

Irradiación gamma: conceptos básicos, aplicación y efectos en mango (*Mangifera Indica*) y pimientos (*Capsicum spp.*)

Gamma irradiation: basic concepts, application and effects on mangoes (*Mangifera Indica*) and peppers (*Capsicum spp.*)

Luis Alberto Juárez Calderón¹, Zaby Nahomi Palacios Núñez¹
Universidad Nacional de Frontera, Sullana, Piura, Perú.

RESUMEN

La búsqueda de nuevas tecnologías en conservación de alimentos está permitiendo la aplicación de algunas técnicas no tan comunes. En la presente investigación se ha realizado una revisión intensiva sobre la irradiación gamma y su aplicación en alimentos particularmente en los pimientos (*Capsicum spp.*) mínimamente procesados o convertidos en productos de IV gama. La información encontrada indicó que la irradiación gamma es una técnica emergente que sirve para la inactivación de microorganismos patógenos y en algunas ocasiones aumenta el valor nutricional de los alimentos, pero también puede tener efectos negativos dependiendo de la dosis aplicada al alimento. Los resultados referentes al efecto en los mangos (*Mangifera Indica*) indicaron que afecta negativamente en sus características organolépticas como color, textura y firmeza a dosis entre 700 Gy y 1 KGy y en adelante. Con respecto a los pimientos de diferentes variedades, se observaron cambios en sus características nutricionales, en el pimiento piquillo aumentan los fenólicos totales y reduce el contenido de vitamina C, en los pimientos amarillos California, aumentan los compuestos fenólicos y en los pimientos verdes disminuye el contenido de clorofila, perdiendo color.

Palabras clave: Irradiación gamma, pimiento, IV gama, microorganismos, mango y conservación.

ABSTRACT

The search for new technologies in food preservation is allowing the application of some not so common techniques. In the present research, an intensive review of gamma irradiation and its application in foods, particularly in minimally processed peppers (*Capsicum spp.*) or those converted to fresh-cut products, has been carried out. The information found indicated that gamma irradiation is an emerging technique that serves for the inactivation of pathogenic microorganisms and sometimes increases the nutritional value of foods, but it can also have negative effects depending on the dose applied to the food. The results concerning the effect on mangoes (*Mangifera Indica*) indicated that it negatively affects their organoleptic characteristics such as color, texture and firmness at doses between 700 Gy and 1 KGy and onwards. With respect to peppers of different varieties, changes were observed in their nutritional characteristics: in piquillo peppers, total phenolics increase and vitamin C content decreases, in yellow California peppers, phenolic compounds increase and in green peppers, chlorophyll content decreases, losing color.

Keywords: Gamma irradiation, bell pepper, IV range, microorganisms, mango and conservation.

¹ Bachiller en Ingeniería de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional de Frontera – UNF, Sullana, Piura, Perú.

Línea de Investigación: Análisis de la calidad de productos agroalimentarios
<https://orcid.org/0000-0003-2566-6098> EMAIL: 2017103032@unf.edu.pe

1. INTRODUCCIÓN

El surgimiento de nuevas tecnologías para la conservación de alimentos es imprescindible para una mayor vida útil de cualquier rama de alimentos. Herrero y Romero, (2006) indican que “Es demasiado importante el desarrollo de tecnologías emergentes para la industria alimentaria, con el propósito de lograr alimentos procesados seguros y que mantengan sus cualidades nutricionales y organolépticas, y así de la misma forma alargar la vida útil de estos, satisfaciendo los deseos del cliente”.

En estos tiempos se utilizan técnicas de conservación como: altas presiones, ultrasonidos, campos eléctricos de alta densidad, campos magnéticos oscilantes, irradiación, luz blanca de alta densidad, entre otros. La irradiación gamma es una técnica emergente aplicada en la conservación de alimentos, utilizados para retrasar la evolución de una serie de fases biológicas (maduración y senescencia) de hortalizas y frutas, erradicar insectos, parásitos y disminuir microorganismos patógenos responsables de alterar los alimentos y sus propiedades (Herrero y Romero, 2006). Los llamados métodos físicos, son una excelente alternativa, debido a que sus mayores ventajas están en incrementar la duración de vida (vida útil) de los alimentos irradiados hasta en un 400%, manteniendo su calidad organoléptica y sensorial en mayor medida, también es un mecanismo estable química y térmicamente y no genera residuos (Matiacevich et al., 2016).

Mantener la inocuidad y ausencia de microorganismos patógenos en estos alimentos es importante, por lo que se plantea el objetivo de explicar los conceptos básicos de la irradiación gamma su proceso, aplicación en alimentos, particularmente el Mango (*Mangifera indica*) y Pimientos (*Capsicum spp.*) y el efecto que conlleva la irradiación de estos, mediante una exhaustiva revisión bibliográfica.

La irradiación gamma, es conocida como la radiación electromagnética, que se produce en la descomposición de radioisótopos como Cobalto-60 y Cesio-137, se viene utilizando durante los últimos cuarenta años debido a que tiene amplia disponibilidad y versatilidad en su aplicación (Yeong, *et al.*, 2005). Peña (2008) menciona que la técnica de irradiación en alimentos tiene como finalidad favorecer métodos de procesamiento para extender la vida útil en los alimentos sin perder sus características nutricionales y organolépticas reduciendo en gran parte la problemática en cuanto a pérdidas de géneros alimenticios. Este método es muy favorable dado que reduce considerablemente las pérdidas que son causadas por descomposición inducida por el crecimiento de hongos y bacterias.

Por otra parte, se ha probado que la dosis de irradiación de 1 a 5 KGy se usa de forma eficaz para eliminar microorganismos patógenos asporógenos y de naturaleza no vírica, que no representa peligro para la salud y que de igual manera es efectivo para productos preenvasados (Suárez, 2001). La irradiación gamma no solo inhibe la actividad microbiana, sino que también aumenta la concentración de macro y micronutrientes en algunos alimentos con dosis entre 25 Gy y 20 KGy (Sing, et al., 2010; Ahuja, et al., 2013; García et al., 2017). Para Díaz (2016), la irradiación gamma en productos alimenticios es derivado de la disociación radiactiva del Co^{60} , a pesar de que los rayos gamma son el resultado de la respuesta radiactiva, no tienen efectos radiactivos en los alimentos, sin modificaciones en el valor nutricional y efectos en la descomposición que ocasionen enfermedades como el cáncer. La radiación gamma posee las subsecuentes ventajas:

- Admite el tratamiento uniforme en cuanto al producto, sin importar la proporción con la que se va a trabajar y en el aspecto del uso de semillas u otros con cascara, nos va a delimitar que el tratamiento se da de forma directa al tipo de alimento.

- Es una técnica que no utiliza energía térmica, además, no necesita químicos y confiere una observación útil de pestes, además de ello promueve una disminución en el desarrollo de variedad de microorganismos patógenos.

La IAEA (2008), menciona que, en diferentes industrias de procesamiento, la radiación ganó un impulso significativo con la llegada de los reactores nucleares, los cuales tienen la capacidad de producir radioisótopos como Co^{60} . Estos emisores de rayos gamma se han transformado en las principales fuentes de radiación que son aplicadas dentro de la medicina y las industrias. En los últimos años, se ha incrementado el uso de aceleradores de electrones como fuente de radiación y en ocasiones equipados con un convertidor de rayos X.

Sin embargo, los irradiadores gamma son complicados de reemplazar, especialmente para productos no uniformes y de alta densidad. Actualmente, el Co^{60} se utiliza casi exclusivamente como fuente de radiación gamma para uso industrial, principalmente debido a su método de producción fácil y la no insolubilidad en agua. La emisión controlada de rayos gamma de alta intensidad es usada con el objetivo de reducir una gran cantidad de microorganismos en materiales o alimentos, y con ello aumenta su tiempo de vida útil (Guzmán, 2015).

Según la comisión del Codex alimentarius (2000), que posee la Norma General para los Alimentos Irradiados, se contemplan las fuentes ionizantes como los rayos gamma de los radionucleidos con una fuente de Co^{60} y Cs^{137} ; luego se tiene los rayos X, que son originadas por máquinas que trabajan con energías de 5 MeV o menores; finalmente, se mencionan los electrones que se originan en dichas máquinas y que trabajan con energías de 10 MeV o menores.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Clases de irradiadores

La OIEA (2011) clasifica los irradiadores gamma, según la variedad de bocetos de irradiadores en base a la manera de explicar la fuente radiactiva y tipo de blindaje.

Clase 1: el surtidor se encuentra cerrado y está firme al interior de un depósito elaborado con implementos sólidos y no es posible el acceso físico humano a dicha fuente y también a la sala de irradiación.

Clase 2: el surtidor se encuentra cerrado con blindaje en un depósito elaborado de implementos sólidos, aquí la entrada de personal al área de irradiación está advertida, en caso que el surtidor de irradiación este afuera de la condición de almacenamiento.

Clase 3: fuente cerrada y segura, se encuentra inmersa duraderamente dentro de una alberca con agua, donde no es fácil físicamente la entrada de personal a dicho surtidor y a sala de irradiación.

Clase 4: el surtidor se encuentra tapado e inmerso en una alberca, su entrada del personal al cuarto de irradiación esta advertido cuando su surtidor de irradiación se encuentra fuera de la disposición de almacenamiento.

2.2. Diseño de irradiadores

Para Zaragoza (1997), los irradiadores que poseen material radiactivo son elementos beneficiosos, estimulados por la radiación ionizante, utilizando material radiactivo, (uso

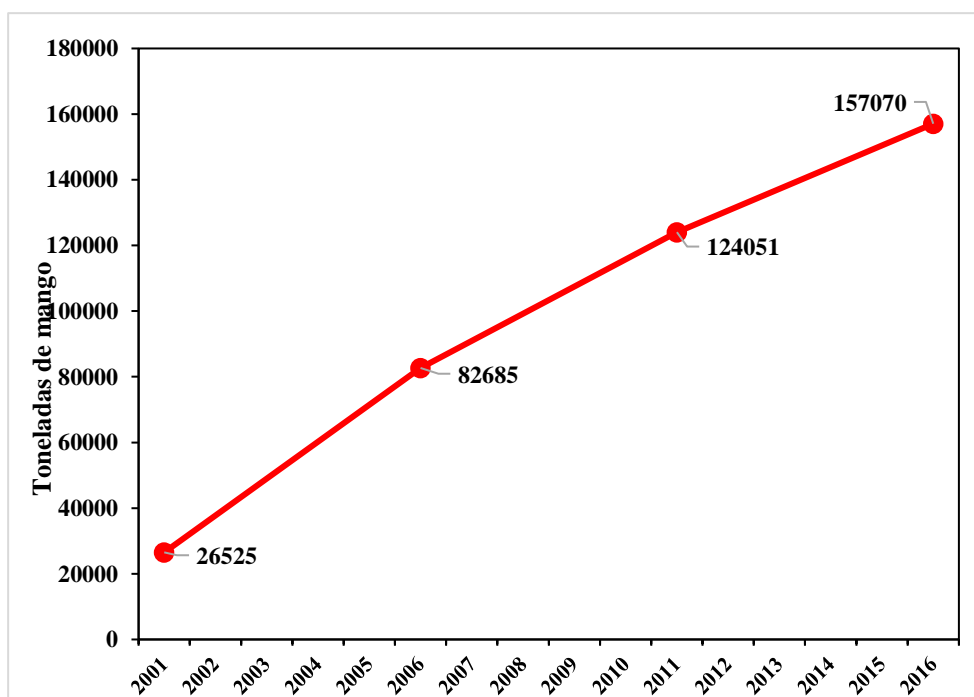
en industrias o en el ámbito de la investigación científica). El modelo de irradiador GB 651 PT, posee iguales condiciones de operación además de un sistema de alarmas que permite conservar la seguridad radiológica en su instalación radiactiva. Las partes fundamentales del GB 651 PT son, un estanque de almacenamiento de las fuentes de Co^{60} , habitación o cámara de irradiación, mecanismo para el movimiento de las fuentes, laberinto de acceso a la cámara de irradiación, consola de control, posición de las fuentes, cuarto de compresores de aire, filtro de aire, planta purificadora de agua para la alberca, y tableros de control.

2.3. Irradiación en el mango

De acuerdo con Tello (1997), el mango es un frutal que conforme ha pasado el tiempo ha ido ganando importancia y ha alcanzado una mayor producción mundial que supera los 15 millones de toneladas al año. En áreas de producción se pueden encontrar gran cantidad de variedades de mango, pero sólo unas pocas cumplen los estándares que son básicos y requeridos para su exitosa exportación. En la actualidad los cultivos más comunes que son exportados son el Haden, Keitt, Kent y Tommy Atkins. En Perú la gran parte de producción del fruto de mango está ubicada en la región de la costa, principalmente en los departamentos de Piura, Lambayeque y Lima, la sierra posee un porcentaje mínimo y en la selva las producciones son incongruentes y su producción solo es comercializada localmente.

Figura 1.

Comportamiento de las exportaciones de mango fresco en el Perú.



Fuente. Adaptado a partir de Ministerio de Agricultura y Riego - MINAGRI (2017).

Según el Ministerio de desarrollo agrario y riego MIDAGRI (2020) las exportaciones de frutas y cereales continúan en constante crecimiento y han sumado una cantidad exorbitante de US\$ 1,710 millones en el primer semestre, entre las frutas de exportación que más destacan se tiene las Uvas frescas que han generado US\$ 442 millones, aumentando en un 24 %, luego las paltas frescas que generaron una suma de US\$ 490 millones, aumentando un 2.2 % y finalmente se tiene a las presentaciones de mango fresco

que ha llegado a generar US\$ 223 millones, incrementando un 22%, luego está la presentación de mango congelado que ha llegado a recaudar US\$ 101 millones, incrementando en un 51 %.

En la actualidad, el mango viene teniendo un buen auge en el mercado internacional, ya que está generando un buen nivel de exportación a diferentes países y a su vez cuantiosos ingresos tal como se observa en la figura 1. La cantidad en toneladas de mango se ha incrementado notablemente desde el año 2001 hasta el 2017, aunque la tendencia anual indica un significativo crecimiento de las exportaciones, ganando un buen terreno y aceptación en el ámbito internacional, cumpliendo con los requerimientos de las normas, entre los cuales destaca el uso fundamental de tecnologías que ayuden a combatir la contaminación de los productos por microorganismos de carácter patogénico que pongan en riesgo la integridad del mango.

Vargas, J.; Vivanco, M.; Maldonado, *et al.*, (2005), mencionan que los análisis realizados en el IPEN en mangos de variedad haden irradiados (0,75 KGy) y reservados en frío (temperatura: 10° C y 85-90 % H.R), lograron aumentar su mantenimiento en un tiempo de 42 días, cotejado con los mangos que no fueron irradiados (control), tuvieron un tiempo de conservación menor equivalente a 24 días, y estuvieron en iguales condiciones en cuanto a su reserva. Otras pruebas realizadas en el IPEN, con una dosis de radiación gamma a 1,0 kGy logra aumentar notablemente su periodo hasta 20 días.

Martínez, S. (2017) detalla que la irradiación viene a ser una de los tantos procedimientos que puede llevar a cabo la desinfección de alimentos; con esto se asegura la eliminación de todas las posibles enfermedades que podrían ser transmitidas en la producción, procesamiento, manipulación y preparación, basado en la disposición de un irradiador con una fuente de un simple cilindro, el cual tiene un modo de operación que consiste en situar alrededor de este los productos de forma estática. La entrada de los productos se realiza de forma automática mediante un transportador aéreo, Los contenedores deben girar sobre su eje durante la exposición, el tiempo de exposición para cada lado es el mismo.

De esta forma, se tendrá un tiempo de exposición igual en cada uno de los lados y por tanto una mejor distribución de la dosis. Los resultados obtenidos permiten afirmar que la irradiación mediante rayos gamma es capaz de desinfectar microorganismos de los alimentos. Cambiando el tiempo de exposición, se puede modificar la dosis suministrada a los productos irradiados, por lo que se puede utilizar la instalación para irradiar distintos materiales.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Efectos de la irradiación en el mango

Thomas, P. y James, H. (2009), describen que la irradiación a dosis de 0,25 a 1,0 kGy no afecta las propiedades sensoriales, ni las características físicas y químicas de variedad Haden en ningún punto de madurez. Por lo que a bajas dosis aumenta el tiempo de vida útil del mango al disminuir los índices de maduración y senescencia, permaneciendo comestibles en períodos más extensos antes de que pasen por la fase de senescencia, mejorando así la vida comercial de estos frutos. Los resultados más convincentes fueron obtenidos en el momento que se trataron los frutos en estado de madurez, mientras estaban en el verde duro. Cuando se irradian mangos inmaduros se puede provocar un aumento del marchitamiento y una maduración desigual.

Ghosh y Das (2014), utilizaron una cámara gamma con fuente de Co^{60} y una tasa de dosis de 6,6 KGy/h, distinguiendo una disminución de fuerzas máximas a medida que iba aumentando la dosis de radiación aplicada; encontraron que la pared celular del mango fue dañada disminuyendo la firmeza de la textura de la fruta, por lo que se recomienda dosis entre 0,5 a 0,75 KGy, debido a que esta radiación mostró células más intactas con una pared celular rígida que apoyaba el retraso en la maduración.

En concordancia con De Graff y Van Rooyen (2014), la dosis que más efecto negativo tuvo fue de 1000 Gy causando sistemáticamente daños graves al mango de variedad Tommy Atkins y Keitt, predominando daño de las lenticelas y escaldaduras, decoloración y pardeamiento en casos más severos. El peso aumenta con el tiempo de almacenamiento influenciada por la irradiación, la temperatura de almacenamiento y su interacción (Yadav, Patel, Kirtibardhan y Parmar, 2015). Hay que tener en cuenta que las lenticelas son estructuras presentes en el peridermis del mango llamada felodermis, su función es asistir en intercambio de gases (Mahul, 2015), si estas llegan a dañarse se puede producir un ligero cambio de color en el mango afectando su calidad visual.

En las figuras 2, 3, 4 y 5. se observan los daños producidos por la irradiación del mango aplicando diferentes dosis, verificando que a mayores valores cercanos a 1000 Gy causan daños severos en las lenticelas del mango, produciéndose un ligero cambio de color, a lo cual se le suma el daño por escaldaduras. Si nos fijamos en los cambios que se ven en las figuras referentes a los sólidos solubles del mango de variedades Kent y Tommy Atkins.

Figura 2.

Decoloración interna de mango a diferentes dosis, variedad Kent.

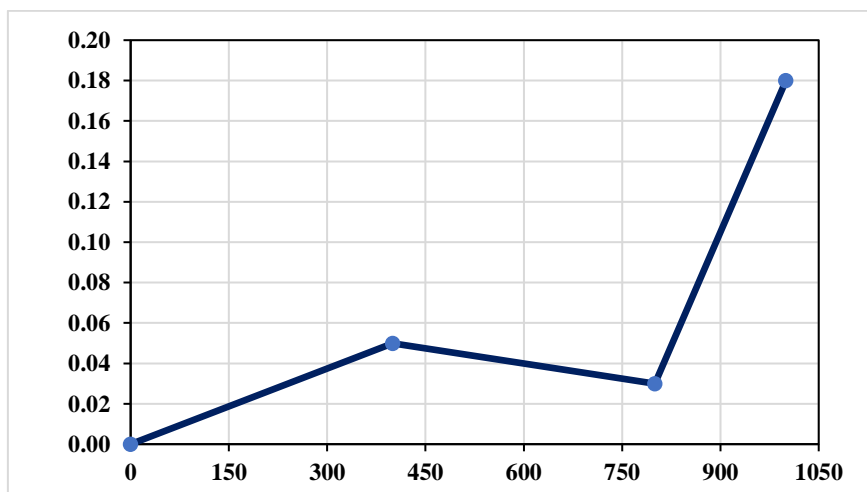
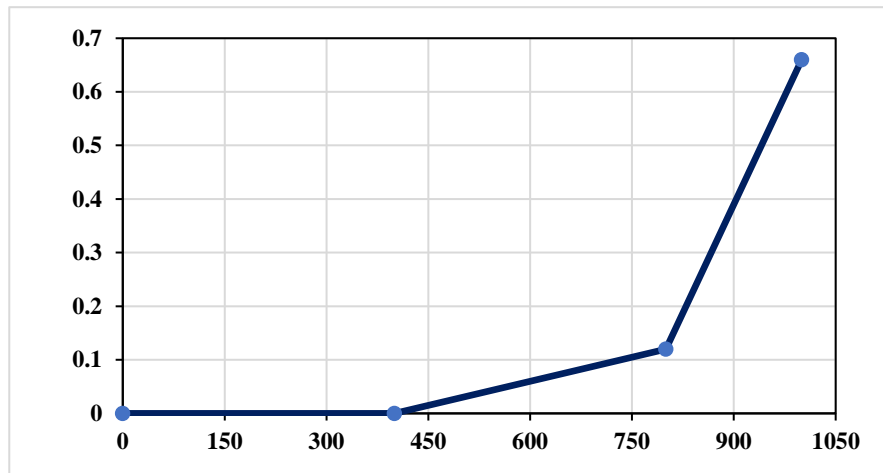
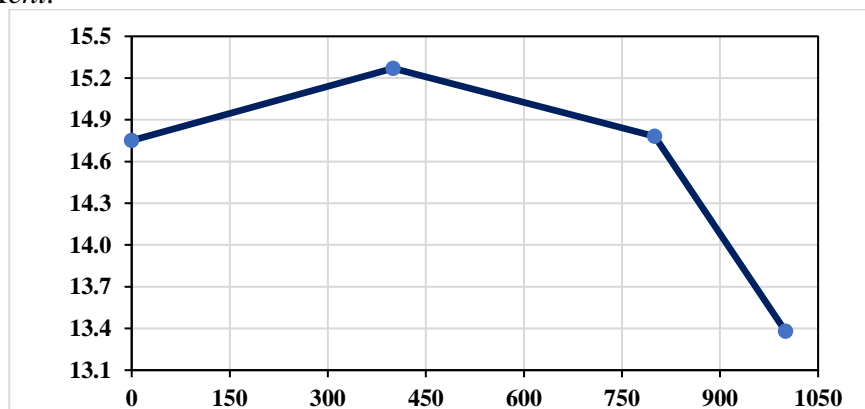


Figura 3.

Pardeamiento vascular de mango a diferentes dosis, variedad Tommy Atkins

**Figura 4.**

Cambio en los sólidos solubles de mango a diferentes dosis, variedad Kent.



Se concluye que estas variedades se están reduciendo significativamente a dosis de 1000 Gy; lo recomendable es usar dosis entre 500 Gy y 600 Gy.

En la tabla 1, se muestra la respuesta de la irradiación aplicada a las diferentes variedades de mango necesarios para la prolongación de la vida útil. Se identifica el área geográfica de donde provienen y cultivan algunos tipos de variedades de mango, además se describe puntos claves acerca de las dosis óptimas en las que estos pueden ser tratados por irradiación gamma, la dosis en que las diferentes variedades de mangos pueden tolerar y la dosis que se deben tomar como referencia a la hora de realizar el proceso de irradiación en la unidad Krad.

Tabla 1.

Diferencias en las variedades de mango frente a la dosis aplicada de radiación gamma, requisitos para la prolongación de la vida útil y dosis de tolerancia en los mangos

Variedad	Área Geográfica	Dosis Óptima (krad)	Dosis Máxima Tolerante (krad)	Referencia
Bocado	Venezuela	100	118	
Alphonso	India	25	75	51
Dasheri	India	25	75	138
Langra				
Mulgoa				
Neelum				
Totapuri				
Okrong	Tailandia	40	--	81
Carabao	Filipinas	60		107
Haden	Hawái	--	100	100
Zill	Florida	--	314	1
Kent				
Sensación				
Rubi	Puerto Rico	75	<150	47,65
Eldon				
Keit				
Kent				
Dusheri	Pakistán	30	--	2
Mohammadwala	Pakistán	25-30	75	78

Fuente. Adaptado de Thomas, P. y James, H. (1986).

3.2. Tres Variedades de Pimiento

En particular, los vegetales son de mucha importancia en la ingesta diaria para una dieta balanceada, ya que tiene cantidades bajas de carbohidratos y grasas (Pino, 2018). Estos proveen vitamina C, E, carotenoides, compuestos fenólicos y flavonoides (Bosland y Votava, 2012; Figueroa et al., 2015; Meléndez et al., 2004; Sun et al., 2007; Collahuazo, 2017).

Asimismo, el pimiento verde, se describe de tamaño mediano-grande, forma redonda, con regular tallo, su piel brillante y lisa, no presenta manchas, con cuerpo carnoso y sabor delicado (Alvarado y Cabrera, 2010; Jachura 2015). Según Staller (2012), el pimiento contiene vitaminas, capsaicina, pigmentos y aceites volátiles, proteínas, fibra y ciertos tipos de ácidos orgánicos, alto contenido de vitamina C y carotenoides, donde a la capsaicina se le atribuyen propiedades anticancerígenas debido a que se ha observado que induce apoptosis en estudios realizados con células de cáncer de páncreas (Cedrón, 2013). También posee carotenoides conocidos por su alta capacidad antioxidante que son transportados en el organismo por el plasma, sirven como un supresor O₂, además de tener la capacidad de inactivar enzimas (Carranco et al., 2011). Referente al pimiento amarillo estos frutos son homogéneos, amarillo intenso muy buen color, pedúnculo largo que facilita la recolección (CLAUSE, 2017). El pimiento amarillo posee hidratos de carbono 6.32 g, proteínas, 1.0 g, grasa total 0.021 g, ceniza total 0.45 (Dieta y nutrición, 2015); destaca su aporte en vitamina C, el color que presentan se debe a la mayor presencia de betacaroteno (Acosta et al., 2018).

Andina (2017), indica que Perú es el octavo país exportador en el mundo de pimienta y ajíes, acaparando el mercado de exportación, esto es porque es impulsado por la gastronomía y que en nuestro país el consumo per cápita anual es de 4.75 kg y que este volumen aumenta cada año. A su vez también mencionan que, entre los meses de enero y junio del 2017, el género *capsicum* generó ingresos de US\$ 107 millones en sus diferentes presentaciones.

La tabla 2, muestra los países más exportadores de pimienta piquillo y Perú se encuentra entre ellos, precisamente en el Puesto 9 generando ingresos en el 2019 de US\$ 51.49 millones. El pimienta en sus presentaciones piquillo representa una gran cantidad de ingresos para la economía en nuestro país.

Tabla 2.

Principales 10 países exportadores de pimienta piquillo en el mundo

Mercado	%Var 19-18	%Part 18	Total, Exp. 2018 (millon US\$)
México	-4%	13%	154.92
Turquía	7%	11%	125.68
China	7%	8%	89.97
Grecia	-7%	8%	103.48
Alemania	-1%	7%	84.17
España	3%	7%	76.22
Estados Unidos	17%	5%	49.59
Países Bajos	-20%	4%	64.34
Perú	-2%	4%	51.49
India	9%	4%	38.88

Fuente. Adaptado a partir de SIICEX (2020).

3.3. Irradiación de Pimientos mínimamente procesados

Los pimientos mínimamente procesados, se caracterizan por ser sometidos sólo a tratamientos de lavado, corte y envasado, sin tratamientos térmicos u otros procesos más complejos, cuya principal ventaja radica en que pueden ser consumidos de inmediato (Mateicevich, et al., 2016). Al ser cercenados se rompen células que a su vez liberan enzimas intracelulares como Polifenol Oxidasa (PPO), que oxida los substratos fenólicos, causando el pardeamiento, otras enzimas que se segregan son la poligalacturonasa y pectinesterasa que inducen al ablandamiento, de igual manera se libera lipoxigenasas que oxidan algunas sustancias lipídicas que causan que emerjan olores extraños, entre otros cambios nutricionales y sensoriales (Artes, 2018); otros autores que apoyan lo mencionado son Artes et al., citado por Artes et al., (2011) que también refieren que pueden aparecer a temperaturas debajo de 5 °C, bacterias mesófilas, géneros fúngicos y bacterias psicrótroficas, entre otras como *Clostridium Botulinum*, *Listeria monocytogenes* o *Escherichia Coli*, causante de enfermedades graves.

La inactivación o eliminación de microorganismos patógenos es uno de los requisitos para que un producto de cuarta gama sea considerado para el consumo de las personas (Gil y Allende, 2016). La tabla 3 presenta un cuadro referido a los límites microbiológicos que se deben tener en cuenta para estos productos.

Tabla 3.*Limitantes microbiológicos, que se permiten en productos de IV gama ufc/g.*

Microorganismo	Tolerancia	Consumo
<i>Salmonella spp.</i>	10 ³	10 ²
<i>Listeria monocytogenes</i>	100	100
<i>Escherichia coli</i>	10 ³	10 ²
<i>Streptococcus</i>	10 ⁴	10 ³
Levaduras	10 ⁴	10 ³
Hongos	10 ⁴	10 ³

Fuente. Adaptado de Artes, (2018), Collahuazo, (2017) y Diezma, (2016).

Los microorganismos más preocupantes de la tabla 3, son *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* y *salmonella spp.*, (Diezma, 2016); ya que provocan infecciones o enfermedades como el caso de *Listeria monocytogenes*, causante de una infección que puede ser muy grave para las embarazadas y mortal para los bebés (MAYOCLINIC, 2020). La *escherichia coli* es causante del Síndrome urémico hemolítico, que provoca diarreas, vómitos con sangre, hasta producir anemia (Pérez, 2009).

La *salmonella spp.*, es causante de la salmonelosis, ocasiona fiebre y tifoidea, diarrea, entre otros síntomas. Se resalta la importancia de la eliminación de estos microorganismos y la problemática que causa las operaciones principales para un alimento mínimamente procesado, entonces debemos tener cuidado al elegir un proceso para su irradiación, considerando el tiempo, temperatura y dosis. Según Gómez et al., (2008), la irradiación del pimiento utiliza muestras de 200 gr previamente cortado, para luego ser envasado en bolsas preferiblemente de polietileno y proceda a la exposición de estas a los rayos gamma, se recomienda dosis de 1KGy.

Apoyado por Amro et al., (2018) y Colletti et al., (2019), indican que se trabaja mejor a temperatura ambiente de 25 °C para luego ser conservadas a 4 °C y ser evaluadas en periodos de 7 a 14 días, midiendo variables como color superficial de las rodajas, actividad, antioxidante y enzimática, textura y determinando su perfil sensorial adecuado para medir el irradiado a varios niveles de ablandamiento de tejidos o cambio de parámetros sensoriales.

3.4. Efectos de la irradiación sobre los componentes: químicos, nutricionales y sensoriales del pimiento.

Según Amro et al., (2018), la irradiación gamma modifica la actividad que impide la oxidación del pimiento picante ($p < 0.05$), con desigualdad mínima. La irradiación puede suavizar las hortalizas y puede sumar la penetrabilidad en los tejidos (OMS, 1989). (Collahuazo, 2014), informa que estos resultados son las consecuencias pertenecientes a las dosificaciones de irradiación a las que se expone y el periodo en el que se acumula. También Noboa et al., (2015) señala que se obtiene una disminución de estructura del alimento, lo que es denotado como despolimerización de diversos componentes de la envoltura celular como polisacáridos, celulosa y pectina.

Narvaiz, (2015), menciona que la eficiencia radiante transmitida crea ionizaciones, separaciones y disminución en la firmeza de átomos o moléculas en cuanto al alimento en el que se realiza la interacción. Se acostumbra a llamar a este procedimiento, "Sucesión primaria", cuyo resultado da una ruptura del equilibrio y hace que aparezcan iones y radicales libres que se mezclan entre ellos y con diferentes moléculas para que formen

compuestos diferentes a la formación principal del producto; a esto se le llama "sucesión secundaria", se extiende al producto, con el inicio y pérdida de componentes hasta la obtención de algunos compuestos químicamente duraderos.

En cuanto a la composición de los nutrientes de carbohidratos, después de que son irradiados con los rayos gamma, los polisacáridos experimentan una ruptura en la cadena de polímero, y se da como efecto el aflojamiento del alimento, causa una descarboxilación y limitación de enlaces de disulfuro, en lípidos configura componentes volátiles como son hidrocarburos, cetonas, alcoholes y lactonas (Noboa, et al. 2015).

La irradiación gamma no modifica la formación proximal (contenido de grasas, proteínas, cenizas y carbohidratos) de los productos alimenticios. Además, evalúa que los alimentos que son el resultado de las dosis de 60 KGy, son aceptables en su composición nutricional y seguros para el consumo. Las dosis de irradiación de 10 kGy no modifican sus características organolépticas en los alimentos. (Kulsum et al., 2020).

Tawiah et al., (2019), irradió pimiento en dosis de 1, 2, 4 y 5 KGy observando que se inactivan los microorganismos patógenos (tabla 3), además ocasiona una elevación de 21.81 % en capsaicina, el 20,32 % en capsaicinoides totales y 16,79 %, en los carotenoides se da una disminución del 8.84 % en el betacaroteno, del 26.07 % en la criptoxantina beta y 8,46 % en la capsantina. También se indica que a diversas cantidades se debe obtener un impacto revelador en la calidad, la eficacia de la cantidad de dosis que se obtiene va a depender del porcentaje de dosis que se aplicaran.

Para generalizar una dosis absorbida aplicada en el producto, va a influir el porcentaje de dosis aplicado por el tratamiento de irradiación (Hyum-Kyu et al., 2018). El grado de energía dados en la irradiación están aumentando, además puede ocasionar que compuestos del alimento sean radiactivos y por ende que ocasionen algún tipo de daño a los consumidores (OMS, 1989). La tabla 4 presenta la dosis recomendada de radiación gamma y algunos de sus efectos.

Tabla 4.

Efecto de irradiación gamma en diferentes dosis, en tres variedades de pimiento

Variedad	Características	Dosis
P. rojo	Rojo normal, inactivación de patógenos (E. Coli, L. monocytogenes y S. typhimurium), aumento de capsaicinoides totales, disminuye el contenido de Vitamina C, aumenta fenólicos totales y aumenta la actividad antiox. (13%).	1-5 KGy
P. Verde	Inactiva bacterias E. Coli, S. enteric y listeria innocua, diferencias menores en color y el contenido de clorofila.	1 KGy
P. Amarillo	Aumentos compuestos fenólicos (10%), disminución de vitamina C, disminución de carotenoides en 30%	250-750 Gy

Fuente. Adaptado de Hyum-kyu et al., (2018), Tawiah et al., (2019), Maherani et. al. (2018) y Collahuazo (2017).

Las dosis a las que se sometan las muestras irradiadas harán variar el efecto que estas van a tener, es de vital importancia para la consecuencia que va a traer al producto, pero en que rangos se recomienda irradiar un alimento, particularmente un pimiento y de que

variedades pueden ser irradiados, a continuación presentamos una tabla en donde se hace hincapié a todo lo antes mencionado: variedad, dosis, efectos negativos y positivos que conlleva, en sus características fisicoquímicas y organolépticas, ya que estas son de gran interés para la exportación de pimiento y principalmente de carácter importante para los países a los que desea exportar.

Se dice también que al ser irradiadas algunas muestras que poseen contaminación por bacterias mesófilas que vienen de 10^6 a 10^8 , se da una reducción de la concentración hasta a 10^3 en una dosis de 1KGy (Araújo et al., 2009). Con esto podemos decir que el procedimiento aplicado garantiza reducción de tres ciclos logarítmico de microorganismo, esto se llevó a cabo con la aplicación de irradiación.

En la tabla 4 se observa la inactivación de algunos microorganismos patógenos que son peligrosos, la irradiación gamma actúa modificando su material genético e impidiendo la generación y sus funciones celulares (Robles, 2017). En cuanto a los componentes químicos de los pimientos su energía ionizante fabrica en cantidades mínimas sustancias denominadas “productos radiolíticos”, que son comunes a la glucosa, el ácido fórmico, el acetaldehído y el CO_2 , los cuales suelen formar tratamientos térmicos; no se ha encontrado ninguna prueba de negatividad de radiolíticos (SERNAC, 2004).

Caro y García (2012), encontraron que a dosis de 150 Gy y medias de 500 Gy los parámetros de calidad de acidez, peso, pH, sólidos solubles, luminosidad y firmeza en el pimiento verde y amarillo no se afectaron. La dosis que preserva su calidad en los tres tipos de pimiento fue la de 1000 Gy; debido a que puede bajar en gran porcentaje la pérdida de peso, mantiene y mejora los parámetros visuales, químicos y sensoriales, aparte de ello la variable que limita el tiempo de la vida útil en la tres diferentes variedades de pimiento es la calidad visual. Por último, no se observó un cambio drástico en la composición de β -caroteno, vitamina C, y otros componentes fenólicos luego de aplicar irradiación a dosis entre 250 a 1000 Gy.

4. CONCLUSIONES

La irradiación gamma es una técnica que ha demostrado ser segura para la inactivación de microorganismos patógenos y en algunos casos ha aumentado el valor nutricional de algunos alimentos irradiados, aunque también se dan efectos negativos, pero en una mínima intensidad. El efecto que se producirá al alimento dependerá de la dosis a la que se le va a irradiar. Como principales fuentes de irradiación se tiene al Co^{60} de peso atómico 60 y el Cs^{137} , que son las más utilizadas para la irradiación en alimentos.

El mango es una de las principales frutas de exportación en el Perú, que últimamente está obteniendo ganancias cuantiosas. Esto ha hecho que se busquen nuevas tecnologías para conservarlas, y entre ellas tenemos a la irradiación gamma. Los principales efectos que se identificó fueron las que afectaba negativamente al mango y en especial a sus características organolépticas ya que dañaba la pared celular a dosis de 1KGy. En variedades de Tommy Atkins y Keitt esta dosis de radiación también era negativa ya que causa daño en las lenticelas y causa escaldaduras, y esto da paso a la decoloración y pardeamiento de los mangos irradiados. También se da una pérdida significativa de los grados brix de la fruta en las variedades ya mencionadas a dosis entre 500 Gy y 1000 Gy. Es por eso que se recomienda utilizar dosis máximas de 700 Gy en mangos.

El pimiento es otro producto agroindustrial que está en crecimiento de exportación y por eso se busca nuevas tecnologías de conservación para sus diferentes presentaciones. Se

encontró que el efecto que causa la irradiación a gamma en los pimientos de tres variedades depende de la dosis a la que se le someta en general los tres pimientos presentan cambios mínimos en su composición química, física y nutricional y la dosis para inactivar microorganismos patógenos esta entre 750 Gy a 1.5 KGy, siendo estas las más recomendadas en este alimento en su presentación en cuarta gama.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, J.; Martínez, B.; Cerdá, A.; *et al.* 2018. Alimentos de la región de Murcia: Pimiento. UCAM-Santander, España.
- Alvarado, M. y Cabrera, L. 2010. Determinación del tiempo de vida útil en los pimientos california verdes frescos en bandejas plásticas empacados con papel film. Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del litoral. Ecuador. 18-26 pp.
- Amro, B., Salma, M., Khitma, A., Tilal S., Samson, O., Oladipupo, Q. y Isam, A. 2018. Effect of gamma irradiation and microwave heating treatments on microbial load and antioxidant potentials in cinnamon, fennel and hot pepper. *Journal of Food Measurement and Characterization*, (13) 1130–1138.
- ANDINA. 2017. Perú es el octavo exportador mundial de pimientos y ajíes. Andina.pe. Recuperado de <https://andina.pe/agencia/noticia-peru-es-octavo-exportador-mundial-pimientos-y-ajies-680973.aspx>
- Araújo, M.; Duarte, R.; Silva, P.; *et al.* 2009. Application of the microbiological method DEFT/APC to detect minimally processed vegetables treated with gamma radiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 78: 691-693.
- Artes, F. 2018. Las Industrias de IV gama. Generalidades Hortalizas mínimamente procesadas. Curso tecnología de cítricos y otros cultivos. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Artes, F., Gomez, P., Artés-Hernández, F. y Aguayo E. 2011. Innovaciones en el mantenimiento de la calidad y seguridad alimentaria de los productos hortícolas mínimamente procesados. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 12(1): 8-18.
- Blakey, R., De Graff, J. y Van Rooyen, Z. 2014. Gamma-Irradiation of mangoes. *SA mango Growers' association, Research Journal*, 30 13-21.
- Caro, M., y García R. 2012. Efecto de tratamientos de irradiación gamma en el contenido de carotenos, vitamina C, pungencia y en la vida útil del chile manzano (*capsicum pubescens*). Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México, Cuautitlán Izcalli. México 32-43.
- Carranco, M., Calvo, M. y Pérez, F. 2011. Carotenoides y su función antioxidante: Revisión. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 61(3), pp. 233-41.
- Cedrón, J. 2013. La capsaicina: Pica, nos hace ponernos rojos, pero también alivia el dolor. La capsaicina es el componente principal del ají, ingrediente de tantas comidas en nuestro país. *Revista Química PUCP*. 27(1), pp. 7-8.

- CLAUSE – Clause Iberica. 2017. Innovando en pimientos. Almería, España
- Codex alimentarius. 2000. Norma General del Codex para los Alimentos Irradiados, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Collahuazo M. 2017. Estudio de la aplicación de radiación gamma sobre la calidad de tres variedades de pimiento (*capsicum annuum*) mínimamente procesado. Tesis de pregrado, Escuela politécnica Nacional, Quito. Ecuador. 43-81 pp.
- Colletti, A., Denoya, G., Rodriguez, Vaudagna, S. y Polenta, G. 2019. Application of Gamma Irradiation in Minimally Processed Peaches to improve quality and extend shelf life. Recuperado de <https://inta.gob.ar/documentos/aplicacion-de-irradiacion-gamma-en-duraznos-minimamente-procesados-para-mejorar-la-calidad-y-extender-la-vida-util>
- Díaz, D. 2016. Efectos de la irradiación gamma en la calidad del aceite y de la proteína de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L). Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia.
- Dieta y Nutrición. s.f. Información nutricional de pimiento amarillo. Recuperado de <http://www.dietaynutricion.net/informacion-nutricional-de/pimientos-dulces-raw-y-amarillo/>
- Diezma, B. 2016. Control de calidad de productos de IV gama. *Revista Simiente*, 86(4) 1-8.
- García, V., Tejeda, O., Trejo, L., et al. 2017. Gamma radiation and osmotic potential of the nutrient solution differentially affect macronutrient concentrations, pH and EC in chilhuacle pepper fruits. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, (315) 145–156.
- Ghosh, S. y Das, M. 2014. Optimization of the effect of gamma radiation on textural properties of different varieties of potato (Kufri chandramukhi and Kufri Jyoti) and mango (Langra and Fazli) during storage by response Surface Methodology. *Innovative Food and Emerging Technologies*, 26(2014) 257-264.
- Gil, M. y Allende, A. 2016. Presente y futuro del agua en la industria alimentaria. Recuperado de https://issuu.com/horticulturaposcosecha/docs/info_iv_gama_2016
- Gómez, V., Ragaert, P., Debevere, J., Devlieghere, F. 2008. Decontamination Methods to Prolong the Shelf-life of Minimally Processed Vegetables, State-of-the-art. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(6) 487-495.
- Granja E. 2016. Estudio de la aplicación de radiación gamma para extender la vida útil del pimiento (*Capsicum annuum*) entero y el efecto sobre sus compuestos bioactivos. Tesis de pregrado, Escuela politécnica Nacional, Quito. Ecuador. 22-49.

- Guzmán, M. 2015. TEC cuenta con equipo de irradiación. 3-4 Recuperado de https://revistas.tec.ac.cr/index.php/investiga_tec/article/view/2371/2160
- Herrero, A, y Romero, M. 2006. Innovaciones en el proceso de alimentos: Tecnologías no térmicas. *Revista Med*, 50(4) 215-220.
- Hyum, K., Sudha, R. y Joong, H. 2018 Evaluation of capsaicinoid profile and antioxidant properties in dried Korean red pepper (*Capsicum annuum* L.) as affected by variable dose rates of electron beam and gamma ray irradiation. *Journal Food Sci Technol*, 55(10) 3902-3910.
- IAEA. 2008. Gamma irradiators for radiation sterilization. *Trends in Radiation Sterilization of Health Care Products*. 39(1) 5-25.
- Jachura, B. s.f. Morrón Verde: Características y propiedades del morrón verde. Recuperado de http://wiki.ead.pucv.cl/images/7/79/Morrón_verdebjg.pdf
- Kulsum, J., Khalid, B. y Vaibhav, K. 2020. Gamma Irradiation and Food Properties. *Department of food Technology*. India.
- La OIEA. 2011. Guía para autorización e inspección: Irradiadores. 2-30.
- Maherani, B., Harich, M., Salmieri, S. y Lacroix, M. 2018. Antibacterial properties of combined non-thermal treatments based on bioactive edible coating, ozonation, and gamma irradiation on ready-to-eat frozen green peppers: evaluation of their freshness and sensory qualities. *Eur Food Res Technol*, 245: 1095–1111.
- Mahul. 2015. Decoloración de lenticelas en mango. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/285366664/Lenticelas-Mango>
- Martínez, S. 2017. Diseño de un irradiador de alimentos para la eliminación de microorganismos mediante radiación gamma (tesis de grado). Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Matiacevich, S., Riquelme, N. y Arancibia, O. 2016. Perspectivas de las tecnologías aplicadas en productos IV-Gama Prospects of the technologies applied in fresh-cut products. *Revista Contribuciones científicas y tecnológica*, (4) 48-55.
- MAYOCLINIC. 2020. Infección por listeria. [Mayoclinic.org](https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/listeria-infection/symptoms-causes/syc-20355269). Recuperado de <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/listeria-infection/symptoms-causes/syc-20355269>
- Ministerio de Agricultura y Riego – MINAGRI. 2017. Perfil técnico N°4 Mango: Crecen Exportaciones Peruanas. Boletín Informativo. Recuperado de <https://www.minagri.gob.pe/portal/analisis-economico/analisis-2017?download=11210:boletin-de-mango-crecen-exportaciones-peruanas>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego – MIDAGRI. 2020. Exportaciones de frutas y cereales siguen creciendo y sumaron US\$ 1,710 millones en primer semestre. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/295213-exportaciones-de-frutas-y-cereales-siguen-creciendo-y-sumaron-us-1-710-millones-en-primer-semestre>

- Narvaiz, P. s.f. Irradiación de los Alimentos. *Unidad de Actividad Aplicaciones Tecnológicas y Agropecuarias*, 1-4.
- Noboa, A.; Granja, E.; Valencia, S. y Vasco, C. 2015. Uso de la Irradiación gamma en el proceso de elaboración de hortalizas de IV gama. Escuela Politécnica Nacional de Montevideo, Uruguay.
- OMS-Organización Mundial de la salud. 1989. La irradiación de los alimentos: técnica para conservar y preservar la inocuidad de los alimentos. OMS-Graficas reunidas.
- Peña, M. 2008. Tratamiento cuarentenario contra la mosca mediterráneo (*Ceratitis capitata*) en mangos variedad Haden (*Mangífera indica*) con irradiación gamma (Co-60) (tesis de grado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- Pérez, C. 2009. Innovación docente. Infecciones infantiles provocadas por *Escherichia coli*: síndrome urémico hemolítico y otras. *Revista Iberoamericana de educación*, 50(2) 2-5.
- Pino, M. 2018. Pimientos para la industria de alimentos e ingredientes. Boletín. Ministerio de agricultura, Chile.
- Robles, B. 2017. Alimentos irradiados (sus claves y porque no debes tenerles miedo). Recuperado de <https://beatrizrobles.com/irradiacion/>
- Rossi, L., Watson, D., Escandarini, S., Miranda, A. y Troncoso, A. 2009. *La Radiación a la mesa. Infectología al día*, 26(4) 318-330.
- SERNAC-Servicio Nacional del consumidor. 2004. Irradiación de alimentos: Información al consumidor sobre el significado del tratamiento con energía ionizante, Chile
- SIICEX. 2020. Actualidad del pimiento piquillo. Boletín informativo. Recuperado de https://www.siicex.gob.pe/siicex/portal5ES.asp?_page_=172.17100&_portletid_=sfichaproductoinit&scriptdo=cc_fp_init&pproducto=165&pnomproducto=Pimiento
- Staller, M. 2012. Caracterización morfológica, agronómica y de calidad del pimiento y pimentón de la variedad tap de cortí. Tesis de pregrado, Universidad de las Islas Baleares. España. 59-65.
- Suárez, R. 2001. Conservación de alimentos por irradiación. *Revista Invenio*, 85-99.
- Tawiah, B., Tano, K., Kwasi, K. et al. 2019. The role of gamma irradiation and storage at 28 ± 2 °C on the inactivation of *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* and *Salmonella enterica* serotype Typhimurium in sun-dried Legon-18 pepper (*Capsicum annum*) powder. *International Journal of food Contamination*, 6(7).
- Tello, L. (1997). Determinación del crecimiento e índices de madurez en frutos de mango haden (tesis de grado). Universidad Agraria La Molina, Lima. 2-20.

- Thomas, P. y James, H. 2009. Radiation preservation of foods of plant origin. III. Tropical fruits: Bananas, mangoes, and papayas. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 23(2) 147-205.
- Vargas, J.; Vivanco, M.; Maldonado, M.; Linares, M.; Huamanlazo, P. y Quispe, F. 2005. Aplicaciones de la radiación gamma en frutas y hortalizas. Perspectivas agroindustriales para el espárrago peruano. Semantic scholar. Pp. 123-128.
- Yadav, M., Patel, N., Kirtibardhan, y Parmar, M. 2015. Alphonso Mango conservation through exposure to gamma radiation. *African Journal of Food Science*, 9(3) 97-102.
- Yeong, D., Sang, H., Ji-Eun, H., et al. 2016. Construction of Mutation Populations by Gamma-ray and Carbon Beam Irradiation in Chili Pepper (*Capsicum annuum* L.). *Horticultura, medio ambiente y biotecnología*, 57. 606-614.
- Zaragoza, C. 1997). Diversos usos de la fuente de rayos gamma en la UNAM. *Revista Unam*, 8(1) 8-11.