

Aplicaciones de la radiación gamma en frutas y hortalizas. Perspectivas agroindustriales para el espárrago peruano

Johnny Vargas⁽¹⁾ jvargas@ipen.gob.pe; Mónica Vivanco⁽¹⁾ vilmvm@yahoo.com; Marisela Maldonado⁽²⁾ marisela@ipeh.org; Marco Linares⁽¹⁾ mlinaires@ipen.gob.pe; Paula Huamanlazo⁽¹⁾ phuamanlazo@ipen.gob.pe; Flor de María Quispe⁽³⁾ fquispe@digesa.minsa.gob.pe

(1) IPEN Dirección de Aplicaciones, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

(2) IPEH-UNMSM, Av. Las Dalias 136, Lima 18, Perú

(3) DIGESA, Vigilancia y Fiscalización Sanitaria, Av. Las Amapolas 215, Lima, Perú

Resumen

Para la conservación y solución de problemas fitosanitarios en alimentos se utilizan aditivos y fumigantes químicos como métodos convencionales en su tratamiento. Sin embargo, estos son muy cuestionados por ser altamente tóxicos y perjudiciales para la salud y el medio ambiente. Presentamos algunos resultados de investigaciones realizadas por el IPEN en la conservación de frutas y hortalizas, eliminación de hongos causantes de la pudrición en fresas, retardo en la maduración y/o senescencia en mangos y espárragos, productos abanderados de la agroexportación peruana. Se determinó que dosis de 0,75, 1,0 y 2,0 kGy permiten prolongar la vida útil en mangos, espárragos y fresas, respectivamente. También se explica los resultados y avances del uso de la radiación gamma como tratamiento cuarentenario, para solucionar problemas fitosanitarios en la exportación de mangos (variedad haden) y espárragos, en donde dosis de 0,15 kGy evita el desarrollo de larvas de la mosca de la fruta (*Ceratitis capitata*). Se resalta la perspectiva y aplicaciones de la irradiación realizadas en productos del espárrago garantizando su inocuidad. Se determinó que dosis de 3 kGy mejora la calidad higiénica en el espárrago liofilizado en trozos.

1. Introducción

En este trabajo se entregan los resultados de trabajos de investigación en frutas y hortalizas, principalmente en espárragos, realizados en el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN).

La radiación gamma producido por una fuente de Cobalto 60, se emplea en la irradiación de alimentos con la finalidad de mejorar su calidad higiénica, reduciendo la población microbiana, hongos, eliminando microorganismos patógenos; es decir, microorganismos que pueden desarrollar enfermedades como la *Salmonella sp* que produce la tifoidea, el *Vibrio cholerae* (cólera) y otros que producen infecciones gastrointestinales como *Escherichia coli*, *Staphilococcus aureus*, *Bacillus cereus*, etc. También elimina parásitos patógenos como el Cisticercos principalmente en carne de cerdo, así como extender su período de comestibilidad, garantizando alimentos inocuos, desinfectándolo de insectos para su conservación y/o solución de problemas fitosanitarios.

Los rayos gamma son radiaciones electromagnéticas de una longitud de onda

muy corta, de la misma naturaleza que los rayos X, la luz ultravioleta, visible infrarroja, microondas y las ondas de telecomunicaciones. La irradiación de alimentos es un proceso en frío, no eleva la temperatura del producto es de alta penetrabilidad y no deja residuos. Este proceso reemplaza a los métodos químicos más tóxicos para combatir a las poblaciones microbianas e insectos.

La irradiación de alimentos ha sido estudiada más extensamente que cualquier otro proceso de preservación de alimentos, incluyendo enlatado, congelamiento, deshidratación y el uso de aditivos y fumigantes químicos

A través del tiempo se ha ido reduciendo o prohibiendo el uso de aditivos y fumigantes químicos, en los alimentos, tal es el caso en productos cárnicos curados, tratados con nitratos nitritos, cuyo uso se ha limitado por la presencia de nitrosaminas, con acción cancerígena demostrada.

En el Perú es reciente el caso del uso de bromato de potasio en la panificación, pero según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el

Organismo Mundial de Salud (OMS) y el Comité de expertos en Aditivos Alimentarios, el Bromato de potasio es un carcinógeno genotóxico (causante de cáncer), entre otros aditivos cuestionados, también están los benzoatos y sorbatos este último prohibido en Alemania.

Para la lucha contra las plagas se han estado usando los fumigantes como el óxido de etileno, cuyo uso se limita a la esterilización de algunos materiales médicos. El óxido de etileno es irritante de ojos, piel, afecta el sistema nervioso y es carcinogénico.

El dibromuro de etileno, más conocido por sus siglas en inglés (EDB) fue usado para la eliminación de insectos en alimentos almacenados como cereales y en el tratamiento cuarentenario de frutas y vegetales, su uso fue prohibido entre los años de 1984 a 1985. Es potencialmente carcinógeno.

Actualmente, para superar los problemas fitosanitarios muchos vegetales son fumigados con bromuro de metilo (BrM). Estados Unidos es el mayor consumidor de este producto, ocupando cerca del 50% de la producción mundial. El BrM es un gas tóxico que puede provocar en el ser humano irritaciones pulmonares, tos, dificultad para respirar, afecciones en el sistema nervioso central e incluso la muerte. También se ha identificado al BrM como una de las sustancias que agota la capa de ozono.

En 1987, ciento treinta y ocho países firmaron un acuerdo internacional conocido como el Protocolo de Montreal, acuerdo internacional para la limitación en el uso, fabricación y venta de compuestos halogenados y bromados, cuya finalidad es eliminar el uso de las sustancias que agotan la capa de ozono.

Según el Protocolo de Montreal de 1995, 183 países llegaron a un acuerdo para reducir progresivamente el uso del BrM, hasta su prohibición total en el año 2005. Entre otras sustancias que también se prohibirán están los clorofluorocarbonos (CFCs).

La décima sexta reunión de las Partes del Protocolo de Montreal sobre las sustancias que agotan la capa de ozono se realizó en Praga en Noviembre del 2004. En ella se acordó que 11 naciones desarrolladas, incluyendo Estados Unidos, podrán seguir utilizando el BrM, puesto que no existen alternativas económicamente factibles que lo sustituyan. El protocolo ya

había otorgando una exención a los países en desarrollo.

Por consiguiente, se ha aplazado la fecha límite para la eliminación total del BrM debido a que no se han encontrado alternativas útiles que cuenten con toda la gama de características que se necesitan.

Las autoridades fitosanitarias de la North American Plant Protection Organization (NAPPO) han manifestado constantemente su preferencia, y han exhortado a los países con los cuales mantienen relaciones comerciales sobre el uso preferencial del tratamiento térmico sobre el de BrM.

Por otro lado, el estatus de "uso cuarentenario" permite que se utilice el BrM como una de las herramientas con que cuentan las Organizaciones Nacionales de Protección Fitosanitaria (ONPF) para controlar y prevenir las plagas invasoras, las cuales, si se dejaran sin control, también podrían ocasionar daños de grandes proporciones al medio ambiente, la economía y la salud. Asimismo, es necesario tener en cuenta que el comercio internacional de productos agrícolas, obliga al uso de tratamientos cuarentenarios para evitar el ingreso de plagas foráneas, práctica que es demandada por ciertos países importadores como EE.UU. y Japón, entre otros. Por ejemplo, el tratamiento fitosanitario cuarentenario obligatorio para el ingreso de espárrago peruano al mercado de los Estados Unidos es la fumigación con BrM en destino.

El Perú ha incrementado significativamente su volumen de agro exportación siendo actualmente el primer país exportador de espárragos en el mundo. La industria del espárrago alcanzó en el 2003 un valor de exportación de US\$ 206,69 millones, representando el 24,41% del total de las agro exportaciones peruanas y ha generando más de 50 mil puestos de trabajo descentralizado a lo largo de la costa peruana. Sin embargo, los Estados Unidos ha encontrado que los embarques de espárrago fresco peruano presentan un porcentaje de 98 - 95% de huevos y 2 - 5 % de larvas hasta el segundo estadio de *Copitarsia decolora*, ocasionando ciertas limitaciones fitosanitarias para su exportación por ser considerada una plaga cuarentenaria para el mercado norteamericano; por ello el 100% de los embarques de espárrago fresco deben ser fumigados con bromuro de metilo en destino antes de su comercialización, originando sobre costos, pérdidas de calidad, reducción

del tiempo de vida útil del producto, daño a la salud y agotamiento de la capa de ozono.

Ante esta situación, nuestras exportaciones de frutas y hortalizas de calidad se ven restringidas por problemas fitosanitarios.

Por esta razón, en el Perú la tecnología de irradiación surge como una alternativa viable, como un tratamiento cuarentenario para frutas y hortalizas de exportación, en reemplazo de métodos convencionales que utilizan fumigantes nocivos para la salud pública y el medio ambiente.

Los objetivos de la irradiación en los productos trabajados fueron:

Eliminación de los hongos causantes de la pudrición en fresas y el retardo de la maduración o senescencia en mangos y espárragos sin alterar significativamente sus propiedades nutritivas, físico-químicas y sensoriales.

Como tratamiento cuarentenario en mangos y espárragos el objetivo fué la determinación de la dosis mínima óptima que asegure la no emergencia de *Ceratitís capitata* del 3° estadio y *Copitarsia decolora* del 2° estadio, respectivamente, al estado adulto, manteniendo las características propias de los productos a la dosis mínima seleccionada.

Para el caso de espárragos liofilizados, el objetivo fué la reducción de la población microbiana, manteniendo sus propiedades intrínsecas.

1.1 Aplicaciones de la Radiación Gamma en los Alimentos

Para conseguir los objetivos deseados en los alimentos irradiados se aplican diferentes dosis.

La unidad de dosis absorbida es el gray (Gy), que viene a ser la energía absorbida de un Joule por Kg de materia irradiada:

$$\text{Gy} = \text{Joule/Kg}$$

1.1.1 Inhibición del Brotamiento en Tubérculos y bulbos, como papa, olluco cebolla.

1.1.2 Desinfestación de insectos en granos cereales menestras frutos secos harinas, etc.

1.1.3 Eliminación de parásitos patógenos como el Cisticercos principalmente en carne de cerdo.

1.1.4 Descontaminación de la población microbiana y eliminación de microorganismos patógenos en alimentos secos o vegetales deshidratados en polvo, como harinas de maca, espárrago, plátano, lúcuma; en plantas o hierbas medicinales (complementos nutricionales) por ejemplo la uña de gato, pasuchaca, muña, graviola, sangre de grado, yacón, manayupa, etc, hierbas aromáticas, especias y condimentos, colorantes orgánicos naturales como carmín, cúrcuma, achiote, antocianina, etc., además de productos frescos o congelados.



Figura 1. Símbolo de los alimentos irradiados.

1.2 En Frutas y Hortalizas

1.2.1. Retardo de la maduración y/o senescencia en mangos, plátanos, papaya, tomates, espárragos.

1.2.2. Eliminación de hongos causantes de las pudriciones post-cosecha, por ejemplo: fresas, tomates, higos.

1.2.3. Tratamiento Cuarentenario como medida fitosanitaria para las plagas reemplazando a fumigantes.

1.3 Control Autocida o Técnica del Insecto Estéril (TIE)

Consiste en traer del campo al laboratorio a una plaga y reproducirla en grandes cantidades en forma artificial, esterizarla mediante radiaciones gamma para que no se puedan reproducir, enviarlas de vuelta al campo y liberarlas en forma masiva, con la finalidad de que se crucen con las moscas nativas, de tal manera que mientras más cruzamientos haya entre ambas, se obtenga como resultado menor reproducción.

1.3.1 Lucha contra insectos y plagas

Esta técnica se ha usado en proyectos para erradicar exitosamente la mosca mediterránea de la fruta en México y contra varias plagas de mosca *tsé-tsé* en Nigeria y *ceratitís capitata* en Arica-Chile.

La campaña más exitosa de la TIE erradicó el gusano barrenador del ganado del Nuevo Mundo en el sur de los Estados Unidos, en la mayor parte del territorio de México y en las islas de Puerto Rico y Curazao. Esa erradicación exitosa permite a los ganaderos, si se cuenta solo a Estados Unidos, un ahorro anual de 378 millones de dólares de ese país.

La TIE constituye un componente para la erradicación de plagas que afectan no solamente las actividades agropecuarias, sino también la salud humana, pues las Naciones Unidas a través del Organismo Internacional de Energía Atómica, está iniciando un proyecto ambicioso, con muchos obstáculos que superar, se trata de eliminar los mosquitos cuya picadura transmite la malaria (*Anopheles sp. Díptera: Culicidae*), una enfermedad mortal que devastó el continente Africano.

1.4 Otras Aplicaciones en Espárragos

1.4.1 Harina de espárragos

Los espárragos por ser un producto de campo la contaminación se produce durante el cultivo, la cosecha y el procesamiento. Dependiendo del nivel de flora, el clima y de las prácticas agrícolas, puede encontrarse altos niveles de población microbiana de hasta 10^6 microorganismos.

El secado o tratamiento térmico disminuye la contaminación, las operaciones posteriores de molienda, mezcla, envasado y almacenamiento la aumentan nuevamente, a esto habría que agregar, que la alta humedad de la costa peruana, favorecería la aparición de hongos, adicionalmente -producto del manipuleo- se podrían incorporar microorganismos patógenos.

Dosis entre 5 y 8 kGy puede reducir hasta 3 ciclos logarítmicos la población microbiana de hongos y eliminar microorganismos patógenos. En la Planta de Irradiación de Santa Anita se han irradiado Harina de Espárragos, con esa finalidad.

1.4.2 Espárrago liofilizado en trozos

Uno de los procesos que garantiza la calidad microbiana es el liofilizado pero dependiendo de la población microbiana inicial, en otros casos de la población de hongos que ante el tratamiento de liofilizado, esporulan por lo que sobreviven en el producto final, siendo necesario la irradiación para su descontaminación.

1.4.3 Espárragos precocidos refrigerados

Empresarios peruanos desean exportar nuevos productos en espárragos, pero los países de destino tienen normas o especificaciones estrictas de calidad higiénica sanitaria.

Después de haber implementado un plan HACCP, siempre existe el riesgo o peligro de contaminación sobre todo por microorganismos patógenos, como *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, etc. principalmente debido al manipuleo.

Hipótesis planteada: Dosis bajas de irradiación eliminan los microorganismos patógenos en espárragos precocidos y refrigerados sin afectar significativamente sus características nutricionales y sensoriales.

Debido al interés existente, se está elaborando el proyecto o la verificación tecnológica que involucra varios análisis como: dosimetría, irradiación a diferentes dosis alternativas, análisis físico-químicos, microbiológicos, análisis sensorial, además de pruebas con simulación de transporte y almacenamiento refrigerado.

2. Método Experimental

Los productos fueron irradiados en el Equipo de Irradiación Gammacell 220 y Gammabeam. Se hicieron análisis dosimétricos para cada producto, que de acuerdo a la densidad y geometría nos permitió calcular los tiempos de exposición a la radiación gamma para administrar las diferentes dosis.

Para las dosimetrías se utilizó el método ASTM E 1026 (1995) Practice for Using the Fricke Reference Standard Dosimetry System.

Los métodos empleados en los análisis físico-químicos y las especificaciones para espárragos liofilizados fueron hechos de acuerdo a las Normas Técnicas Nacionales del ITINTEC.

Los métodos empleados en los análisis microbiológicos fueron desarrollados de acuerdo a la FDA, 6th edition (1984).

Para el tratamiento cuarentenario en mangos y espárragos los resultados sobre larvas fueron evaluados estadísticamente con el Probit 9.

Todos los controles de laboratorio se realizaron en los productos irradiados y sin irradiar.

3. Resultados

3.1 En Frutas y Hortalizas

3.1.1 Retardo de la maduración y/o senescencia en mangos y espárragos.

- Investigaciones realizadas en el IPEN en mangos haden irradiados (0,75 kGy) y almacenados en refrigeración (temperatura: 10° C y 85-90 % H.R), lograron extender su conservación hasta 42 días, comparados con los mangos no irradiados del control, que solo se conservaron por 24 días, bajo las mismas condiciones de almacenaje.

- En otros experimentos ejecutados en el IPEN, con dosis de radiación gamma a 1,0 kGy se logró extender considerablemente hasta un período de 20 días, espárragos verdes manteniendo su calidad a una temperatura de 1-2°C (90-95% de humedad relativa), mientras el control pudo conservarse 10 días.

3.1.2 Eliminación de hongos causantes de las pudriciones post-cosecha en fresas.

Experiencias realizadas en el IPEN, demuestran que a dosis de 2 kGy extienden la vida media de fresas almacenadas a 10°C por 23 días, comparado con las fresas no tratadas (Control) que logran conservarse solo por 7 días.

3.1.3. Tratamiento Cuarentenario como medida fitosanitaria para las plagas reemplazando a fumigantes perjudiciales para la salud y el medioambiente, por ejemplo *Ceratitis capitata* en mangos y *copitarsia decolora* en espárragos.

- En trabajos de investigación asesorados por el IPEN, concluyen que dosis entre 0,10 y 0,15 kGy aplicados a larvas de *Ceratitis capitata*, infestantes de mangos haden, previenen el desarrollo o emergencia de insectos al estado adulto, también se registraron datos de dosis letal larvaria (1 kGy), sin afectar significativamente la calidad sensorial y nutritiva de los frutos.



Figura 2. Mangos almacenados en crecimiento larvario.

- Mediante convenio de Cooperación Técnico - Científica entre el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) y el Instituto Peruano del Espárrago y Hortalizas (IPEH) se está ejecutando el proyecto de investigación: "Uso de la Irradiación como Tratamiento Cuarentenario contra *Copitarsia decolora* en el espárrago *Asparagus officinales*", cuyo objetivo es determinar la dosis mínima que asegure la no emergencia de *Copitarsia decolora* adulta a partir de larvas del segundo estadio, manteniendo las características propias del espárrago.

Actualmente, se ha determinado la dosis mínima óptima y la siguiente etapa será la prueba confirmatoria de no emergencia, irradiando a la dosis seleccionada 10 000 larvas para cumplir con los protocolos que exige el Servicio de Inspección y Salubridad de Plantas y Animales (APHIS) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).



Figura 3. Lepidóptero de *Copitarsia decolora*.

3.2 Espárrago Liofilizado en Trozos

3.2.1 Descontaminación Microbiana

Producto : Espárrago liofilizado en trozos
Cantidad : 5 Kg
Fuente : Cobalto 60
Tasa de dosis : 4,95 kGy/h
Dosis aplicadas: 3, 6 y 9 kGy
Análisis : físico-químicos y microbiológicos

Tabla 1. Análisis Físico-Químico en Espárrago Liofilizado en Trozos a Diferentes Dosis de Irradiación.

ANÁLISIS	CONTROL	3 kGy	6 kGy	9 kGy	LIMITE
Humedad (%)	2,83	3,04	1,79	2,86	Máximo 3,5 %
Cenizas (%)	6,81	7,02	7,13	7,24	(6,0 - 8,0) %
Fibra cruda (%)	11,31	12,69	12,86	13,56	(10,0 - 19,0)%
Almidón (%)	-	-	-	-	-

Tabla 2. Análisis Microbiológicos en Espárragos Liofilizados en Trozos a Diferentes Dosis de Irradiación.

DETERMINACIONES	CONTROL	3 kGy	6 kGy	9 kGy	LIMITE
Recuento total de microorganismos aerobios mesófilos (UFC/g)	$9,3 \times 10^2$	<10	<10	<10	5×10^2
Recuento de Hongos (UFC/g)	<10	<10	<10	<10	10^2
Recuento de levaduras (UFC/g)	<10	<10	<10	<10	10^2
Recuento de Coliformes totales (NMP/g)	0,36	<0,3	<0,3	<0,3	Ausencia

4. Conclusiones

- Dosis de 0,75; 1,0 y 2,0 kGy logran extender la conservación en mangos, espárragos y fresas respectivamente.
- Dosis entre 0,10 y 0,15 kGy previenen el desarrollo de larvas de *Ceratitis capitata* infestantes en mangos haden.
- Dosis de 3 kGy son suficiente para mejorar la calidad higiénica en espárragos liofilizados en trozos, sin alterar significativamente sus características físico-químicas.
- Debido a la gran producción, se podrá tratar la agroindustria del espárrago como harina de espárrago, espárrago liofilizado en trozos, y espárrago precocido, con la finalidad de mejorar su calidad higiénica.
- La radiación gamma garantiza la inocuidad de los espárragos y de sus productos tratados.
- La radiación gamma es una alternativa como tratamiento cuarentenario en el Perú, para la exportación de frutas y hortalizas.
- La Tecnología de Irradiación permitirá ampliar y mejorar el acceso de los productos peruanos a los mercados internacionales.
- Con el uso de la tecnología de Irradiación lograremos un desarrollo sostenible conservando la salud y el medio ambiente.

Referencias

- 1) Schwartz M., et al. (2000). Bromuro de Metilo: Sustitución o Disminución de su consumo. Facultad de Ciencias Agronómicas. Depto. de Agroindustria y Enología. Universidad de Chile; Fundación de Desarrollo Frutícola (FDF); Corporación de Investigación Tecnológica INTEC-CHILE Fuentes de financiamiento: Fundación para la Innovación Agraria (FIA/Ministerio de Agricultura). Asociación de Exportadores, A.G.
- 2) Cornejo M., et al. (1994). Utilización de la Energía Nuclear a través de la Tecnología Pico Onda en la Conservación de la calidad y Disminución de la carga microbiana del Espárrago verde fresco. Proyecto de Investigación. Lima-Perú.
- 3) IAEA (1997). Reglamento Modelo sobre Irradiación de Alimentos para América Latina y el Caribe.
- 4) León C. (1999). Irradiación Gamma (Co-60) como Alternativa de Tratamiento Cuarentenario en Mangos Haden Infestados con *Ceratitis capitata* Wiedemann. Tesis UNFV para optar título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Lima-Perú.
- 5) O' Briem T. y Díaz A. (2003). El Ejemplo del Espárrago Peruano. Reporte del Programa de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad de Alimentos del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- 6) Paredes D. (1995). Conservación de la Fresa (*Fragaria vesca* L.) por Radiación Gamma Almacenados en Refrigeración. Tesis Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Para optar el título de Lic. en Bromatología y Nutrición. Huacho-Perú.
- 7) Quispe F. (1988). Estudio del Efecto de la Radiación Gamma en la Conservación del Mango (*Mangifera indica* L.) de la variedad Haden, almacenados en Refrigeración. Tesis UNA La Molina, Para optar el Título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Lima-Perú.