



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Efectos de la irradiación gamma en la calidad del aceite y de la proteína de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.)

Diego Leonardo Díaz Vásquez

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá, Colombia

2016

Efectos de la irradiación gamma en la calidad del aceite y de la proteína de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis L.*)

Diego Leonardo Díaz Vásquez

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Director:

PhD. MSc., Ing. Luis Felipe Gutiérrez Álvarez

Línea de Investigación:

Investigación de Aplicaciones Nucleares y Radiactivas

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá, Colombia

2016

Agradecimientos

El autor agradece al Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y al Servicio Geológico Colombiano por la colaboración y financiación de este proyecto, a las personas que colaboraron en el desarrollo de este trabajo: Jormagn Abril, contratista de Servicio Geológico Colombiano, y Azarías Moreno, miembro del Servicio Geológico Colombiano, quienes realizaron los procesos de irradiación; Zain Sánchez Reinoso, asistente de investigación, y Yolanda Quiñones, laboratorista, quienes ayudaron en la realización de análisis de calidad de los aceites y en el análisis estadístico de los resultados. Finalmente agradecimientos al profesor Luis Felipe Gutiérrez, director del trabajo de investigación, quien acompañó el desarrollo de este trabajo.

Resumen

Semillas de Sacha Inchi Colombianas fueron irradiadas con dosis de 1, 4 y 7 kGy de radiación ionizante gamma, en una fuente semi-industrial de Co-60. Los aceites de las semillas control e irradiadas fueron extraídos a temperatura ambiente, y sometidos a diferentes análisis para evaluar su calidad. La composición en ácidos grasos se determinó por cromatografía de gases, y el estado de oxidación de los aceites se evaluó a través de los índices de peróxidos y p-anisidina, y mediante espectroscopia FTIR. La estabilidad oxidativa de los aceites fue investigada utilizando el método Rancimat. Otros parámetros de calidad como la densidad, los índices de refracción, acidez y saponificación también fueron estudiados. Los resultados obtenidos indicaron que la irradiación gamma, aún a dosis altas, no afecta significativamente la calidad de los aceites obtenidos, lo cual permite utilizar esta tecnología de conservación para prolongar la vida útil de las semillas de Sacha Inchi.

Palabras clave: Radiación ionizante gamma, aceite, Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.), ácidos grasos, estado de oxidación, estabilidad oxidativa.

Abstract

Sacha Inchi seeds from Colombia were irradiated with doses of 1, 4 and 7 kGy of ionizing gamma radiation. The seeds were exposed to a semi-industrial source of Co-60. Oils from control and irradiated seeds were extracted at room temperature for subsequent analysis in order to analyze its quality. Fatty acids profiles were determined by gas chromatography and its oxidation state by peroxide and p-anisidine indexes, and by spectroscopy FTIR. Oxidative stability was investigated by Rancimat method. Other quality parameters like density, refraction, acidity and saponification indexes were also studied. Results shows that gamma irradiation, even at high doses, does not significant effect the quality of the oil obtained, which allows the use of this conservation technology to prolong the shelf life of Sacha Inchi seeds.

Keywords: Gamma irradiation, absorbed dose, Oilseeds, Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis L.*), Fatty acids, oxidation state, oxidative stability

Contenido

	Pág.
Resumen	VIV
Lista de figuras.....	VIII-VII
Lista de tablas	IXI
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	1X
Introducción	3
1. Marco teórico.....	Error! Bookmark not defined.
2. Objetivos.....	Error! Bookmark not defined.
2.1 Objetivo general.....	Error! Bookmark not defined.
2.2 Objetivos específicos.....	Error! Bookmark not defined.
3. Capítulo 3.....	Error! Bookmark not defined.
4. Capítulo (...).....	Error! Bookmark not defined.
5. Conclusiones y recomendaciones.....	19
5.1 Conclusiones	19
5.2 Recomendaciones	19
Bibliografía	21

Lista de figuras

	Pág.
Imagen 1: Semillas empacadas a vacío listas para la irradiación. Fuente: Autor.....	8
Imagen 2: Zona de irradiación del Servicio Geológico Colombiano. Fuente: Autor.....	9
Imagen 3: Elementos utilizados en la dosimetría. a) dosímetros Amber Perspex, b) Instrumentos utilizados en la dosimetría. Fuente: Autor.....	9
Imagen 4: Semilla separada (a) y molida (b) lista para la extracción. Fuente: Autor.....	10
Imagen 5: Proceso de extracción. Fuente: Autor.....	11
Imagen 6: Cromatógrafo de gases Agilent modelo 7890A. Fuente: Autor	11
Imagen 7: Espectrómetro FT/IR-4100. Fuente: Autor	12
Imagen 8: Equipo Rancimat. Fuente: Autor	13
Imagen 9: Espectros obtenidos por FTIR de los aceites de Sacha Inchi obtenidos. Fuente: Autor	16

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1: Contenido de ácidos grasos en los aceites de Sacha Inchi.	15
Tabla 2: Resultados de análisis de calidad y del estado de oxidación de los ASI.	17
Tabla 3: Tiempo de inducción de los aceites obtenidos.	18

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
Gy	Gray	J/kg	Absorción de un julio de energía ionizante por un kilogramo de material irradiado
Å	Ángström	1×10^{-10} m	Unidad de longitud para expresar principalmente longitudes de onda.
Ci	Curie		Unidad de radiactividad

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>SSI</i>	Semillas de Sacha Inchi
<i>ASI</i>	Aceite de Sacha Inchi
<i>FTIR</i>	Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier
<i>IR</i>	Infrarrojo
<i>meq</i>	Miliequivalente

Introducción

En la actualidad el consumo de nueces y semillas alrededor del mundo se ha incrementado, esto debido a que la FDA ha reconocido que el consumo diario de 42 g de nueces puede reducir el riesgo de desarrollar enfermedades cardíacas [1]. Debido a este crecimiento, la industria de alimentos está realizando esfuerzos para controlar la infestación de plagas y la contaminación por mohos de nueces y semillas, evitando así la producción de aflatoxinas, que son metabolitos altamente tóxicos que afectan la vida útil, la calidad y la seguridad de las mismas [2][3]. Para la descontaminación de nueces se están utilizando métodos de tostado, blanqueamientos o tratamientos químicos usando bromuro de metilo u óxido de propileno, cuyo uso ha sido controlado por la FDA desde hace unos años[1][4]. Dado a los cambios en las propiedades organolépticas que los métodos de tostado y blanqueamiento tienen, así como el control en las sustancias utilizadas para realizar tratamiento químicos, se han buscado nuevas tecnologías para hacer un tratamiento efectivo en la reducción de la carga microbiana de mohos, levaduras y patógenos, siendo una de las tecnologías más utilizadas la irradiación gamma.

La irradiación gamma ha sido utilizada desde hace muchos años como un método de esterilización de medicamentos y material orgánico en el campo de la medicina [5] y más recientemente como una herramienta para reducir la carga microbiana de alimentos[6]. El uso de radiación gama en alimentos ha probado ser una tecnología efectiva para la conservación, desinfección y reducción de carga microbiana de distintos alimentos, principalmente alimentos crudos y procesados como lo son frutas, vegetales y cárnicos [7]. La irradiación gamma se ha constituido en un tratamiento efectivo para asegurar la carga microbiana de mohos, levaduras y patógenos, de modo que ha sido considerada como un punto crítico de control y ha sido denominada como como la “pasteurización en frío” [1] [8].

El Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) es una planta de la familia Euphorbiaceae con una gran expansión económica en Centro y Suramérica, así como en algunos países del sureste Asiático, como China, Tailandia y Vietnam. Sus frutos son ricos en aceite (35-60%), proteína (25-30%), aminoácidos esenciales, minerales, y vitamina E, lo cual la hace una planta con gran potencial económico, ya que puede ser utilizado como materia prima en la industria cosmética y farmacéutica, o como alimento funcional, dado su alto contenido de ácidos grasos insaturados, mono y poliinsaturados, pertenecientes a las series de los Omegas 3, 6 y 9 [9].

Actualmente, hay mucha demanda de semillas de Sacha Inchi por parte de mercados internacionales, y la irradiación gamma podría ser un tratamiento efectivo para garantizar la ausencia de presencia de hongos, levaduras y patógenos, que puedan modificar la calidad de las semillas.

El objetivo general de este trabajo fue estudiar por primera vez los efectos de la radiación gamma de las semillas de Sacha Inchi en la calidad de su aceite. Para esto se irradiaron semillas con dosis de 1, 4 y 7 kGy y se compararon distintas características frente a semillas control (no irradiadas). La comparación se hizo respecto a la composición de los aceites obtenidos, así como las características fisicoquímicas y la estabilidad oxidativa de los mismos.

1. Marco teórico

La irradiación gamma puede ser utilizada como un mecanismo de descontaminación de nueces. Esta tecnología es una tecnología no térmica y no química por lo cual presenta ventajas a nivel organoléptico y sensorial.

La radiación gama es un tipo de radiación electromagnética, constituida principalmente por fotones. El rayo gamma al no tener ninguna masa ni ninguna carga, presenta una energía de penetración máxima, siendo más poderosa que la radiación X que también es una radiación electromagnética. Los rayos gamma presentan un mayor poder que la radiación X ya que la longitud de onda de esta es menor (1Å a $1 \times 10^{-3}\text{Å}$) [10].

La radiación absorbida por un cuerpo se mide en *gray* la cual según el diccionario de la lengua española se define como: “Unidad de dosis absorbida de radiación ionizante del sistema internacional, equivalente a una absorción de 1 Julio por kilogramo. (Simb Gy).”

Es conocido que la radiación de alta energía destruye las bacterias y el moho en los alimentos, prologando su vida de almacenaje. Los rayos gamma destruyen los organismos desintegrando las moléculas de ADN dentro de sus células, evitando así la multiplicación de las mismas [11]. Dependiendo de la dosis de irradiación absorbida, se puede hacer el control de distintas organismos, así, la dosis mínima para el control de insectos es mayor que 0.5 kGy, mientras que la dosis mínima necesaria para minimizar el crecimiento de hongos, levaduras y patógenos en nueces es mayor que 5 kGy [12][13].

Los rayos gamma usados en la irradiación de alimentos provienen de la desintegración radiactiva del cobalto-60. A pesar que los rayos gamma son producto de una reacción radiactiva, los alimentos irradiados no se vuelven radiactivos, en adición a esto, los

alimentos no presentan cambios en su valor nutricional y los productos de la descomposición no podrían ocasionar cáncer [11].

El proceso de irradiación de semillas permite un tratamiento homogéneo al interior de la cascara de la semilla, ya que penetra a través de la cascara teniendo un efecto directo sobre toda la superficie de la semilla. El proceso no altera las características generales del producto y además no eleva la temperatura de la semilla (proceso no térmico)[14].

Como se mencionó anteriormente, la radiación gamma puede controlar las plagas y minimizar el crecimiento de hongos, levaduras y patógenos, sin embargo, la irradiación puede promover o inducir reacciones de peroxidación y/o radiólisis lipídicas en semillas y nueces, ya que estas tienen una alta cantidad de ácidos grasos insaturados [14].

La peroxidación lipídica se inicia cuando un átomo de hidrogeno es extraído de un lípido en la posición α de un enlace doble en un ácido graso insaturado. La irradiación acelera la peroxidación lipídica formando radicales libres que reaccionan con oxígeno, rompiendo hidroperóxidos y destruyendo antioxidantes. El proceso termina en productos de oxidación secundaria como lo son aldehídos, alcoholes, cetonas, furanonas, ácidos y lactonas, las cuales contribuyen a los sabores y olores rancios [14]. La radiólisis lipídica se da cuando un ácido graso es separado en una o más de las cuatro posiciones específicas alrededor del grupo carboxilo. Generando radicales libres que se combinan con hidrogeno formando productos estables diferentes al iniciador y aportando características de sabor y olor rancio. Los productos que se obtienen de la radiólisis lipídica son principalmente alquenos y aldehídos [14].

La radiación gamma tiene las siguientes ventajas:

- Permite un tratamiento homogéneo del producto, sin importar la cantidad que se vaya a tratar y en el caso de semillas con cascara, permite el tratamiento directo de la semilla.
- Es una tecnología no térmica, que no requiere de químicos y permite un control efectivo de plagas, así como una minimización en el crecimiento de hongos, levaduras y patógenos.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

El objetivo general de este trabajo fue estudiar por primera vez los efectos de la radiación gamma en dosis de 1, 4 y 7 kGy en las semillas de Sacha Inchi en la calidad de su aceite.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar si hay efectos que tiene la radiación gamma en la composición en ácidos grasos del aceite de las semillas de Sacha Inchi.
- Determinar si hay cambios en el estado de oxidación de los aceites de las semillas irradiadas.
- Determinar si hay un cambio en la estabilidad oxidativa de los aceites.
- Determinar cambios en distintos parámetros de calidad como lo son densidad, índice de refracción, acidez e índice de saponificación.

3. Metodología

El diseño experimental que se realizó fue completamente al azar en bloques, ya que las irradiaciones se realizaron en distintos lotes. Las semillas fueron irradiadas en tres lotes, cada lote con la dosimetría determinada de 1, 4 y 7 kGy por separado.

3.1 Materiales

Se utilizaron semillas de Sacha Inchi (SSI) (*Plukenetia volubilis* L.) Colombianas y las sustancias químicas empleadas para extracción y análisis de aceites fueron de grado analítico adquiridas de Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA).

3.2 Irradiación de las SSI.

600 gramos de semillas fueron irradiadas empacadas al vacío en bolsas de dimensiones 25x20 cm con un grosor de 23 mm aproximadamente como se muestra en la imagen 1.

Imagen 1: Semillas empacadas a vacío listas para la irradiación. Fuente: Autor.



La irradiación se realizó en la planta de irradiación del Servicio Geológico Colombiano en Bogotá, Colombia (imagen 2). La fuente de radiación de la planta es cobalto-60, el cual al momento de la irradiación tenía una radiactividad de 66 kCi y un rango de irradiación promedio de 15.1 ± 0.95 kGy/h en el punto donde se ubicaron las muestras.

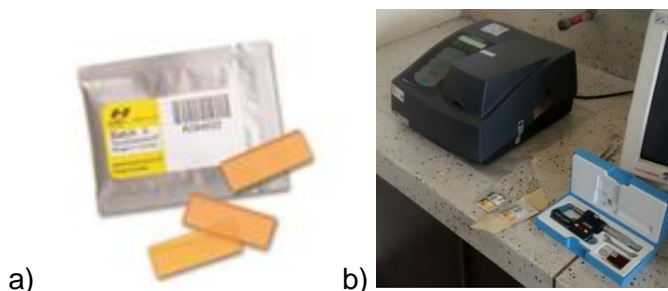
Imagen 2: Zona de irradiación del Servicio Geológico Colombiano. Fuente: Autor.



3.3 Determinación de la dosis absorbida (Dosimetría PMMA)

La dosimetría, por la cual se determinó la dosis de irradiación absorbida, fue calculada utilizando dosímetros de tipo polimetilmetacrilato (PMMA), también conocido como Perspex® comercializados por la empresa Harwell Dosimeters. Para las dosis impartidas, fue necesario utilizar dosímetros Amber Perspex (Imagen 3a), ya que estos son utilizados para medir la dosimetría en los rangos en los cuales se hizo la irradiación.

Imagen 3: Elementos utilizados en la dosimetría. a) dosímetros Amber Perspex, b) Instrumentos utilizados en la dosimetría. Fuente: Autor.



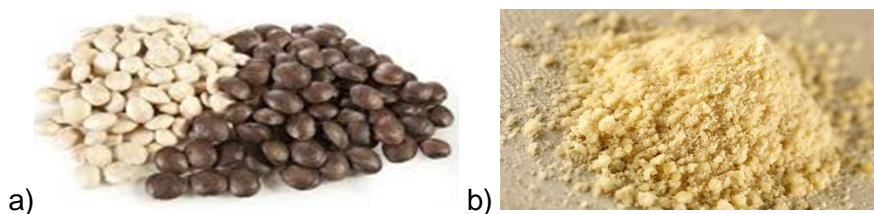
Cada muestra de semillas a irradiar tenía adherida en una esquina un dosímetro Amber Perspex, el cual luego era analizado para determinar la radiación absorbida por la muestra. Para la determinación de la radiación absorbida fueron utilizados un espectrómetro thermo® Genesys 20, utilizado para medir en cambio en la absorbancia del dosímetro, y un calibrador micrométrico NSK Digitrix para asegurar el grosor en milímetros de los dosímetros utilizados (Imagen 3b).

Después de realizada la irradiación de las semillas, estas fueron almacenadas a -40°C hasta el día de la extracción del aceite.

3.4 Extracción del aceite de Sacha Inchi

Se separó la semilla de la cascara de forma manual, luego la semilla obtenida fue molida con un molino doméstico, obteniéndose un sólido fino listo para la extracción (imagen 4).

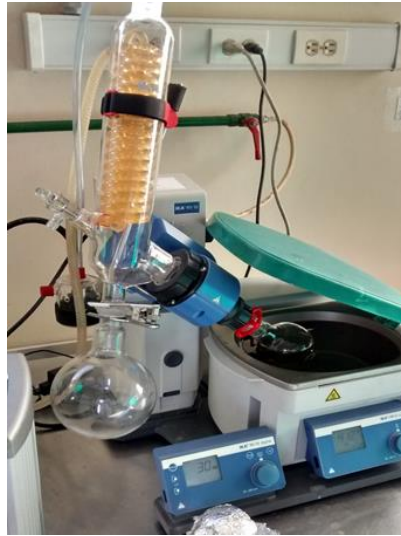
Imagen 4: Semilla separada (a) y molida (b) lista para la extracción. Fuente: Autor.



Se realizó una extracción sólido-líquido para separar el aceite de las semillas molidas, utilizando como solvente éter de petróleo. Se dejó bajo agitación constante durante la noche una mezcla de 200 g de semillas molidas con 400 mL de éter de petróleo. Al día siguiente se filtró la mezcla y se realizó la separación de la mezcla aceite-solvente por rotaevaporación, la cual fue realizada a 50°C y 180 rpm (imagen 4). A la fracción sólida filtrada se le hizo una segunda extracción utilizando 300 mL de éter de petróleo por 2 horas, la cual fue filtrada y rotaevaporada para extraer el aceite.

Los aceites obtenidos fueron almacenados en viales de vidrio color ámbar, a temperatura ambiente y aislados de la luz hasta el día siguiente cuando se realizaron los análisis del estado de oxidación de los aceites.

Imagen 5: Proceso de extracción. Fuente: Autor.



3.5 Contenido de ácidos grasos

La determinación de los ácidos grasos presentes en los aceites obtenidos de las semillas de Sacha Inchi irradiadas se realizó por medio de cromatografía de gases, en un cromatógrafo Agilent modelo 7890A (Santa Clara, CA) (imagen 6).

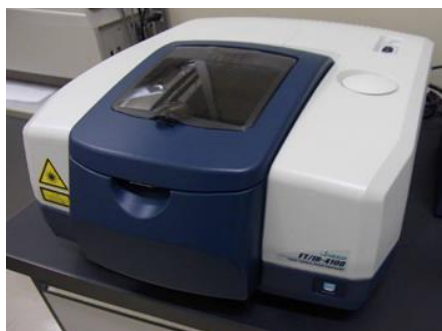
Imagen 6: Cromatógrafo de gases Agilent modelo 7890A.



3.6 Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

El análisis FTIR de los ASI se hizo en un espectrómetro FT/IR-4100 (JASCO, Japón) (imagen 7). Los ensayos fueron realizados a temperatura ambiente y el espectro de los distintos aceites fue analizado en el rango de 4000 a 500 cm^{-1} , con una resolución superior que 4 cm^{-1} a una velocidad de escaneo de 2 mm/s. El espectro fue obtenido a través de un método de celda líquida semi-permanente.

Imagen 7: Espectrómetro FT/IR-4100.



3.7 Análisis de calidad y estado de oxidación de los ASI

Se determinó la densidad, el índice de refracción, el índice de acidez y el valor de saponificación de los aceites obtenidos; el estado de oxidación se determinó por medio del índice de los índices de peróxidos y p-anisidina, y por el valor total de oxidación (TOTOX).

La densidad fue determinada a 25 °C por medio de un picnómetro de acuerdo al método oficial AOAC 9201.212. El índice de refracción, el cual es la relación de la velocidad de la luz en un vacío con la velocidad de la luz en la sustancia, fue tomado a 25°C según el método AOCS Cc 7-25. El índice de acidez se obtuvo siguiendo la metodología AOCS Cd 3d-63. El valor de saponificación, el cual es la cantidad de álcali necesaria para saponificar una cantidad definida de la muestra, fue determinada por el método AOCS Cd 3-25 [15].

Para la determinación del estado de oxidación de los aceites, se hizo un análisis de peróxidos con ácido acético-cloroformo (método AOCS Cd 8-53), el cual determina todas las sustancias (productos de la oxidación del aceite), en términos de miliequivalentes de peróxido por kilogramo de muestra, que oxida el yoduro de potasio bajo las condiciones de prueba [15].

Así mismo se determinó el valor de p-anisidina el cual se define como 100 veces la densidad óptica medida a 350 nm en una cubeta de 1 cm de una solución que contiene 1 g de aceite en 100 mL de mezcla de solvente y reactivo de p-anisidina conforme al método AOCS Cd 18-90 [15]. Como parámetro final del estado de oxidación de los aceites, se calculó el valor total de oxidación (TOTOX), el cual se define como dos veces el índice de peróxidos más el índice de p-anisidina [16].

3.8 Análisis de la estabilidad oxidativa de los ASI

La estabilidad oxidativa de los ASI obtenidos fue determinada por medio del método Rancimat, el cual consiste en inducir la oxidación de los aceites por exposición a temperaturas elevadas y a un flujo de aire determinado. El método permite estimar el tiempo de inducción, el cual es el momento en el cual el aceite deja de permanecer estable, y por tanto es indicativo de pérdida de calidad y vida útil de la muestra [17]. Para este se utilizó un equipo Rancimat 892 professional (Metrohm, Suiza) (imagen 8) empleando un flujo de aire de 20 L/h a una temperatura de 100 ± 1 °C.

Imagen 8: Equipo Rancimat.



4. Resultados y discusión

Las dosis de radiación alcanzada por las semillas fue de 0.00 ± 0.00 kGy (control), 1.33 ± 0.13 kGy (1 kGy), 4.6 ± 0.25 kGy (4 kGy) y 7.73 ± 0.36 kGy (7 kGy).

4.1 Contenido de ácidos grasos

El contenido de ácidos grasos de los aceites obtenidos se muestran en la tabla 1. Como se puede observar, de los resultados obtenidos no hay diferencias significativas en el contenido de ácidos grasos entre los aceites obtenidos de semillas las irradiadas y el aceite de las semillas control, donde los ácidos grasos insaturados representan aproximadamente el 93% del total de ácidos grasos; siendo ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) (linoleico y Linolénico) $83.46 \pm 0.25\%$, ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) (oleico) el $9.50 \pm 0.19\%$, y ácidos grasos saturados (SFA) (palmítico y esteárico) solo el $7.03 \pm 0.15\%$. Los resultados obtenidos son similares a aquellos obtenidos por Fanali et al. (2011) quien reportó valores de 83% PUFA, 9% MUFA y 7% SFA [18], por Gutiérrez et al. (2011) con valores de 84.2% PUFA, 9.1% MUFA y 6.8% SFA [9], y por Cisneros et al. (2014) con valores de 82.3% PUFA, 8,9% MUFA y 8% SFA [19].

Tabla 1: Contenido de ácidos grasos en los aceites de Sacha Inchi.

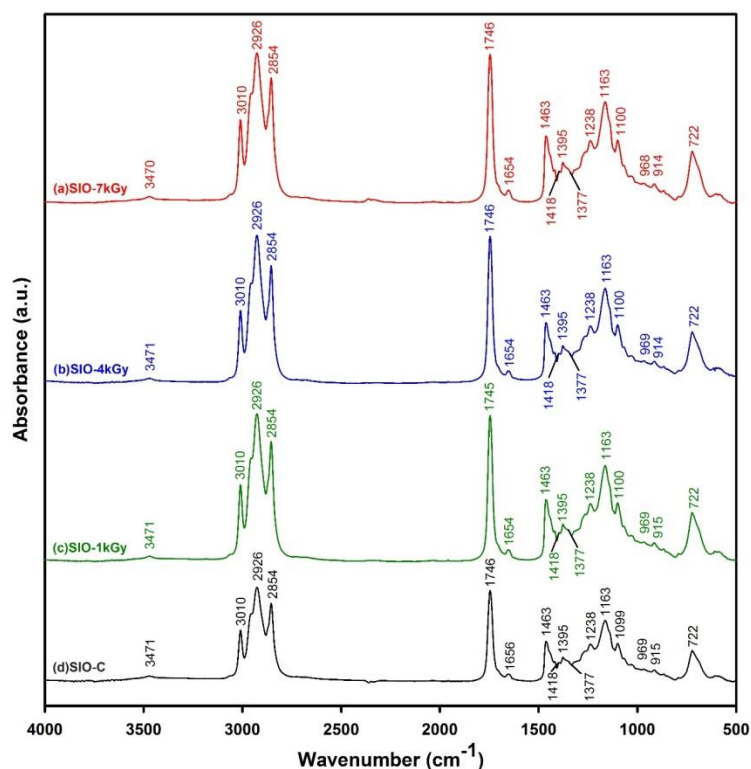
Contenido de ácidos grasos %				
Ácido graso	Control	SIO 1 kGy	SIO 4 kGy	SIO 7 kGy
C16:0 (Palmítico)	4.34 ± 0.10	4.39 ± 0.03	4.55 ± 0.50	4.20 ± 0.06
C18:0 (Esteárico)	2.63 ± 0.04	2.75 ± 0.08	2.63 ± 0.08	2.65 ± 0.04
C18:1 (Oleico)	9.45 ± 0.01	9.78 ± 0.45	9.33 ± 0.10	9.47 ± 0.15
C18:2 (Linoleico)	35.58 ± 0.39	35.87 ± 0.21	35.37 ± 0.25	35.62 ± 0.48
C18:3 (Linolénico)	48.03 ± 0.25	47.23 ± 0.54	48.12 ± 0.25	48.03 ± 0.53

Los resultados obtenidos muestran que la irradiación no genera un cambio en la composición de los ácidos grasos presentes en el aceite de Sacha Inchi. Sin embargo, es conocido que la irradiación de alimentos forma radicales hidroxilo, los cuales generan la oxidación lipídica generando un cambio en la composición de ácidos grasos [20]. Así mismo, hay estudios que demuestran que la irradiación gamma genera una disminución en los ácidos grasos monoinsaturados mientras que los ácidos grasos saturados aumentan [21]. Por otra parte, se encontró que en aceites de semillas de pino, la irradiación gama en dosis entre 0.5 y 5 kGy no presenta ningún efecto en la composición de ácidos grasos [22].

4.2 Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

Los resultados del FTIR (imagen 9) muestran que no hay diferencia apreciable en los espectros obtenidos. Dichos espectros coinciden con el presentado por Guillen et al. (2013) [23].

Imagen 9: Espectros obtenidos por FTIR de los aceites de Sacha Inchi obtenidos.



Los picos obtenidos entre las longitudes de onda de 3500 cm^{-1} y 2800 cm^{-1} , en los espectros presentados en la imagen 9, indican la alta porción de grupos acilo poliinsaturados presente en los aceites. De forma similar, los picos que se encuentran entre 1800 cm^{-1} y 900 cm^{-1} , están relacionados con el grado de insaturación de los aceites [23].

Los espectros obtenidos confirman los resultados obtenidos por la cromatografía de gases, mostrando que la radiación gamma en dosis entre 1 kGy y 7 kGy no tiene un efecto sobre la composición de los ácidos grasos de los aceites.

4.3 Análisis de calidad y estado de oxidación de los ASI

Los resultados de calidad y estado de oxidación de los aceites de semilla de Sacha Inchi obtenidos se presentan en la tabla 2. La densidad de los aceites fue medida a 25 °C y se encuentra en el rango entre 0.894 y 0.915 g/cm^3 , se observa que no hay una relación entre el aumento de la densidad y el aumento de la radiación. El índice de refracción fue determinado a temperatura de 25 °C y no se encontró variaciones en los resultados, encontrándose valores entre 1.473 y 1.476 . Los resultados obtenidos concuerdan los estudios anteriores, los cuales no encontraban diferencias significativas entre los parámetros de densidad e índice de refracción de aceites provenientes de semillas de almendra irradiadas y no irradiadas [24].

Tabla 2: Resultados de análisis de calidad y del estado de oxidación de los ASI.

Propiedad	Tratamiento			
	Control	SIO 1 kGy	SIO 4 kGy	SIO 7 kGy
Densidad a 25 °C (g/cm^3)	0.903 ± 0.013	0.895 ± 0.000	0.894 ± 0.019	0.915 ± 0.008
Índice de refracción a 25 °C	1.475 ± 0.003	1.475 ± 0.002	1.474 ± 0.001	1.475 ± 0.002
Valor de Saponificación (mg KOH g^{-1})	265.73 ± 78.99	274.37 ± 85.85	254.80 ± 52.35	270.26 ± 52.37
Valor de acidez (%)	0.20 ± 0.18	0.54 ± 0.20	0.49 ± 0.12	0.45 ± 0.39
Índice de peróxidos ($\text{meq O}_2\text{ Kg}^{-1}$)	1.43 ± 0.89	2.00 ± 1.25	1.80 ± 1.11	2.06 ± 1.60
Índice de p-Anisidina	0.78 ± 0.25	0.83 ± 0.17	0.83 ± 0.30	0.93 ± 0.13
TOTOX	3.64 ± 1.54	4.83 ± 2.43	4.42 ± 2.04	5.06 ± 3.20

El valor de acidez de los aceites indica que los aceites obtenidos son aceites extra vírgenes, según la norma técnica peruana 151.400, ya que para sachá inchi se considera un aceite extra virgen si el valor de acidez es menor al 1% [25]. El índice de peróxidos también se encuentra por debajo del máximo establecido en la norma peruana (<10 meq O₂/Kg). Sin embargo, los valores de saponificación se encuentran por encima de la norma técnica mencionada, siendo el máximo permitido 199 mg KOH/g). Si bien el valor de saponificación se encuentra por encima de los valores requeridos, todos los aceites, incluido el control, presentaron este comportamiento. Algunos estudios sugieren que el valor de saponificación de los aceites incrementa respecto a la irradiación, indicando que grandes moléculas de los ácidos grasos presentes en los aceites se degradan en pequeñas moléculas como resultado de la oxidación [13][24].

Los resultados del estado de oxidación como índice de peróxidos, p-anisidina y TOTOX, no presentaron variación entre sí. Algunos estudios indican que la irradiación tiene un efecto negativo en el índice de peróxidos, ya que este incrementa cuando se incrementa la irradiación [26][2]. Los resultados del índice de p-anisidina están en concordancia con aquellos reportados por Jan et al (1988), quien no encontró cambios en este índice tras la irradiación de nueces a 0.5 y 1.0 kGy [27]. Los valores de p-anisidina y TOTOX de los aceites, indican que son aceites de buena calidad ya que se encuentran por debajo de 2 y 10, respectivamente [28].

4.4 Análisis de la estabilidad oxidativa de los ASI

Los resultados de estabilidad oxidativa presentados en la tabla 3, no presentan una diferencia significativa. Los resultados obtenidos en este estudio son significativamente mayores que aquellos presentados por Chasquibol et al. (2014) (tiempo de inducción de 2-3.4 h a 100°C y un flujo de aire de 20 L/h) [29]. Existen estudios que muestran una correlación negativa entre estabilidad oxidativa y la dosis de irradiación; por ejemplo, la radiación gama disminuye el tiempo de inducción del aceite de maní [26][30]

Tabla 3: Tiempo de inducción de los aceites obtenidos.

	Tratamiento			
	Control	1 kGy	4 kGy	7kGy
Tiempo de inducción (h)	9.43	9.32	8.16	9.14

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Este estudio muestra que la irradiación gamma en dosis de 1, 4 y 7 kGy en semillas de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) puede ser usada como una tecnología de conservación para la preservación del aceite de Sacha Inchi en sus semillas, debido a que no se vio un efecto en la calidad del aceite.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda hacer un estudio de análisis de vida útil de los aceites obtenidos tras la irradiación de semillas, así como un análisis sensorial para determinar variaciones en el color, olor y sabor de los aceites.

Bibliografía

- [1] A. Prakash, "Chapter 17 IRRADIATION OF NUTS," in *Food Irradiation Research and Technology*, Second., X. Fan and C. H. Sommers, Eds. Orange, USA: Blackwell Publishing and the Institute of Food Technologists, 2013.
- [2] U. Gecgel, T. Gumus, M. Tasan, O. Daglioglu, and M. Arici, "Determination of fatty acid composition of g-irradiated hazelnuts, walnuts, almonds, and pistachios," *Radiat. Phys. Chem.*, vol. 80, no. 4, pp. 578–581, 2011.
- [3] M. Al-Bachir, "Quality characteristics of oil extracted from gamma irradiated peanut (*Arachis hypogea* L.)," *Radiat. Phys. Chem.*, vol. 106, pp. 56–60, 2015.
- [4] G. Wilson-Kakashita, D. L. Gerdes, and W. R. Hall, "The effect of gamma irradiation on the quality of English walnuts (*Juglans regia*)," *Leb. Technol.*, vol. 28, no. 1, pp. 17–20, 1995.
- [5] F. Of, S. Traditional, and M. B. Y. Gamma-irradiation, "Pergamon FEASIBILITY OF STERILIZING TRADITIONAL CHINESE MEDICINES BY GAMMA-IRRADIATION EVALUATION OF T-IRRADIATION," *Science (80-.)*, vol. 52, pp. 53–58, 1998.
- [6] M. K. Dogbevi, C. Vachon, and M. Lacroix, "Effect of gamma irradiation on the microbiological quality and on the functional properties of proteins in dry red kidney beans (*Phaseolus vulgaris*)," *Radiat. Phys. Chem.*, vol. 57, pp. 265–268, 2000.
- [7] S. Z. Iqbal, I. A. Bhatti, M. R. Asi, M. Zuber, M. Shahid, and I. Parveen, "Effect of γ irradiation on fungal load and aflatoxins reduction in red chillies," *Radiat. Phys. Chem.*, vol. 82, no. 1, pp. 80–84, 2013.
- [8] R. a. Molins, Y. Motarjemi, and F. K. Käferstein, "Irradiation: A critical control point in ensuring the microbiological safety of raw foods," *Food Control*, vol. 12, pp. 347–356, 2001.
- [9] L. F. Gutiérrez, L. M. Rosada, and Á. Jiménez, "Chemical composition of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and characteristics of their lipid fraction,"

- Grasas y Aceites*, vol. 62, no. 1, pp. 76–83, 2011.
- [10] D. Vasudevan, S. Sreekumari, and K. Vaidyanathan, “Cap 53. Aplicaciones de isótopos en Medicina,” in *Texto de Bioquímica*, 2011, p. 594.
- [11] D. Ebbing and S. D. Gammon, “Cap 7. Teoría cuántica del átomo,” in *Química general*, 2010, p. 270.
- [12] V. Di Stefano, R. Pitonzo, A. Bartolotta, M. C. D’Oca, and P. Fuochi, “Effects of γ -irradiation on the α -tocopherol and fatty acids content of raw unpeeled almond kernels (*Prunus dulcis*),” *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 59, no. 1, pp. 572–576, 2014.
- [13] I. A. Bhatti, S. Ashraf, M. Shahid, M. R. Asi, and S. Mehboob, “Quality index of oils extracted from γ -irradiated peanuts (*Arachis hypogaea* L.) of the golden and bari varieties,” *Appl. Radiat. Isot.*, vol. 68, no. 12, pp. 2197–2201, 2010.
- [14] A. Prakash, “Irradiation of Nuts,” *Food Irradiat. Res. Technol. Second Ed.*, pp. 317–336, 2012.
- [15] M. Oficiales, “AOCS,” pp. 1–235, 2013.
- [16] A. M. O. Rauen, W. Esteves, and D. Barrera, “Determinación del período de inducción de aceite de soja - Correlación entre el Rancimat y otros índices,” *Grasas y aceites*, vol. 43, no. 3, pp. 119–122, 1992.
- [17] L. M. Paucar, “Estabilidad a la oxidación de grasas y aceites por el Método Rancimat,” *Univ. Nac. del St.*, pp. 1–17, 2011.
- [18] C. Fanali *et al.*, “Chemical characterization of Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil,” *J. Agric. Food Chem.*, vol. 59, no. 24, pp. 13043–13049, 2011.
- [19] F. H. Cisneros, D. Paredes, A. Arana, and L. Cisneros-Zevallos, “Chemical composition, oxidative stability and antioxidant capacity of oil extracted from roasted seeds of Sacha-inchi (*Plukenetia volubilis* L.),” *J. Agric. Food Chem.*, vol. 62, no. 22, pp. 5191–5197, 2014.
- [20] H. Yalcin, I. Ozturk, M. Hayta, O. Sagdic, and T. Gumus, “Effect of Gamma-Irradiation on Some Chemical Characteristics and Volatile Content of Linseed,” *J. Med. Food*, vol. 14, no. 10, pp. 1223–1228, 2011.
- [21] S. F. Mexis, A. V. Badeka, E. Chouliara, K. A. Riganakos, and M. G. Kontominas, “Effect of γ -irradiation on the physicochemical and sensory properties of raw unpeeled almond kernels (*Prunus dulcis*),” *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 10, no. 1, pp. 87–92, 2009.

- [22] E. Gölge and G. Ova, "The effects of food irradiation on quality of pine nut kernels," *Radiat. Phys. Chem.*, vol. 77, no. 3, pp. 365–369, 2008.
- [23] M. D. Guillen, A. Ruiz, N. Cabo, R. Chirinos, and G. Pascual, "Characterization of sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil by FTIR spectroscopy and ¹H NMR. Comparison with linseed oil," *J. Am. Oil Chem. Soc.*, vol. 80, no. 8, pp. 755–762, 2003.
- [24] I. A. Bhatti, M. Lqbal, F. Anwar, S. A. Shahid, and M. Shahid, "Quality characteristics and microbiological safety evaluation of oils extracted from gamma irradiated almond (*Prunus dulcis* Mill.) seeds," *Grasas y aceites*, vol. 64, no. 1, pp. 68–76, 2013.
- [25] INDECOPI, "NTP 151.400 Aceite de Sacha Inchi." 2009.
- [26] M. Arici, F. Arslan Colak, and Ü. Gecgel, "Effect of gamma radiation on microbiological and oil properties of black cumin (*Nigella sativa* L.)," *Grasas y Aceites*, vol. 58, no. 4, pp. 339–343, 2007.
- [27] M. Jan, J. Farkas, D. I. Langerak, T. G. Wolters, H. J. V. D. Kamp, and B. G. Muuse, "The effect of packaging and storage conditions on the keeping quality of walnuts treated with disinfestation doses of gamma rays," *Acta Aliment.*, vol. 17, no. 1, pp. 13–31, 1988.
- [28] D. Moigradean, M.-A. Poiana, and I. Gogoasa, "Quality Characteristics and Oxidative Stability of Coconut Oil During Storage," *J. Agroaliment. Process. Technol.*, vol. 18, no. 4, pp. 272–276, 2012.
- [29] N. A. Chasquibol *et al.*, "Characterization of glyceridic and unsaponifiable compounds of Sacha inchi (*Plukenetia huayllabambana* L.) oils," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 62, no. 41, pp. 10162–10169, 2014.
- [30] A. C. de Camargo, T. M. F. de Souza Vieira, M. A. B. Regitano-D'Arce, S. M. de Alencar, M. A. Calori-Domingues, and S. G. Canniatti-Brazaca, "Gamma radiation induced oxidation and tocopherols decrease in in-shell, peeled and blanched peanuts," *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 13, no. 3, pp. 2827–2845, 2012.