

Tecnología de radiación ionizante para extender la vida útil de pescado magro fresco

Perez Cenci M.⁽¹⁾⁽²⁾; Felix M.L.⁽¹⁾; Cova M.C.⁽³⁾; García Loredo A.B.⁽¹⁾⁽²⁾; Tomac A.⁽¹⁾⁽²⁾

⁽¹⁾Grupo de Investigación Preservación y Calidad de Alimentos (GIPCAL) – INCITAA - Facultad de Ingeniería – UNMDP. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.

⁽²⁾Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET. Argentina.

⁽³⁾Sección Irradiación de Alimentos - Gerencia de Aplicaciones y Tecnología de Radiaciones - Gerencia de Área Aplicaciones de la Energía Nuclear - Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Ezeiza, Buenos Aires, Argentina.

atomac@fi.mdp.edu.ar - tomacalejandra@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El tratamiento con radiación ionizante es utilizado a nivel mundial con el fin de extender la vida útil y garantizar la inocuidad de los alimentos. Esta tecnología consiste en exponer el alimento a la acción de una fuente de radiación ionizante durante un periodo de tiempo suficiente para lograr ciertos objetivos, como pueden ser la reducción o eliminación de microorganismos patógenos y deteriorantes, la extensión de la vida útil, el retraso del deterioro por inhibición de la maduración, brotación y senescencia, y la inactivación de insectos. La aplicación de energía ionizante presenta ciertas ventajas que la convierten en un tratamiento versátil, ya que puede aplicarse en el envase final de manera de evitar la recontaminación posterior, no deja residuos en los productos y pueden tratarse alimentos sensibles al calor (Ehlermann, 2016; Farkas, 2006; Josephson, 1983; Kilcast, 1995; Sommers y Fan, 2006). Además, permite reducir las pérdidas de alimentos por deterioro, contribuyendo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (UN, 2024).

A nivel mundial, diversas especies de productos pesqueros han sido preservadas efectivamente con energía ionizante (Abdeldaiem, Mohammad y Ramadan, 2018; Annamalai *et al.*, 2020; IAEA, 2000; Shankar, Danneels y Lacroix, 2019). En el país, se ha estudiado su aplicación en productos pesqueros

como merluza, calamar y anchoíta, ya que es útil para preservar estos alimentos perecederos sin recurrir a la congelación (Lescano *et al.*, 1990; Tomac y Yeannes, 2012; Tomac *et al.*, 2015; Tomac *et al.*, 2017).

Los productos pesqueros son valorados nutricionalmente debido a su composición proteica de alto valor biológico, dado que tienen todos los aminoácidos esenciales. A nivel lipídico presentan una gran cantidad de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), siendo los de mayor interés los que se consideran esenciales, como el linoleico, linolénico, el docosahexaenoico (DHA) y eicosapentaenoico (EPA). Además, los dos últimos presentan la característica de intervenir en la formación del sistema nervioso central y del sistema visual (Huss, 1998; Aires, Capdevila y Segundo, 2005).

La pescadilla *Cynoscion guatucupa* es una especie demersal capturada en el país que suele comercializarse con valor agregado reducido, principalmente congelada entera. El promedio del volumen de capturas de los últimos diez años es de 10.933 ton/año. Durante el 2022, el total capturado fue de 5065 toneladas de pescadilla (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2022).

Los alimentos obtenidos a partir de esta especie, por tratarse de un producto pesquero, resultan especialmente sensibles al deterioro, que se manifiesta en cambios en la calidad debido a la actividad bacte-

riana y enzimática (Huss, 1998). Desde el año 2017, la normativa argentina ha aprobado el uso de radiación ionizante en distintas clases de alimentos, incluyendo los productos pesqueros (CAA, 2024). Esta tecnología resulta especialmente útil en este tipo de productos altamente perecederos, cuyas características nutricionales (calidad de proteínas y ácidos grasos) son apreciadas por los consumidores.

Considerando lo anterior, el objetivo fue analizar el efecto de distintas dosis de radiación ionizante sobre el perfil microbiológico, parámetros fisicoquímicos de calidad, aceptabilidad sensorial, y la vida útil en refrigeración de filetes de pescadilla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima: adquisición y tratamiento

Se adquirieron ejemplares de pescadilla (*Cynoscion guatucupa*) (Imagen 1) capturados en la zona marítima del partido de Mar Chiquita, Provincia de Buenos Aires. Fueron descabezados, eviscerados y fileteados en planta. Los filetes sin piel se trasladaron en refrigeración (4 ± 1 °C) hasta el laboratorio. Las muestras se procesaron de acuerdo a las etapas descritas en la Figura 1. Se envasaron muestras de 300 ± 50 g en bolsas de polietileno y poliamida y se acondicionaron en cajas de poliestireno (3 ± 2 °C) para el traslado a la Planta Semi-industrial del Centro Atómico Ezeiza (^{60}Co , 600000 Curies) donde se irradiaron a dosis medias globales de 0; 1,5; 4 y 6,5 kGy, con una tasa de dosis de 8 kGy/h y una uniformidad de dosis de 1,37. Se transportaron en refrigeración hacia el laboratorio en Mar del Plata donde se almacenaron a 4 ± 1 °C durante un mes. Se analizó la composición química proximal (día 0), el recuento de bacterias aerobias mesófilas (BAM) y psicrótrofas (BAP) totales, coliformes totales (COL), enterobacterias (EB) y *Staphylococcus spp.* (ICMSF, 1983). Se determinó el pH, el Nitrógeno Básico Volátil (NBV) (Gianini *et al.*, 1979) y la aceptabilidad sensorial en filetes cocidos (10 minutos a la plancha y aplicación de sal (0,8 g) y jugo de limón (2 mL) por 100 g de filet) mediante un panel piloto de 15 consumidores (Witting de Penna, 2001) que evaluaron los atributos aroma, apariencia, textura en boca, sabor y aceptabilidad global sobre una escala hedónica verbal de 9 puntos (siendo 9 la máxima aceptabilidad) (Imagen 2). Los resultados se analizaron con ANOVA de dos factores (dosis - tiempo) y Test de Tukey ($p < 0,05$), con el programa R project.

Imagen 1 - Pescadilla *Cynoscion guatucupa*



Imagen 2 - Disposición de muestras y planilla de evaluación durante el test de aceptabilidad sensorial.

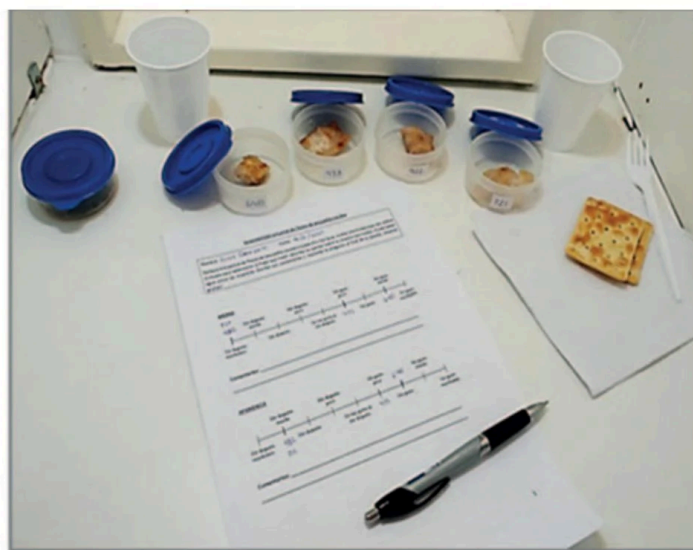
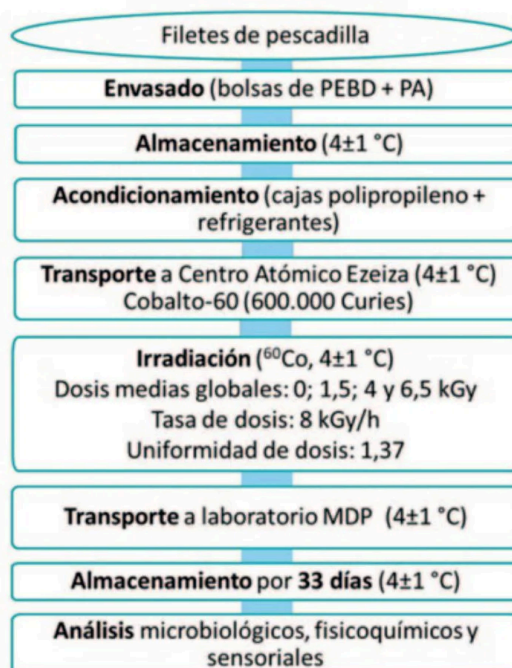


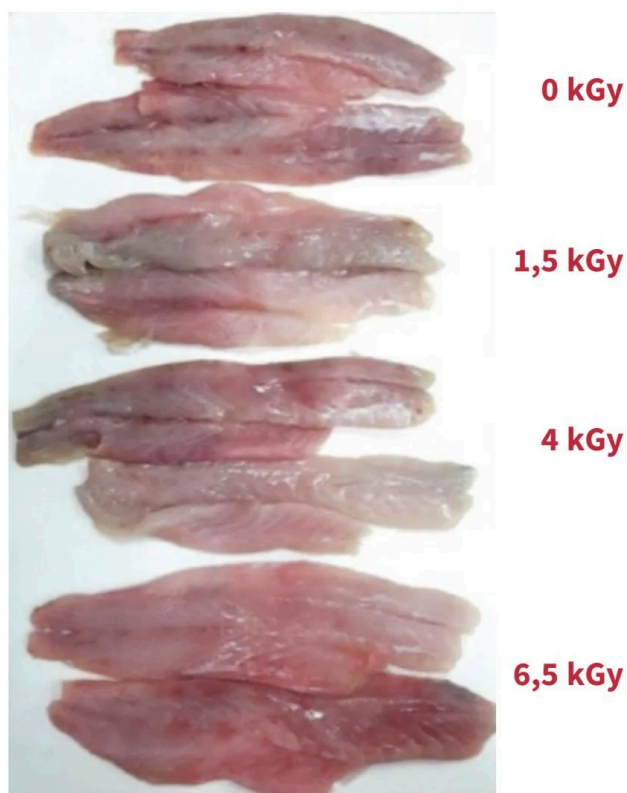
Figura 1 - Diagrama de flujo del tratamiento de las muestras



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tratamiento con radiación ionizante no afectó la apariencia ni el color característicos del producto como se muestra en la Imagen 3, la cual fue tomada el día posterior al tratamiento.

Imagen 3- Filetes de pescadilla tratados con radiación ionizante con dosis de 0, 1,5, 4 y 6,5 k



Análisis microbiológicos

La radiación ionizante redujo los recuentos de BAM, BAP, coliformes enterobacterias y *Staphylococcus spp* de manera dependiente con la dosis. Como se muestra en la **Figura 2**, con dosis de 1,5; 4 y 6,5 kGy se redujeron significativamente los recuentos de BAM iniciales en 0,5; 4,5 y 4,5 ciclos log, respectivamente. Durante el almacenamiento, el recuento de BAM de las muestras irradiadas fue menor ($p < 0,05$) al de las muestras control. La radiación ionizante extendió el tiempo en que las BAM alcanzaron el valor máximo recomendado 6 log (UFC/g), siendo de 5, 8, 16 y 28 días para el control, 1,5; 4 y 6,5 kGy, respectivamente.

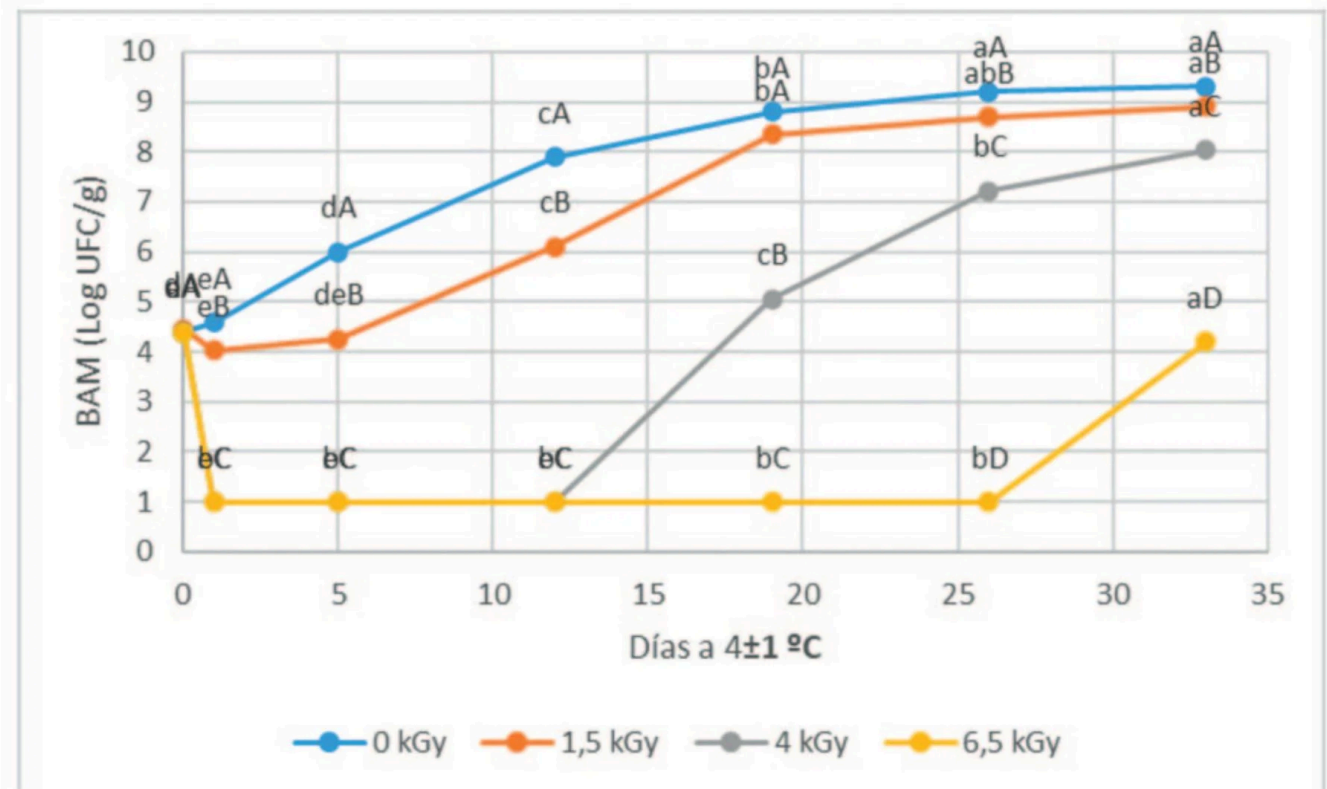
El comportamiento de BAP siguió una tendencia similar a BAM. Los recuentos de *Staphylococcus spp*, EB y COL aumentaron en 0 kGy durante 33 días ($p < 0,05$) mientras que la irradiación redujo los valores iniciales, siendo más marcado su efecto a dosis más altas. Con 4 y 6,5 kGy no se detectó desarrollo de *Staphylococcus spp* durante todo el almacenamiento. Con 4 kGy, EB y COL se detectaron al día 33 mientras que con 6,5 kGy se mantuvieron por debajo del límite de detección (10 UFC/g) durante todo el ensayo. Las dosis más altas permitieron controlar el desarrollo de estos grupos microbianos durante un mayor período de tiempo, mejorando la estabilidad microbiológica del producto.

Análisis fisicoquímicos

La composición química de los filetes fue $79,1 \pm 0,8\%$ agua, $16,5 \pm 1,2\%$ proteínas, $2,1 \pm 0,3\%$ lípidos y $1,12 \pm 0,08\%$ cenizas. Estos valores coinciden con los reportados para especies magras (Huss, 1998). En la **Figura 3** se muestra el comportamiento del NBV. En el control hubo un aumento significativamente mayor al de las muestras irradiadas ($p < 0,05$). De acuerdo con los resultados microbiológicos, mayores recuentos implicaron valores más altos de NBV (indicador químico de la pérdida de frescura). NBV correlacionó positivamente con BAM y BAP en el control ($R^2 = 0,99$ y $R^2 = 0,83$). La correlación y NVB-BAP fue menor en las muestras irradiadas lo que podría deberse a una selección de la flora deteriorante por la irradiación. Estos resultados coinciden con los reportados por Tomac (2013).

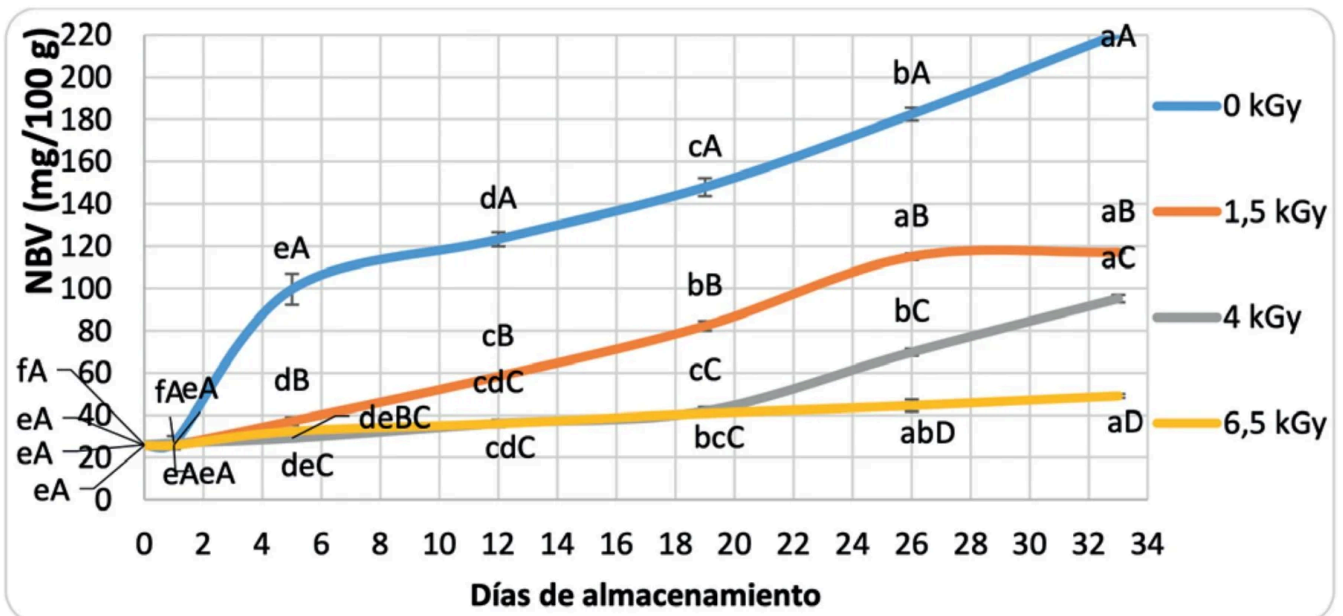
El valor inicial de pH fue $6,65 \pm 0,01$, valor típico hallado en pescado fresco, recién capturado. En el control aumentó hasta $7,91 \pm 0,02$ el día 33, siendo significativamente mayor ($p < 0,05$) al de muestras irradiadas con 1,5, 4 y 6,5 kGy ($7,44 \pm 0,02$; $7,29 \pm 0,01$ y $6,98 \pm 0,01$, respectivamente). El aumento del pH está relacionado con la producción de bases volátiles, y es consistente con los valores observados de NBV. Esta disminución en los cambios asociados con el deterioro (pH y NBV) durante el almacenamiento se relaciona con la reducción microbiana inducida por el tratamiento con radiación ionizante.

Figura 2 - Recuento de bacterias aerobias mesófilas (BAM) en filetes de pescadilla irradiados durante el almacenamiento a 4 ± 1 °C



*Minúsculas distintas indican diferencias significativas en BAM debido al tiempo para cada dosis Mayúsculas distintas indican diferencias significativas debido a la dosis, para un mismo tiempo Tukey ($p=0,05$).

Figura 3 - NBV en filetes de pescadilla irradiados durante el almacenamiento a 4 ± 1 °C



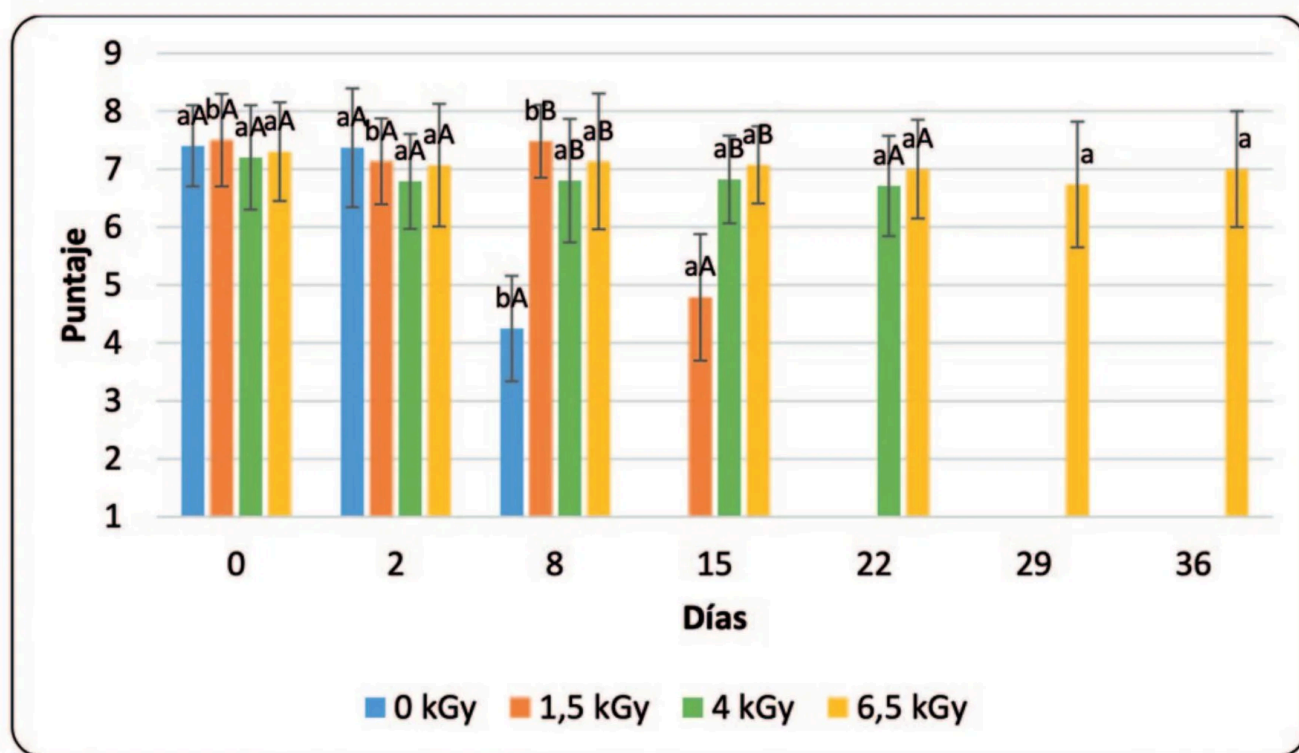
*Minúsculas distintas indican diferencias significativas en BAM debido al tiempo para cada dosis Mayúsculas distintas indican diferencias significativas debido a la dosis, para un mismo tiempo Tukey ($p=0,05$).

Aceptabilidad sensorial

En la **Figura 4** se muestran los resultados de la aceptabilidad sensorial de los filetes sin tratar y los tratados con radiación ionizante, durante más un mes de almacenamiento en refrigeración. A los dos días de aplicado el tratamiento no se observaron diferencias significativas debido a la irradiación en los atributos sensoriales evaluados. Todos fueron puntuados entre 6,3 y 7,5, correspondientes a valoraciones positivas, lo que indica buena aceptación por parte de los consumidores de los filetes de pescadilla, ya sea tratados o sin tratar con radiación ionizante. El día 8, la aceptabilidad de todos los atributos del con-

trol fue significativamente menor al de las muestras irradiadas, mientras que las mismas mantuvieron su aceptabilidad sensorial. El día 15 se evaluaron únicamente las muestras irradiadas debido a que el estado de deterioro del control lo volvía no apto para consumo. La muestra 1,5 kGy recibió puntajes más bajos que las muestras 4 y 6,5 kGy, las cuales fueron aceptadas en igual medida que el día 2, sin diferencias significativas entre las mismas. La radiación ionizante mantuvo la calidad de filetes de pescadilla e incrementó el tiempo de aceptabilidad sensorial en al menos 13 días (1,5 kGy), siendo mayor el tiempo a dosis más elevadas.

Figura 4 - Puntajes promedios de aceptabilidad global en filetes de pescadilla irradiados cocidos durante el almacenamiento a $4\pm 1^\circ\text{C}$.



*Minúsculas distintas indican diferencias significativas en BAM debido al tiempo para cada dosis Mayúsculas distintas indican diferencias significativas debido a la dosis, para un mismo tiempo Tukey ($p=0,05$).

CONCLUSIÓN

La radiación ionizante redujo los recuentos iniciales de microorganismos y disminuyó su desarrollo durante el almacenamiento, con un efecto más intenso a mayor dosis aplicada. Asimismo, redujo la producción de NBV, indicador de la pérdida de frescura en productos pesqueros, logrando de esta

manera mantener la calidad del producto fresco en refrigeración. Además, incrementó el tiempo de aceptabilidad sensorial, al disminuir la velocidad de los cambios asociados al deterioro. De esta manera, la tecnología de radiación ionizante extendió la vida útil de filetes de *Cynoscion guatucupa* en refrigeración. Una dosis de 4 kGy logró incrementar la vida

útil de este producto pesquero altamente perecedero en 16 días en refrigeración, sin tener que recurrir a la congelación. De esta manera, se podría comercializar un producto con valor agregado, pudiendo alcanzar nuevos mercados tanto internos como externos. La radiación ionizante también contribuiría a la reducción de pérdidas por deterioro (ODS). Estos resultados destacan una oportunidad significativa para desarrollar la tecnología de radiación ionizante en el sector pesquero, y muestran el papel fundamental de la investigación en la seguridad alimentaria.

REFERENCIAS

- Abdeldaiem, M.H., Mohammad, H.G. y Ramadan, M.F.** (2018). 'Improving the Quality of Silver Carp Fish Fillets by Gamma Irradiation and Coatings Containing Rosemary Oil', *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 27(5), pp. 568–579.
- Aires, D., Capdevila, N. y Segundo, M.J.** (2005). 'Ácidos grasos esenciales', *Offarm*, 24(4), pp. 96–102.
- Annamalai, J., Sivam, V., Unnikrishnan, P., Sivasankara, S.K., Pansingh, R. K., Abdul, K.S. Lakshmi, N. M., y Nagarajarao R. C.** (2020). 'Effect of electron beam irradiation on the biochemical, microbiological and sensory quality of *Litopenaeus vannamei* during chilled storage', *Journal of Food Science and Technology*, 57(6), pp. 2150–2158.
- CAA** (2024). Códigoc Alimentario Argentino. Capítulo 3. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/capitulo_iii_prod_alimenticiosactualiz_2023-05_1.pdf
- Ehlermann, D.A.E.** (2016). 'Wholesomeness of irradiated food', *Radiation Physics and Chemistry*, 129, pp. 24–29.
- Farkas, J.** (2006). 'Irradiation for better foods', *Trends in Food Science & Technology*, 17(4), pp. 148–152.
- Giannini, D.H., Davidovich, L.A. & Lupín, H.M.** (1979). Adaptación del método comercial para la determinación de Nitrógeno básico Volátil en merluza (*Merluccius Hubbsi*). *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, 19, 55–60.
- Huss, H.H.** (1998). Quality and quality changes in fresh fish. *FAO Fisheries Technical Paper – 348*. Food and agriculture organization of the United Nations, <http://www.fao.org/docrep/V7180E/V7180e09.htm>.
- International Atomic Energy Agency (IAEA)** (2000). Irradiation of fish, shellfish and frog legs. A compilation of technical data for authorization and control. IAEA-TECDOC-1158, ISSN 1011-4289.
- Josephson, E.S.** (1983). 'Preservation of Food by Ionizing Radiation' Eds.: Josephson, E.S. & Peterson, M.S. CRC Press, Boca Ratón, Estados Unidos.
- Kilcast, D.** (1995). 'Food irradiation: Current problems and future potential', *International Biodeterioration & Biodegradation*, 36(3), pp. 279–296.
- Lescano, G., Kairiyama, E., Narvaiz, P. y Kaupert, N.** (1990). 'Studies on quality of radurized (Refrigerated) and nonradurized (frozen) Hake (*Merluccius merluccius hubbsi*)' *Lebensm Wiss u Technol*, 23, pp. 317–321.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca.** (2022). 'Informe de coyuntura, diciembre 2022' [en línea] Disponible en: https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/pesca_maritima/informes/coyuntura/_archivos//220000_2022/221201_Inform%20de%20Coyuntura%20-%20Diciembre%202022.pdf [consulta 09 agosto 2023].
- Shankar, S., Danneels, F. y Lacroix, M.** (2019). 'Coating with alginate containing a mixture of essential oils and citrus extract in combination with ozonation or gamma irradiation increased the shelf life of *Merluccius sp.* fillets', *Food Packaging and Shelf Life*, 22, p. 100434.
- Sommers, C. H. y Xuetong F.** (2006). 'Food Irradiation Research and Technology' IFT Press. Blackwell Publishing.
- Tomac, A.** (2013) 'Irradiación gamma en anillas de calamar (*Illex argentinus*) y filetes marinados de anchoíta (*Engraulis anchoíta*). Aspectos tecnológicos y de calidad' Tesis doctoral Publicada. La Plata: Universidad Nacional de La Plata.
- Tomac, A., Cova, M. C., Narvaiz, P., y Yeannes, M. I.** (2015). 'Texture, color, lipid oxidation and sensory acceptability of gamma-irradiated marinated anchovy fillets', *Radiation Physics and Chemistry*, 106, pp. 337–342.
- Tomac, A., Cova, C., Narvaiz, P. & Yeannes, M.I.** (2017). Sensory acceptability of squid rings irradiated for shelf-life extension. *Radiat Phys Chem*, 130, 359–361.
- Tomac, A. y Yeannes, M.I.** (2012). 'Gamma radiation effect on quality changes in vacuum-packed squid (*Illex argentinus*) mantle rings during refrigerated (4–5 °C) storage', *International Journal of Food Science & Technology*, 47(7), pp. 1550–1557.
- United Nations (UN)** (2024), Sustainable Development Goals, Available in: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/> Consulted 29/05/2024
- Witting de Penna, E.** (2001). Evaluación Sensorial: Una metodología actual para la tecnología de alimentos. Available in: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/121431>, Consulted 29/05/2024