

5. Procesamiento por irradiación de productos marinos

5.1. Generalidades

La utilización de bajas dosis de irradiación en productos marinos resulta efectiva para la reducción del número de microorganismos presentes, tanto de aquellos responsables del deterioro como de los patógenos. En el pescado los microorganismos están presentes sobre la piel, en el mucus y en las branquias. En general el tejido muscular es estéril (Forsythe y Hayes, 1999).

Cuando se tiene por objetivo el control de microorganismos para extender la vida útil o comercial del producto, el nivel de dosis de irradiación es de fundamental importancia para mantener la integridad y calidad de un producto marino. Si las dosis absorbidas superan los valores máximos apropiados se pueden afectar adversamente a las proteínas y a la calidad sensorial del alimento. La mayoría de los estudios sobre productos marinos irradiados abarcan tanto aspectos microbiológicos como sensoriales.

Las ventajas en el uso de bajas dosis de radiaciones ionizantes (<3kGy) son las siguientes:

- ✓ Reducción o eliminación del 90-95% de microorganismos responsables del deterioro con lo cual contribuye a extender la vida útil del producto.
- ✓ Reducción o eliminación de bacterias patógenas específicas asociadas a los productos marinos.

Por ejemplo los langostinos almacenados en hielo mantienen una buena calidad hasta los 7 días, pero al ser irradiados con 1,5 kGy es posible extender su aptitud por 7 a 10 días más (Grodner y Andrews, 1991). Grodner y Hinton (1987) informaron que 1 kGy resultó efectiva para eliminar *Escherichia coli* y *Vibrio spp.* en ostras.

La dosis óptima es aquella que produce la mayor extensión del período de aptitud sin afectar las características sensoriales del producto. Mientras que la dosis máxima es la que provoca el inicio de cambios significativos en las características sensoriales.

En general las especies magras son menos susceptibles a los cambios sensoriales causados por la irradiación. Mientras que en las especies con alto contenido de grasa y aquellas con intenso color (ej.: salmón), el proceso de irradiación puede causar cambios en el color o la oxidación de sus lípidos. Cabe aclarar que la esterilización de productos pesqueros por irradiación es desaconsejada, ya que se requieren dosis de entre 40 y 50 kGy que tornan inaceptable al producto (Andrews y Grodner, 2004).

5.1.1. Efectos de la radiación sobre los microorganismos en productos marinos.

Las radiaciones ionizantes causan daños en macromoléculas incluyendo los ácidos nucleicos (Diehl, 1990). Las bacterias son dependientes de sus ácidos nucleicos, por lo que la mayoría de los microorganismos son eliminados por la radiación.

Las bacterias exhiben diferentes resistencias al proceso de irradiación. Las Gram negativas son más sensibles a la radiación que las Gram positivas. La mayoría de los microorganismos causantes del deterioro, al ser Gram negativas, son menos resistentes a las radiaciones ionizantes (Forsythe y Hayes, 1999)

Bacterias gram positivas como son *Staphylococcus aureus*, *Micrococcus*, *Bacillus* y *Clostridium*, son las más resistentes al proceso de irradiación. En general, los virus son extremadamente resistentes a las bajas dosis de irradiación aplicadas. Mientras que los parásitos requieren relativamente poca dosis para ser inactivados.

5.1.2. Efectos de la radiación sobre microorganismos del deterioro de productos marinos

Uno de los objetivos de la irradiación de productos pesqueros es la extensión de la vida útil (radurización), ya que tanto pescados como mariscos son productos altamente perecederos. La extensión del período de aptitud en algunos días, hace posible incrementar la viabilidad de esta industria y la comercialización de estos productos.

La calidad de los productos marinos puede ser determinada en forma subjetiva a través del análisis sensorial por parte de los consumidores. Mientras que, el recuento del total de bacterias aerobias causantes del deterioro es una medida objetiva de la frescura del producto (Andrews y Grodner, 2004). Dicho recuento también brinda una medida de la calidad sensorial del producto y puede ser indicativo de un problema de seguridad alimentaria.

La flora microbiana del pescado recién capturado refleja el estado de su medio ambiente. En pescados y mariscos la flora predominante son las bacterias Gram negativas del género *Pseudomonas*, las que componen el 60% de la flora total (Andrews y col., 1998). Otras especies microbianas relacionadas al deterioro del pescado son *Micrococcus*, *Flavobacterium*, *Corynebacterium*, *Vibrio*, *Bacillus*, *Proteus* y levaduras (Nickerson y col., 1983).

La vida útil puede ser incrementada en por lo menos 7 días en la mayoría de las especies de pescados y mariscos, utilizando dosis \leq a 2 kGy bajo condiciones de refrigeración. Con estas dosis, los microorganismos del deterioro son reducidos en un 99,9% (Andrews y col., 1998). Este hecho da como resultado la extensión del período de aptitud en numerosas especies de pescado marinos (punto 5.2.1).

5.1.3. Efectos de la radiación sobre microorganismos patógenos en productos marinos

Los estudios con radiación gamma sobre pescados y mariscos bajo refrigeración se han centralizado en el uso de bajas dosis. La principal razón por la cual no se debe superar las dosis de 10 kGy es que resulta afectada la calidad sensorial y física del producto marino, eliminando así su característica de fresco. Las ventajas en el uso de bajas dosis incluye el control o eliminación muchos agentes patógenos (radicación) y también de parásitos, con un incremento en su período de aptitud en promedio de 7 a 10 días (Andrews y Grodner, 2004).

Las bacterias patógenas se encuentran en el pescado de diversas formas. Los patógenos primarios son aquellos encontrados en el medio ambiente e incluyen a *Vibrio spp.*, *Aeromonas* y *Clostridium botulinum tipo E*. En comparación con otros patógenos las especies de *Vibrios* tienen comprobada sensibilidad a las bajas dosis de irradiación. La supervivencia de bacterias patógenas en alimentos irradiados depende no solo de la dosis y del sustrato, sino también de la temperatura de almacenaje y del número de bacterias competitivas presentes (Nickerson y col., 1983)

La principal razón para el uso de las radiaciones ionizantes en el período post-captura del pescado, radica en la posibilidad de eliminar el riesgo de *Vibrio vulnificus*. El *Vibrio parahaemolyticus* es el más resistente de todos los *Vibrios* patógenos analizados, pero utilizando dosis de irradiación de 1,5 kGy puede ser reducido a niveles no detectables (Andrews y col., 2002; Cook, 2001).

Palumbo y col. (1986) demostraron que el uso de dosis de 1,5 kGy fue suficiente para eliminar *Aeromonas hydrophilia* presentes en bluefish. El *Clostridium botulinum tipo E* ha sido siempre un problema potencial en productos marinos, encontrándose naturalmente en el medio ambiente costero, produciendo la toxina botulínica bajo ciertas condiciones de almacenamiento. En langostinos frescos inoculados con esporas de esta bacteria e irradiados con una dosis de 1,5 kGy, no se produjo toxina durante 31 días de almacenaje en hielo (Andrews y col., 1998). Sin embargo, cuando se inoculó e irradió con

dosis de 1,5 a 5 kGy langostinos envasados bajo vacío y almacenados a 6°C, la toxina botulínica fue producida en todas las muestras después de los 7 días, a excepción de las muestras tratadas con dosis de 5,0 kGy. Con la dosis más alta, la toxina no fue producida hasta los 30 días de almacenaje (Jimes, 1967). Los pescados grasos son considerados más botulogénicos que los magros. Este fenómeno se atribuyó originalmente al diferente contenido de grasa. Estudios posteriores demostraron la implicancia de la glucosa o ribosa como nutriente crítico (Nickerson y col., 1983).

Los productos pesqueros también pueden estar expuestos a bacterias patógenas intestinales de origen humano, presentes en el medio ambiente. Entre ellas están las especies de: *Salmonella*, *E. coli*, *Enterococcus*, *Shigella* y *Listeria monocytogenes*.

La *Listeria monocytogenes* en cultivos puros, fue destruida con dosis menores a 2 kGy (Andrews y col., 1995). Juneau (1989) informó que *Listeria monocytogenes* permaneció viable en carne de cangrejo irradiada con dosis de 2 kGy. Otro problema es la introducción de esta especie en la manipulación del producto, como lo es el pescado ahumado (Andrews, 2003).

Cui y col. (2000) recomendaron la aplicación de una dosis de alrededor de 2 kGy, cuando se tiene como objetivo la reducción de *Salmonella* en productos marinos.

El indicador más importante de contaminación fecal en el ambiente es *Escherichia coli*. Lee (1966) informó que *E. coli* inoculada en langostinos y ostras, tuvieron una supervivencia del 5% tratando con 1 kGy y de 0,1% con dosis de 2 kGy. Los *Enterococos* muestran una respuesta similar cuando se irradian las muestras con dosis mayores a 2 kGy (Deitrich, 1968). Para el caso de *Streptococcus faecalis* cuando se irradiaron las muestras con dosis de 1 y 2 kGy se redujo su número en 4 y 5 ciclos logarítmicos respectivamente.

Otro problema a ser tenido en cuenta es la introducción de patógenos como el *Staphylococcus aureus* durante la manipulación y el envasado del pescado. Utilizando dosis de 1 kGy dicho patógeno fue reducido en 4 ciclos logarítmicos en langostinos frescos almacenados por 21 días (Kendall, 1969). El proceso de pelado del langostino marrón europeo aumenta el riesgo sanitario por la presencia de este microorganismo (Diehl, 1990). Está demostrado que 1,3 kGy es una alternativa superior al uso de mezclas de conservantes como el ácido benzoico y el ácido cítrico para evitar su presencia en este producto (Diehl, 1990). Otro estudio informó que fue necesaria una dosis tan alta como 5 kGy para inactivar esta bacteria en caballa deshidratada y ahumada (Ahmed y col. 1985). Debido a la baja actividad acuosa de estos productos, no se produjeron cambios sensoriales adversos.

Los virus en general son los microorganismos patógenos más resistentes al proceso de irradiación. En la mayoría de los casos el cocinado de los productos pesqueros elimina el riesgo de una infección viral. La inactivación de virus patogénicos en pescados y mariscos, requiere de dosis muy altas de irradiación para ser utilizadas por la industria alimenticia (Nickerson y col., 1983; Urbain, 1986).

Los parásitos en el pescado son controlados mediante el congelado de los mismos. Se requiere para la eliminación de parásitos una dosis mayor a 5 kGy, y además no es considerado un proceso viable para el pescado que es consumido crudo. Van Mameren y col. (1969) informaron que fue necesaria una dosis de 6 kGy para inactivar *Anisakis* en arenque. Esta dosis provoca un producto inaceptable en apariencia y sabor.

5.2 Extensión de la vida comercial de especies marinas

La utilización de las radiaciones ionizantes en especies pesqueras ha sido propuesta para extender la vida útil de las mismas a temperaturas de refrigeración. El tratamiento por irradiación de especies pesqueras está limitado al uso de bajas dosis de radiación. Estas dosis eliminan el 90-95% de los microorganismos responsables de la pudrición y reducen o eliminan bacterias patógenas comúnmente asociadas con alimentos de origen marino. La aplicación de altas dosis producen cambios indeseables en los productos especialmente en el sabor.

El efecto del tratamiento con radiaciones ionizantes ha sido investigado en numerosas especies de pescados, crustáceos y moluscos (Nickerson y col. 1983, Singh 1993 y Andrews y Grodner, 2004). La mayoría de las investigaciones se han llevado a cabo empleando aquellas especies relativamente más abundantes en los Océanos Atlántico y Pacífico.

En los últimos cincuenta años, la mayoría de la información que existe sobre proceso de irradiación de especies marinas ha sido generada en centros de investigación universitarios. La determinación de la extensión de la vida útil mediante esta tecnología se ha basado principalmente en estudios sensoriales y microbiológicos.

5.2.1. Extensión de la vida útil de pescados marinos irradiados

En general, los productos pesqueros tienen una vida comercial relativamente corta a menos que se aplique algún método de conservación lo más pronto posible luego de la captura. El principal objetivo del procesado por radiación es el de eliminar o reducir en

gran medida cualquier tipo de microorganismo patógeno o del deterioro que pueda estar presente en los alimentos, sin inducir cambios sensoriales en el producto (Andrews y Grodner, 2004). La efectividad del proceso de irradiación se puede incrementar en combinación con otros tratamientos tales como calor, frío y conservantes químicos.

La ventaja de extender la vida útil de productos de pesca por irradiación hace posible su transporte para ser comercializados en regiones distantes, también estabilizaría el mercado de algunas especies marinas y se podría contar con una provisión constante de pescado fresco.

Una recopilación de datos sobre el impacto de la radiación en la vida útil de importantes pescados marinos se detalla a continuación, indicando los valores de dosis mínimas necesarias, dosis máximas aceptables y dosis óptimas según corresponda.

5. 2.1.1. Especies magras

Anglerfish (*Lophius americanus*) - rape

Este pescado es también conocido como monkfish, y sólo la porción de la cola es utilizable. La dosis óptima determinada fue de 1,5 kGy, mientras que la dosis máxima no ha sido establecida (Carver y col., 1967). Se encontró que esta dosis aplicada en estado de pre-rigor no afectó las características organolépticas durante 20 días de almacenaje en hielo.

Atlantic Cod (*Gadus morhua morhua*) - bacalao

Las dosis óptimas fueron determinadas entre 1,5 y 2,5 kGy con una dosis máxima comprendida entre 4,5 y 5 kGy. Sin embargo ha sido indicado que con dosis superiores a 3 kGy aparecen pérdidas en el sabor. Por otra parte el pescado irradiado en el período de pre-rigor presenta mejores características organolépticas que el irradiado en estado post-rigor. También la manera en la cual se lo ha capturado podría afectar la eficiencia de la irradiación, mostrando que aquellos capturados con líneas de anzuelos fueron mejores que los capturados mediante redes de arrastre (Ronsivalli y col., 1965; Slavin y Ronsivalli, 1964; Ampola y col., 1969; Rhodes, 1964; Van Mameren y col., 1969; Ronsivalli y col., 1968; Carver y col., 1969; Hannesson y Dagbjartsson, 1970). Licciardello y col.(1984) empleando dosis de 1 kGy en filetes de 1 a 3 días post-mortem observaron una vida útil de 9 días. Cuando el tratamiento de irradiación fue combinado por el envasado en atmósfera modificada (60% CO₂) o con 5% de sorbato de sodio, la vida útil fue extendida

por unos pocos días más. Thibault y Charbonneau (1991) trataron filetes tanto refrigerados como congelados, envasados en polietileno, con dosis entre 1 y 5 kGy. Las muestras fueron almacenadas a 4°C por 28 días. Los resultados indicaron que la irradiación fue efectiva en el retraso del deterioro.

English Sole (*Parophrys vetulus*) - lenguado

Miyauchi y col. (1967) irradiaron latas herméticamente selladas a filetes con dosis de 1 a 3 kGy. El período de almacenaje de las muestras irradiadas y mantenidas en refrigeración fue tres veces mayor que las no irradiadas. Steinberg (1965) trabajando también con la especie enlatada encontró que el período de aptitud fue de 25 días con una dosis de 2 kGy y mantenida a 0,6°C, mientras que en las muestras controles dicho período fue de 4 a 6 días.

Liston y Matches (1968) irradiaron esta especie a bordo con 0,5 kGy y encontraron que el período de almacenaje para este producto a 0°C fue de 22 días, mientras que el mismo fue de 14 días en los controles. Por otra parte, aplicaron 1 kGy a filetes obtenidos de pescados irradiados después de un período en hielo de 7 días. Los mismos presentaron un período de aptitud mayor a 28 días a 0°C. Los filetes obtenidos de pescado fresco no irradiado tuvieron un período de aptitud de 14 días. Miyauchi y col. (1968) informaron que el período de almacenamiento de los filetes de esta especie a 0,6°C fue: en los controles de 4 a 6 días, en los tratados con 1 kGy de 14 a 21 días; y en los tratados con 2 kGy de 21 a 28 días.

Gray Sole (*Glyptocephalus cynoglossus*) - mando falso lenguado

Miyauchi y col. (1967) informaron que filetes de esta especie tratados con 1 y 2 kGy y mantenidos en hielo presentaron un período de aptitud entre 7 y 14 días. Ronsivalli y col. (1969) envasaron filetes en recipientes de metal, los trataron con 5 y 10 kGy y los almacenaron junto con los controles a diferentes temperaturas. Luego de cocidos al vapor, los filetes fueron testeados por un panel de expertos. A 0,6 °C los controles tuvieron una vida útil de 6 a 7 días, mientras que en los filetes irradiados fue de 15 a 29 días. A 5,6°C los filetes control presentaron un período de aptitud de 6 días y los irradiados tuvieron un período de aptitud de 6 a 7 y de 10 a 11 días respectivamente.

Miyauchi (1970) informó que el tratamiento a bordo con 5 y 10 kGy otorgó a los pescados mejores características de almacenamiento comparándolos con los no irradiados.

Los pescados irradiados en estado de pre-rigor tuvieron un mayor período de almacenaje en hielo que aquellos irradiados en estado de post-rigor.

Haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) - abadejo

Nickerson y col. (1964) trataron con dosis entre 4 y 7 kGy filetes envasados en celofán y los almacenaron entre 2,2 y 4,4 °C. Dosis de 6 y 7 kGy fueron necesarias para prevenir el incremento de microorganismos por un período de 42 días. Los resultados de las pruebas organolépticas mostraron que los filetes control congelados (almacenados a –20°C) fueron significativamente diferentes de los productos irradiados, pero estos últimos fueron considerados aceptables.

Slavin y Ronsivalli (1964) trataron filetes con 2,5 kGy y los mantuvieron a 0,6°C . Después de 45 días un panel del tipo consumidor determinó que los productos irradiados cocidos eran aceptables. Los filetes irradiados con 2,5 kGy y almacenados por 14 días entre 0,6°C y 1,7°C fueron juzgados como muy buenos, tanto por un panel de expertos como para otro no entrenado.

Slavin y col. (1964) indicaron que la dosis óptima es de 2,5 kGy. Ellos concluyeron que los filetes deberían ser mantenidos en hielo no más de 7 a 9 días antes de ser fileteados e irradiados, de lo contrario la vida media de los productos irradiados es menor.

Miyauchi y col. (1966) informaron que filetes obtenidos de pescado con cuatro días de captura, fueron envasados y tratados con dosis de 2,0 kGy y almacenados en hielo. Luego de 5 días de almacenaje adicional a 0,6°C, todos los filetes control resultaron deteriorados. Los irradiados fueron considerados aceptables luego de 13 días de almacenaje adicional y se ubicaron en el límite de aceptación a los 18 días.

Hembree y Burt (1965) realizaron pruebas de aceptación, con alrededor de 300 participantes, de filetes tratados con 2,5 kGy y mantenidos entre 15 y 29 días a 0,6°C. Los productos irradiados luego de cocidos se compararon con muestras controles almacenadas a –23°C. Las muestras irradiadas y las controles congeladas tuvieron un perfil organoléptico similar.

Ronsivalli y col. (1969) trataron filetes obtenidos de pescados comercialmente aptos, luego de envasados los trataron con 2,5 kGy. Ambos grupos, los controles y los irradiados recorrieron distancias de 2.400 hasta 4.800 km en transporte terrestre bajo las mismas condiciones. Las muestras irradiadas mostraron un alto grado de calidad y además presentaron un período de aptitud mayor de una semana con respecto a las muestras control no irradiadas.

Hake (*Merluccius merluccius*) – merluza

Mariano y Kaupert (1973) emplearon filetes provenientes de ejemplares con 3 a 5 días de captura, para irradiar con dosis entre 0,5 y 6 kGy. Informaron que la dosis más aconsejable era 5 kGy. Con esta dosis se logró quintuplicar el tiempo de conservación a 4°C. Curzio y Quaranta (1982) estudiaron filetes envueltos en polietileno tratados con 5 kGy y almacenados entre 4 y 5°C. Mientras que los filetes controles fueron descartados a los 11 días, los irradiados se descartaron 18 días más tarde.

Pollock (*Pollachius virens*) - polaca

Slavin y Ronsivalli (1963) trataron con varias dosis filetes envasados para determinar la dosis óptima y el período de almacenaje. Las muestras fueron mantenidas a 0,6 y 7,8°C, y comparadas con muestras controles almacenadas a -21°C. La dosis óptima fue 1,5 kGy. Un panel de degustación determinó que las muestras no irradiadas fueron superiores con respecto a las irradiadas. Steinberg (1965) informó que el período de almacenaje para el producto enlatado en aire fue de 30 días, utilizando dosis de irradiación de 1,5 kGy en condiciones de refrigeración. Las muestras control tuvieron una aptitud de 12 a 14 días.

Metlitskii y col. (1968) hallaron que a 2°C el período de almacenaje se extendió de 7 a 10 días para los controles, mientras que las muestras irradiadas con dosis de 6 kGy presentaron un período de aptitud de 30 días.

Ampola y col. (1969) encontraron que los filetes enlatados con y sin vacío, tratados con 1,5 kGy, no mostraban diferencias de calidad con los controles congelados a -18°C a lo largo del almacenaje. No detectaron diferencias significativas en el sabor entre los controles congelados y las muestras irradiadas.

Whiting (*Merluccius bilinearis*) - merluza

Carver y Steinberg (1959) hallaron que la dosis máxima es de aproximadamente 1 kGy. Massa y col. (1969) irradiaron el producto con 3 kGy y lo mantuvieron a 2°C. A los 11 días se descartaron los controles, mientras que los tratados eran aceptables aunque evidenciaron un ligero olor a irradiación.

5.2.1.2. Especies grasas

Atlantic Halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) - hipogloso

Eukel y Huber (1960) trataron esta especie con 2,5 kGy y determinaron el período de aptitud del producto mediante la cuantificación de los compuestos volátiles. El tratamiento con irradiación extendió el período de aptitud alrededor de 20 días a 5,6°C.

Sieling (1961) usando 2,5 kGy informó modificaciones en el olor, sin efectos adversos sobre el color y el gusto. Rhodes (1964) trabajó con filetes envasados al vacío, tratados con dosis entre 1 y 10 kGy almacenados a 0°C y 4,4°C. La pérdida del gusto a fresco fue notada en el producto irradiado a partir de 3 kGy y un ligero olor a irradiación se notó en el producto irradiado con 10 kGy. El gusto de las muestras irradiadas fue aceptable hasta 5 kGy. El período de aptitud de las muestras irradiadas con 3 kGy fue mayor de 30 días a 0°C y mayor de 21 días a 4,4°C.

Petrале Sole (*Eopsetta jordani*)

El envasado al vacío es un requisito necesario para los filetes de esta especie tratados por irradiación a fin de minimizar la aparición de rancidez durante el almacenamiento. Miyauchi y col. (1963) trataron con 2 y 3 kGy filetes de esta especie envasados al vacío y sin vacío. Las muestras sin vacío estuvieron rancias a los siete días cuando se almacenó a 0,6°C o a 5,6°C. Las muestras irradiadas al vacío tuvieron una aptitud de 28 a 49 días a 0,6°C y de 14 a 21 días a 5,6°C. Las muestras no irradiadas al vacío tuvieron una aptitud de 4 a 10 días a 0,6°C y de 4 a 7 días a 5,6°C.

Pelroy y Eklund (1966) irradiaron filetes envasados al vacío con dosis entre 1 y 4 kGy y los almacenaron a 0,6°C. Las muestras controles se deterioraron a los 7 días, con 1 kGy a los 14 días, con 2 kGy a los 28 días, con 3 kGy a los 49 días y los tratados con 4 kGy tuvieron una vida útil de más de 59 días. El olor en los filetes deteriorados controles y los tratados con 1 kGy fue similar, presentado olores pútridos y amoniacaes. Los filetes tratados con 2 y 3 kGy presentaron olores diferentes a los controles, que fueron definidos como ácidos y rancios.

Ronsivalli y col. (1969) informaron sobre pruebas de degustación utilizando un panel de tipo consumidores para muestras de filetes controles congelados y tratados con dosis de 2 kGy. No encontraron diferencias apreciables en las propiedades organolépticas para los dos tipos de productos.

Herring Smelt (*Argentine silus*) - arenque

Carver y col. (1969) irradiaron esta especie en estado de pre-rigor, a bordo de un buque utilizando dosis de 0,5 y 1 kGy y la mantuvieron en condiciones de refrigeración. Con 0,5 kGy la vida útil se incrementó de 16 a 21 días. En las muestras tratadas con 1 kGy la aptitud se incrementó en 20 días. El producto no resultó afectado organolépticamente por la irradiación.

Mackerel (*Scomber scombrus*) - caballa

Slavin y Ronsivalli (1964) trataron filetes de esta especie con varias dosis de radiación y llegaron a la conclusión que la dosis óptima es de 2,5 kGy. El producto envasado y tratado con esta dosis tuvo un aptitud de 30 días a 0,6 °C . Luego de cocidos se los comparó con las muestras control congeladas preparadas de la misma manera, no habiendo diferencias apreciables entre ambos grupos.

Coleby y Shewan (1965) informaron que la dosis máxima permisible es de 1 kGy.

Mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) - caballa de la India

Es un pescado muy graso, por esto necesita ser envasado al vacío o incorporar alguna sustancia que atrape el oxígeno. La dosis óptima fue determinada en 1,5 kGy, con una vida útil de 21 a 24 días a 0°C, 13 a 15 días a 5°C y 7 a 11 días a 7,8°C (Kumta y col., 1973; Ghadi y col., 1978; Hussain, 1980).

Venugopal y Nair (1992) determinaron que este pescado tratado con una dosis de 1,5 kGy podía permanecer en condiciones aceptables. Por las condiciones comerciales, el proceso también incluyó un escaldado. Este estudio mostró que no fue necesario el envasado para incrementar la vida útil del pescado refrigerado irradiado. El pescado envasado e irradiado exhibió una vida útil de 25 días, mientras que el pescado almacenado con hielo permaneció aceptable hasta 20 días. Un hecho importante fue que los pescados almacenados en hielo y no envasados tuvieron mejor apariencia y olor que los pescados envasados. Este deterioro en apariencia del pescado envasado fue atribuido a la acumulación de líquido perdido por goteo, lo que se tradujo en un cambio de color en el pescado. Así, el único hecho negativo asociado con la falta de envasado fue el desarrollo de un color amarillento en la piel (Venugopal y col., 1987; Venugopal y col., 1982). Otro estudio similar examinó filetes envasados en recipientes de polietileno e irradiados con

dosis entre 1 y 3 kGy. Los filetes irradiados con 1,5 kGy seguido por un almacenamiento a 7-8°C presentaron condiciones óptimas hasta los 7 días de almacenaje. (Haq y Hussain, 1986).

Ocean Perch (*Sebastes marinus*) - perca

Lerke y col. (1961) consideraron que la rancidez podría ser un problema. A esta especie se la irradia para extender el período de aptitud bajo refrigeración. Ronsivalli y Slavin (1965) encontraron que la dosis óptima para filetes envasados en aire fue de 2,5 kGy y de 1,5 kGy para envasados al vacío. Las muestras irradiadas con presencia de aire se tornaron ligeramente rancias después de 30 días a 0,6 °C.

Ampola y col. (1969) trataron con 2,5 kGy filetes envasados y los comparó con controles congelados. Los resultados de las pruebas de degustación indicaron que no existen diferencias significativas entre los filetes preservados por irradiación y los congelados.

Tuna (*Thunnus obesus*) - atún

Coleby y Shewan (1965) establecieron que la dosis máxima a ser aplicada es de 1 kGy. Amano y Yamanaka (1969) informaron que durante el almacenaje en estado congelado se produce una decoloración debido a la oxidación de la mioglobina a metamioglobina. Cuando las muestras que presentaban un 75% del pigmento en forma de metamioglobina se trataron con dosis entre 0,2 y 1 kGy se regeneró la mioglobina en un 37%. Este tratamiento fue suficiente para cambiar el color a un rojo brillante. Por encima de 2 kGy se notaron pérdidas en el olor.

Quaranta y col. (1984) irradiaron filetes de esta especie con 2,2 kGy e informaron que mientras los controles permanecieron aceptables hasta los 7 día, los irradiados lo fueron hasta los 25 días, mantenidos entre 4 y 6 °C ambos grupos.

5.3. Detección de productos del mar irradiados

5.3.1. Aspectos generales

El procesamiento de alimentos por radiación ionizante no cambia la identidad del producto. Los alimentos irradiados y no irradiados son idénticos tanto visual como sensorialmente. Cuando las dosis son muy elevadas la calidad del producto se perjudica ya

que tienen lugar en el mismo, cambios en el color, en el sabor y en la textura. Cabe mencionar que estos productos no pueden presentarse a los consumidores.

El problema de identificar un tratamiento no es exclusivo de la irradiación de alimentos, ya que también existe para productos orgánicos, para productos “kosher” y “halal” y para frutas y vegetales almacenados bajo atmósfera modificada. En 1988 la Conferencia sobre Aceptación, Control y Comercialización de Alimentos Irradiados recomendó a los gobiernos que deberían alentar la investigación sobre métodos de detección de alimentos irradiados (Anónimo, 1989).

El proyecto de regulación para alimentos irradiados de la Unión Europea requiere que el mercado sea observado en forma regular y que se usen los métodos de detección que se encuentran estandarizados.

La cuestión es si el producto ha recibido la dosis apropiada dentro de los límites permitidos o cuanta dosis de más ha recibido el mismo. La disponibilidad de métodos analíticos para detectar el tratamiento de irradiación contribuye a chequear el acatamiento de las regulaciones existentes, el cumplimiento de etiquetado, el control de prohibición y para facilitar el comercio internacional de alimentos. Además, mejora la confianza del consumidor acerca de la correcta aplicación del procesamiento por radiación y su control por las autoridades.

5.3.2. Métodos analíticos

En los últimos años se han observado notables desarrollos en cuanto a los métodos que son apropiados para identificar alimentos irradiados (Delinceé, 1998; Haire y col., 1997) en parte debido a la existencia de programas internacionales tales como el Programa Internacional de Métodos Analíticos para la Irradiación de Alimentos -ADMIT- de la Junta FAO/OIEA (McMurray y col., 1996a) y el Programa sobre Métodos de Identificación de Alimentos Irradiados de la Oficina de Referencia de la Comunidad Europea -BCA- (Raffi y col., 1994). Los informes finales de estos programas son una fuente abundante de información sobre los métodos de detección de alimentos irradiados. El Comité Europeo de Normalización (CEN) hasta el presente ha adoptado 5 estándares:

- i) EN 1784: detección de alimentos irradiados que contengan grasa mediante el análisis de hidrocarburos por cromatografía gaseosa (CG).
- ii) EN 1785: detección de alimentos irradiados que contengan grasa mediante el análisis de 2-alkilciclobutanonas por CG y espectrometría de masa.

- iii) EN 1786: detección de alimentos irradiados que contengan hueso mediante la espectroscopía de resonancia del spin del electrón (ERS)
- iv) EN 1787: detección de alimentos irradiados que contengan celulosa mediante ERS.
- v) EN 1788: detección de alimentos irradiados, de los cuales puedan aislarse silicatos, mediante termoluminiscencia.

La ERS ha sido validada en hueso de trucha (Schreiber y col., 1994) y para el caso de termoluminiscencia en langostinos (Schreiber y col., 1996). Estudios recientes de ERS en hueso de pescado demostraron el potencial promisorio de este método (Empis y col., 1995; Abdel-Rehim y col., 1997). El testeo de diferentes crustáceos (Morehouse, 1996; Stewart y Gray, 1996) no han dado los resultados esperados ya que la química de las diferentes cutículas es muy compleja. Para diferentes especies y aún para la misma especie según el origen geográfico se obtienen signos diferentes de ESR (Stewart y Stevenson, 1997). Sin embargo para la langosta noruega se obtuvieron buenos resultados, y además se pudo estimar con bastante aproximación la dosis de tratamiento (Stewart y Stevenson, 1997). Estudios realizados en Alemania demostraron la utilidad de la espectroscopía ESR en langostino marrón. También los estudios de ESR en mariscos, tales como ostras y almejas, han mostrado resultados promisorios (Raffi y col., 1994). Un hecho de utilidad es la asociación de minerales de silicatos con varias partes de crustáceos incluyendo los intestinos. El tratamiento de irradiación puede ser detectado por termoluminiscencia de estos minerales aislados.

En relación a los métodos químicos cabe destacar el análisis de hidrocarburos que provienen de la descomposición radiolítica de las grasas. También, para el pescado y otros productos del mar el patrón de hidrocarburos puede usarse para identificar el tratamiento de irradiación (Pinnioja y Pajo, 1995; Schreiber y col., 1994)

Debido al contenido relativamente alto de ácidos grasos mono y poliinsaturados en pescado y otros productos del mar, el patrón de hidrocarburos es muy complejo y otros análisis acoplados a los métodos cromatográficos tales como HPLC-GC se han propuesto (Schulzki y col., 1997). Cuando el contenido de grasa es bajo como por ejemplo en el camarón se ha aplicado con éxito el análisis de 2-alkilbutanonas inducidas por radiación (McMurray y col., 1996 b).

Otros métodos químicos para detectar el tratamiento de irradiación son la estimación de la ortotirosina formada a partir de la parte proteica del pescado, langostinos

y almejas (Meier y col. 1996) y el análisis de la fragmentación del ADN por el ensayo del cometa en trucha y salmón (Cerde y col., 1997).

Cabe mencionar que los cambios en la susceptibilidad a la descomposición bacteriana junto la velocidad de formación de AVT y NBVT también han sido propuestos como métodos de detección del tratamiento por irradiación en productos del mar (Alur y col., 1991; Alur y col., 1994).

Otros métodos de detección se encuentran detallados en varias recopilaciones bibliográficas (McMurray y col., 1996 a ; Raffi y col., 1994; Delincée, 1998).

Finalmente, la aplicación del tratamiento con radiaciones ionizantes puede ser identificada por métodos de detección analíticos, algunos de los cuales están reconocidos por varios países y ya se aplican en laboratorios nacionales de control de alimentos.

5.3.3. Países con aprobación de pescados irradiados

Las regulaciones sobre la irradiación de alimentos varían ampliamente de país a país, lo que también ocurre en relación a productos del mar. La mayoría de los países otorgan permisos que pueden ser de tipo condicional o de tipo incondicional. En la Tabla 2 se muestra el listado de países que cuentan con la aprobación del tratamiento de irradiación de productos del mar, sus objetivos y los niveles de dosis recomendadas.