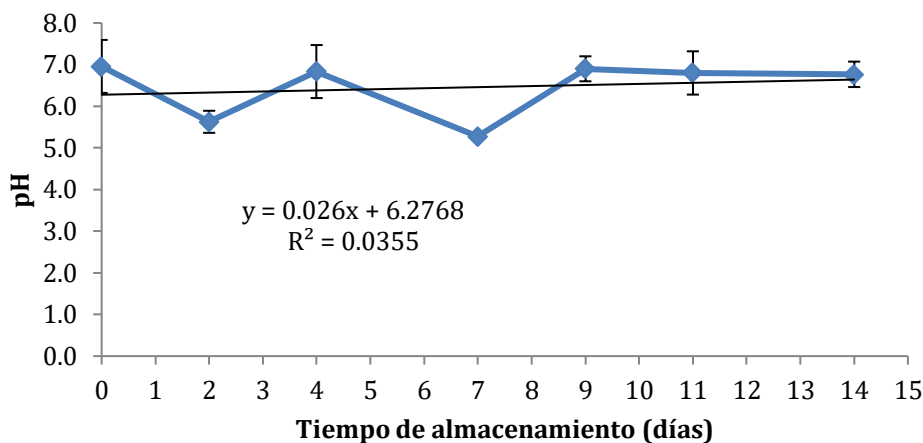


Fig. 6. Cambios en el pH de filetes del congrio costero almacenados en hielo. Cada punto representa el promedio $\pm$ desviación estándar ($n=3$).

DISCUSIÓN

La composición química proximal constituye un criterio ampliamente utilizado para la caracterización inicial de productos pesqueros, ya que permite describir su valor nutricional bajo condiciones específicas de muestreo. En la presente investigación, el contenido proteico observado en los filetes de la especie bajo estudio se encuentra dentro del rango reportado para otras especies marinas del mismo orden, lo cual ha sido previamente descrito para *Anguilla japonica* y *Anguilla anguilla* (Oku et al., 2009; Özogul et al., 2005). No obstante, diversos autores han señalado que la composición química de los productos pesqueros puede variar en función de factores como la dieta, la especie, la variación individual, el estado fisiológico y los cambios estacionales (Bouriga et al., 2010; Izquierdo et al., 2001), por lo que los valores reportados en este estudio deben interpretarse como una caracterización puntual del lote analizado.

La evaluación sensorial mediante el Método de Índice de Calidad (MIC) permitió describir de manera progresiva los cambios asociados al deterioro de los filetes estudiados durante el almacenamiento en hielo. Este método ha sido ampliamente validado como una herramienta práctica y reproducible para la evaluación de la frescura del pescado (Bernardi et al., 2013; Bonilla et al., 2007), y su aplicación en el presente estudio mostró un comportamiento temporal coherente con lo reportado para otras especies marinas almacenadas en condiciones similares (Gutiérrez et al., 2015; Sant'Ana et al., 2011).

Los cambios sensoriales observados en los filetes de congrio costero durante el almacenamiento en hielo reflejan el deterioro progresivo del tejido muscular asociado a procesos *post mortem*. La pérdida gradual del brillo superficial y el aumento de la opacidad del músculo

sugieren modificaciones en la estructura miofibrilar y en la capacidad de retención de agua del tejido, fenómenos comúnmente relacionados con la degradación proteica y la ruptura de membranas celulares (Prabhakar et al., 2020; Wu et al., 2019). Asimismo, la disminución de la firmeza y la aparición de rajaduras longitudinales evidencian la pérdida de integridad estructural del músculo, lo que coincide con la actividad de enzimas autolíticas y con los cambios físicos descritos en pescado almacenado en hielo (Duarte et al., 2020; Liu et al., 2025).

Estos cambios visuales y texturales se reflejaron en el incremento progresivo de las puntuaciones del índice de calidad, lo cual confirma la utilidad del MIC como herramienta para describir el deterioro sensorial del pescado y su relación con los procesos bioquímicos y estructurales que ocurren durante el almacenamiento en frío (Bernardo et al., 2020; Liu et al., 2025). El aumento gradual del IC a lo largo del tiempo evidenció el deterioro sensorial progresivo del producto y permitió identificar un criterio operativo de aceptabilidad sensorial alrededor del día 9 de almacenamiento bajo las condiciones experimentales evaluadas. Dado que el rechazo sensorial se observó durante la evaluación realizada en el día 9, desde una perspectiva práctica la vida útil del producto puede considerarse de aproximadamente siete días, correspondiente al último tiempo de almacenamiento en el que los filetes mantuvieron una aceptabilidad sensorial bajo las condiciones evaluadas. Este comportamiento temporal del índice de calidad es consistente con lo reportado en estudios que han aplicado el MIC en distintas especies de pescado almacenadas en hielo, lo que refuerza su utilidad como herramienta práctica para la evaluación sensorial de la frescura.

Tras la muerte del pez, el ATP presente en el músculo se degrada de manera progresiva a través de una secuencia bioquímica bien descrita ($\text{ATP} \rightarrow \text{ADP} \rightarrow \text{AMP} \rightarrow \text{IMP} \rightarrow \text{inosina} \rightarrow \text{hipoxantina}$), como resultado de procesos autolíticos y enzimáticos asociados al metabolismo *post mortem* (Ryder, 1985; Saito et al., 1959). Durante las primeras etapas del almacenamiento, el IMP suele acumularse y se asocia con características sensoriales favorables, mientras que en fases posteriores aumenta la concentración de inosina e hipoxantina, compuestos relacionados con el deterioro sensorial del pescado.

En este contexto, el valor K se utiliza como un indicador integrado del estado de frescura, ya que expresa la proporción relativa de los productos finales de degradación del ATP con respecto al total de nucleótidos presentes. Un incremento del valor K refleja, por tanto, un mayor grado de degradación *post mortem*. Asimismo, ha sido ampliamente empleado como un indicador complementario para describir el deterioro del pescado durante el almacenamiento en hielo.

Los cambios observados en los compuestos de degradación del ATP y en el valor K concuerdan con los procesos bioquímicos *post mortem* descritos para diferentes especies de pescado almacenadas en hielo (Ryder, 1985; Saito et al., 1959). El aumento progresivo del valor K ha sido utilizado como un indicador complementario de frescura y se ha reportado previamente en estudios realizados con anguiliformes y otras especies marinas (Lougovois et al., 2003; Özogul et al., 2005). Aunque el valor K mostró un incremento progresivo durante el almacenamiento, los valores máximos observados fueron relativamente bajos en comparación con los reportados para otras especies marinas almacenadas en hielo, lo que podría reflejar diferencias interespecíficas en la velocidad de degradación de los nucleótidos musculares o en la dinámica de los procesos bioquímicos *post mortem*. En este estudio, empleamos el valor K con un enfoque descriptivo, como apoyo a la interpretación del deterioro del producto, sin la intención de establecer límites normativos o sanitarios para su aplicación rutinaria.

Las mediciones del torrímetro mostraron una tendencia general a disminuir conforme avanzó el tiempo de almacenamiento. Estas variaciones en las propiedades dieléctricas del músculo se han relacionado con la pérdida de integridad celular y con cambios estructurales asociados al deterioro del pescado, los cuales también se reflejan en alteraciones de la apariencia y el olor del producto (Kim et al., 1987; Pivarnik et al., 1990; Šimat et al., 2009).

Las lecturas del torrímometro dependen de múltiples factores, incluyendo la integridad celular, la distribución de agua, de electrolitos y la composición química del tejido; por ello, aunque el contenido y la oxidación de los lípidos podrían influir de manera indirecta, el comportamiento observado debe interpretarse como el resultado de procesos *post mortem* integrados más que de un único componente del músculo. Cabe señalar que las lecturas iniciales no correspondieron a un estado inmediatamente posterior a la captura, ya que los filetes fueron adquiridos aproximadamente cuatro horas después, por lo que el deterioro *post mortem* se presentó al momento del muestreo inicial.

A su vez, Lougovois et al. (2003) indicaron que la disminución de los valores del torrímometro durante el almacenamiento en hielo demuestran modificaciones en la conductividad y permeabilidad del tejido muscular.

En relación con el pH, el comportamiento observado durante el almacenamiento en hielo coincide con lo reportado para otras especies marinas, en las que se describe una disminución inicial seguida de una estabilización o ligero incremento asociado a la producción de compuestos básicos durante etapas posteriores del deterioro (Castro et al., 2013; Kyrana et al., 1997; Morzel & van de Vis, 2003).

Dado el enfoque descriptivo del estudio y la variabilidad observada en los valores de pH, no se realizaron pruebas estadísticas para comparar diferencias entre tiempos de almacenamiento, por lo que los cambios descritos deben interpretarse como tendencias generales y no como incrementos comprobados. Este patrón ha sido atribuido a la combinación de procesos autolíticos y a la actividad microbiana.

En conjunto, la comparación cualitativa de los resultados obtenidos con la literatura disponible confirma que los cambios sensoriales, físicos y químicos observados en los filetes de congrio costero durante el almacenamiento en hielo presentan comportamientos consistentes con los descritos para otras especies marinas bajo condiciones similares. La aplicación integrada del Método de Índice de Calidad, el valor K, las mediciones del torrímometro y el pH permitió caracterizar la evolución de la frescura bajo las condiciones evaluadas. Desde una perspectiva práctica, los filetes mantuvieron características sensoriales aceptables hasta aproximadamente siete días de almacenamiento en hielo, mientras que el rechazo sensorial se evidenció durante la evaluación realizada alrededor del día 9. Estos resultados aportan información de referencia para el manejo poscaptura y la conservación de esta especie, y constituyen una base para futuras investigaciones orientadas a evaluar tecnologías de conservación que permitan prolongar su vida útil, así como profundizar en su caracterización nutricional mediante el análisis de perfiles de ácidos grasos y aminoácidos.

Finalmente, sería de interés analizar el efecto de tecnologías complementarias, como el almacenamiento en atmósferas modificadas, los recubrimientos comestibles o sistemas de enfriamiento mejorados, cuya eficacia deberá evaluarse en investigaciones posteriores.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Nacional por el financiamiento de los proyectos SIA 0056-22 y SIA 0162-20, fondos FEES (Vicerrectoría de Investigación) que dieron lugar a esta investigación; así como a Jimmy Oconitrillo, por facilitar la obtención de las muestras y a los pescadores que apoyaron el estudio.



ÉTICA, CONFLICTO DE INTERESES Y DECLARACIÓN DE FINANCIAMIENTO

Los autores declaramos haber cumplido cabalmente con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la producción del manuscrito; que no existen conflictos de intereses de ningún tipo; que todas las fuentes financieras estén completa y claramente indicadas en la sección de agradecimientos; y que están totalmente de acuerdo con la versión final editada del artículo. Un documento firmado ha sido archivado en los archivos de la revista.

Contribución de cada autor al manuscrito: C.F.R y L.H.N participaron en el diseño del estudio, recopilación y análisis de datos. S.F.F: toma de datos, colecta y procesamiento de muestras. Todos los coautores contribuyeron a la preparación y aprobación final del manuscrito.

REFERENCIAS

- Alasalvar, C., Shahidi, F., Miyashita, K., & Wanasundara, U. (2011). *Handbook of seafood quality, safety and health applications*. Wiley-Blackwell.
- AOAC. (1984). *Official methods of analysis*. Official Analytical Chemists, Washington D.C., EE. UU.
- Bernardi, D. C., Mársico, E. T., & Freitas, M. Q. (2013). Quality Index Method (QIM) to assess the freshness and shelf life of fish. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 56(4), 587–598. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132013000400009>
- Bernardo, Y. A. A., de Pinho, G. S., & Pardini, L. C. (2020). Fish Quality Index Method: Principles, weaknesses and perspectives for improvement. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(5), 2186–2206. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12600>
- Bonilla, A., Sveinsdottir, K., & Martinsdottir, E. (2007). Development of Quality Index Method (QIM) scheme for fresh cod (*Gadus morhua*) fillets and application in shelf-life study. *Food Control*, 18(4), 352–358. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2005.10.019>
- Bouriga, N., Selmi, S., Faure, E., & Trabelsi, M. (2010). Biochemical composition of three Tunisian silverside fish populations. *African Journal of Biotechnology*, 9(26), 4114–4119. <https://doi.org/10.5897/AJB2010.000-3294>
- Bozialis, I. S., & Parlapani, F. F. (2017). Specific spoilage organisms (SSOs) in fish. In A. Bevilacqua, M. R. Corbo & M. Sinigaglia (Eds.), *The microbiological quality of food* (pp. 61-98). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100502-6.00006-6>
- Castro, P. L., Caballero, M. J., Ginés, R., Penedo, J.C., Montero, D., Lastilla, M.T. & Izquierdo, M. (2013). Linseed oil inclusion in sea bream diets: effect on muscle quality and shelf life. *Aquaculture Research*, 46(1), 75–85. <https://doi.org/10.1111/are.12161>
- Cheng, J.-H., Sun, D.-W., Han, Z. & Zeng, X.-A. (2014). Texture and structure measurements and analyses for evaluation of fish and fillet freshness quality: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 13(1), 52–61. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12043>



- Cheng, J.-H., Sun, D.-W., Zeng, X.-A., & Liu, D. (2015). Recent advances in methods and techniques for freshness quality determination of fish and fish fillets. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(7), 1212–1225. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.769934>
- Cheng, J.-H., Sun, D.-W. & Zhu, Z. (2016), Effects of frozen storage condition abuse on the textural and chemical properties of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fillets. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(1). <https://doi.org/10.1111/jfpp.13002>
- Crisp, D. J. (1971). Energy flow measurements. In N. A. Holme y A. D. McIntyre (Eds.), *Methods for the study of marine benthos* (pp. 197-278). Blackwell, Oxford: IBP Handbook.
- Duarte, A. M., Silva, F., Pinto, F. R., Barroso, S., & Gil, M. M. (2020). Quality assessment of chilled and frozen fish - Mini Review. *Foods*, 9(12), 1739. <https://doi.org/10.3390/foods9121739>
- Gram, L., & Huss, H. H. (1996). Microbiological spoilage of fish and fish products. *International Journal of Food Microbiology*, 33(1), 121-137. [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(96\)01134-8](https://doi.org/10.1016/0168-1605(96)01134-8)
- Gutiérrez, N., Amoroch, C., Sandoval, A., & Ruíz, Y. (2015). Quality Index Method developed for gutted and ungutted red tilapia (*Oreochromis ssp*). *Revista MVZ Córdoba*, 20(1), 4461–4471. <https://doi.org/10.21897/rmvz.76>
- Huidobro, A., Mendes, R. & Nunes, M. (2001). Slaughtering of gilthead seabream (*Sparus aurata*) in liquid ice: influence on fish quality. *European Food Research and Technology*, 213, 267–272. <https://doi.org/10.1007/s002170100378>
- Hyldig, G., & Nielsen, D. (2001). A review of sensory and instrumental methods used to evaluate the texture of fish muscle. *Journal of Texture Studies*, 32(3), 219–242. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2001.tb01045.x>
- Izquierdo, P., Torres, G., Allara, M., Marquez, E., Barboza, Y. & Sánchez, E. (2001). Análisis proximal, contenido de aminoácidos esenciales y relación calcio/fosforo en algunas especies de pescado. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias*, 11(2), 95-100.
- Kim, J.-B., Murata, M., & Sakaguchi, M. (1987). A Method for the differentiation of frozen thawed from unfrozen fish fillets by a combination of Torrymeter readings and K Values. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 53(1), 159–164. <https://doi.org/10.2331/suisan.53.159>
- Kyran, V. R., Lougovo, V. P., & Valsamis, D. S. (1997). Assessment of shelf life of maricultured Gilthead sea bream (*Sparus aurata*) stored in ice. *International Journal of Food Science and Technology*, 32(4), 339–347. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.1997.00408.x>
- Liu, R., Tan, C., Tu, Z., Nie, S., Yu, Y., Hu, J & Zhang, L. (2025). Research progress on the mechanism of fish quality deterioration during frozen storage and novel control technologies. *Food Science of Animal Products*, 3(1), 9240105. <https://doi.org/10.26599/FSAP.2025.9240105>

- Lougovois, V. P., Kyranas, E. R., & Kyrana, V. R. (2003). Comparison of selected methods of assessing freshness quality and remaining storage life of iced gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Food Research International*, 36(6), 551–560. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(02\)00220-X](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(02)00220-X)
- Marquez-Rios, E., Pacheco-Aguilar, R., Ramirez-Suarez, J. C., Ocano-Higuera, V. M., García-Sifuentes, C. O., Scheuren-Acevedo, S. M., & Mazorra-Manzano, M. A. (2016). Post mortem biochemical and microbiological changes in loricariid catfish (*Pterygoplichthys disjunctivus*) muscle during ice storage. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 25(1), 105–113. <https://doi.org/10.1080/10498850.2013.828146>
- Martinsdóttir, E. (2002). Quality management of stored fish. In H. A. Bremner (Ed.), *Safety and quality issues in fish processing* (pp. 360–378). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781855736788.3.360>
- Mazorra-Manzano, M.A., Pacheco-Aguilar, R., Díaz-Rojas, E.I. & Lugo-Sánchez, M.E. (2000), Post mortem Changes in Black Skipjack Muscle During Storage in Ice. *Journal of Food Science*, 65(5), 774–779. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb13585.x>
- McCosker, J. E., & Rosenblatt, R. H. (1995). *Ophichthidae. Tiesos, serpentones*. En W. Fischer, F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter, & V. H. Niem (Eds.), *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental* (Vol. 2, Vertebrados, Parte 1, pp. 1326–1341). [FAO Fisheries Identification Guide](#)
- Morzel, M., & van de Vis, H. (2003). Effect of slaughter method on the quality of raw and smoked eels (*Anguilla anguilla* L.). *Aquaculture Research*, 34(1), 1–11. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2003.00754.x>
- Ocaño-Higuera, V. M., Graciano, A. Z., Castillo-Yañez, F. J., Márquez-Ríos, E., & Lugo, M. E. (2011). Manipulación y calidad de productos de la pesca. In G. A. González, R. M. Robles, M. Plascencia, M. O. Cortez, & A. Burgos (Eds.), *Nuevas tendencias en Ciencia y Tecnología de Alimentos: tópicos selectos* (chap. 7, pp. 148-174). Editorial Trillas
- Oku, T., Sugawara, A., Choudhury, M., Komatsu, M., Yamada, S. & Ando, S. (2009). Lipid and fatty acid compositions of Japanese eel (*Anguilla japonica*). *Food Chemistry*, 115(2), 436–440. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.032>
- Özogul, F., Taylor, A. K. D, Quantick, P. C. & Özoğul, Y. (2000). A rapid HPLC-determination of ATP-related compounds and its application to herring stored under modified atmosphere. *International Journal of Food Science and Technology*. 35(6), 549-554. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.00405.x>
- Özogul, Y., Özyurt, G., Özogul, F., Kuley, E & Polat, A. (2005). Freshness assessment of European eel (*Anguilla anguilla*) by sensory, chemical and microbiological methods. *Food Chemistry*, 92(4), 745–751. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.035>

- Pivarnik, L. F., Kazantzis, D., Karakoltsidis, P. A., Constantinides, S., Jhaveri, S.N. & Rand, A.G. (1990). Freshness assessment of six new england fish species using the torrymeter. *Journal of Food Science*, 55(1), 79–82. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb06021.x>
- Prabhakar, P. K., Vatsa, S., Srivastav, P. P., & Pathak, S. S. (2020). A comprehensive review on freshness of fish and assessment: analytical methods and recent innovations. *Food Research International*, 133, 109157. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109157>
- Ryder, J. M. (1985). Determination of adenosine triphosphate and its breakdown products in fish muscle by high-performance liquid chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 33(4), 678–680. <https://doi.org/10.1021/jf00064a027>
- Saito, T., Arai, A., & Matsuyoshi, M. (1959). A new method for estimating the freshness of fish. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 24(9), 749–750. <http://dx.doi.org/10.2331/suisan.24.749>
- Sallam, K.I. (2007). Chemical, sensory and shelf-life evaluation of sliced salmon treated with salts of organic acids. *Food Chemistry*. 101(2), 592–600. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.019>
- Sant’Ana, L.S., Soares, S. & Vaz-Pires, P. (2011). Development of a quality index method (QIM) sensory scheme and study of shelf-life of ice-stored blackspot seabream (*Pagellus bogaraveo*). *LWT – Food Science and Technology*, 44(10), 2253-2259. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.07.004>
- Šimat, V., Soldo, A., Maršić-Lučić, J., Tudor, M. & Bogdanovic, T. (2009). Effect of storage conditions on dielectric properties of sea bass. *Acta Adriatica*, 50(1), 5–10.
- Villalobos-Rojas, F. Herrera-Correal, J., Garita-Alvarado, C., Clarke, T. & Beita-Jiménez, A. (2014). Actividades pesqueras dependientes de la ictiofauna en el Pacífico Norte de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. 62(4), 119-138. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i4.20038>
- Woyewoda, A. D., Shaw, S. J., Ke, P. J. & Burns, B. G. (1986). *Recommended laboratory methods for assessment of fish quality*. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences. Halifax, Canada: Fisheries and Oceans.
- Wu, L., Pu, H., & Sun, D.-W. (2019). Novel techniques for evaluating freshness quality attributes of fish: A review of recent developments. *Trends in Food Science & Technology*, 83, 259-273. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.12.002>