

Efecto de la radiación gamma en las propiedades químicas y capacidad antioxidantes de la chía (*Salvia hispánica* L.)

Effect of gamma radiation on the chemical properties and antioxidant capacity of chia (*Salvia hispánica* L.)

Isidro Ccanque pacco*, Kevin Reátegui Ochoa, Natalia Vega, Marcial Silva Jaimes

Laboratorio de Microbiología de Alimentos, Facultad de Industria Alimentarias,
Universidad Nacional Agraria La Molina – UNALM, Av. La Molina S/n, Lima, Perú
*isidroccanque.88@gmail.com

Resumen

Este estudio evaluó las propiedades químicas y capacidad antioxidantes de la chía (*Salvia hispánica* L.) irradiadas con rayos gamma en cuadro dosis (0, 4, 7 y 10 kGy). Los parámetros evaluados fueron el índice de peróxido y *p*-anisidina, contenido de ácidos grasos, contenido de fenólico total y capacidad antioxidante hidrofílico y lipofílico. Se encontraron leves aumentos en los productos de la autooxidación de lípidos (peróxido y *p*-anisidina) encontrándose muy por debajo de los límites máximos permitidos, la composición de los ácidos grasos poliinsaturados no se vio afectado y se vio un ligero aumento en los valores del contenido de fenólico total y capacidad antioxidante hidrofílico, en la fracción lipofílico no se vio diferencia significativa. Con estos resultados obtenidos podría recomendarse la irradiación de semillas de chía a una dosis de 4 kGy.

Palabras claves: chía, irradiación gamma, ácidos grasos, capacidad antioxidante.

Summary

This study evaluated the chemical properties and antioxidant capacity of the chia (*Salvia hispánica* L.) irradiated with gamma rays in dose table (0, 4, 7 and 10 kGy). The parameters evaluated were the peroxide and *p*-anisidine index, fatty acid content, total phenolic content and hydrophilic and lipophilic antioxidant capacity. Slight increases were found in the products of the autooxidation of lipids (peroxide and *p*-anisidine) being well below the maximum limits allowed, the composition of the polyunsaturated fatty acids was not affected and there was a slight increase in the values of total phenolic

content and hydrophilic antioxidant capacity, no significant difference was seen in the lipophilic fraction. With these results, the irradiation of chia seeds at a dose of 4 kGy could be recommended.

Keywords: chia, gamma irradiation, fatty acids, antioxidant capacity.

1. Introducción

La chía (*Salvia hispanica* L.) es una herbácea originaria de Mesoamérica, específicamente nativa de las áreas montañosas del oeste y centro de México (Beltrán-Orozco y Romero 2003; Cahill 2004), pertenece a la familia limiaceae y en últimos años la producción mundial proviene de Australia, Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia y Paraguay (Busilacchi et al., 2013). El consumo de chía sea diversificado, en el mercado podemos encontrar diferentes productos que contienen en su composición chía en sus diferentes formas. Esta semilla es apreciada por sus características nutricionales, contiene Humedad (5.82 g/100g), ceniza (4.07 g/100g), proteína (25.32 g/100g), lípidos (30.22 g/100g), carbohidratos (34.57 g/100g) y fibra dietética total (37.07 g/100g) (Marineli et al. 2014), dentro de su alto contenido de lípidos, la chía es muy apreciada por la presencia del ácido α -linolénico (ALA) hasta 680 g/kg de aceite de chía y esta es usada como un recurso para asegurar la presencia de este ácido graso esencial en formulaciones de los diversos alimentos (Ixtaina et al. 2011 y Sandoval-Oliveros y Paredes-López 2013). También se encontraron compuestos bioactivos como tocoferoles y compuestos fenólicos (Capitani et al. 2012; Marineli et al. 2014; Porrás-Loaiza et al., 2014), muchos de los compuestos bioactivos están relacionados con la salud del consumidor, podría reducir el riesgo de algunas enfermedades como las cardiovasculares o cierto tipo de cáncer (Ayerza y Coates 2004; Coelho y Salas-Mellado 2014).

La chía tiene grandes potenciales, sin embargo, la calidad higiénica de estas semillas es tan importante como sus propiedades y siempre será preocupación de los consumidores, como también de quienes lo utilizan como materia prima o como ingrediente de alguna formulación alimenticio. En ese contexto existe la necesidad de tecnologías de descontaminación que garanticen la inocuidad de estas semillas. La irradiación es un método físico que consiste en exponer los alimentos a una fuente de radiación, con esto se logra reducir la carga microbiana y prolongar la vida útil de los alimentos. Diversos factores afectan en la efectividad de este método como la humedad, características del

alimento, temperatura, presencia o ausencia de oxígeno, entre otros. Por ser un método no térmico, no se ve afectada la calidad sensorial del producto, se considera un proceso seguro, energéticamente eficiente y ambientalmente seguro. Sin embargo, los rayos gamma tienen suficiente energía como para desalojar electrones, provocando la excitación de las moléculas o átomos, generando radicales libres, rompiendo los enlaces químicos y dañando las moléculas involucradas en los procesos celulares ((Mahapatra *et al.* 2005; Jeong y Jeong 2017). Los resultados sobre el efecto de la irradiación sobre las propiedades fisicoquímicas en las semillas, nueces y aceites de estos son contradictorios, y dependerá de la matriz a irradiar, dosis a irradiar y tipo. Se recomienda realizar investigación para cada tipo de producto ya que la generalización podría llevar a una conclusión errónea (Prakash, 2012). Teniendo en cuenta el aumento del consumo de chía y de su aceite, se podría aplicar la irradiación para su conservación, en ese sentido el objetivo de este estudio fue ver los efectos de la radiación gamma en las propiedades microbiológicas, químicas y antioxidantes de la chía.

2. Materiales y métodos

2.1. Materiales

La semilla de chía fue procedente del departamento de Cajamarca-Perú. Se realizó una selección y limpieza manual con ayuda de tamiz para separar partículas extrañas y las semillas dañadas. Se envasaron en bolsas de polietileno en unidades experimentales de 300 g y se dividieron en cuatro grupos, uno de ellos se eligió como control (kGy). Todos los reactivos utilizados en los análisis fueron de grado analítico y se adquirieron de Sigma-Aldrich (St. Louis, Mo, EE.UU).

2.2. Irradiación de semillas de chía

Las semillas de chía se irradiaron en un Irradiador Gamma circular (Gammacell 220, C-198) en IPEN (Instituto Peruano de Energía Nuclear) con una fuente de cobalto 60 a una tasa de dosis de 1,666667 kGy/h. Se colocaron 300 g de semilla de chía en un cilindro cerrado de 20,47 cm. de altura y 15,49 cm. de diámetro para someterlos a dosis de 4, 7 y 10 kGy en empaques de polietileno, se irradiaron a condiciones ambientales.

2.3. Composición proximal

La fibra cruda, los lípidos totales por el método Soxhlet, proteínas por Kjeldahl, las cenizas se cuantificaron por incineración en horno mufla, la humedad por el método gravimétrico a 105 °C se determinaron como lo describe la Asociación de Químicos Analíticos (AOAC, 1990). Los carbohidratos se calcularon por diferencia.

2.4. Extracción del aceite

La extracción se realizó a temperatura ambiente a través de una prensa hidráulica. El aceite extraído se centrifugó a 400 ppm por 15 min, luego fue almacenado en frascos oscuros a 4 hasta su uso.

2.5. Productos de autooxidación de lípidos

2.5.1. Índice de peróxido

Se determinó de acuerdo con método de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, 1990), que se fundamenta en la oxidación del yodo que está presente en el yoduro de potasio con el peróxido presente en la muestra. Los resultados se expresaron como meq peróxido/kg de aceite.

2.5.2. Índice de p-anisidina

El valor de p-anisidina (p-AV) se determinó de acuerdo con los métodos recomendados por Unión internacional de Química Pura Aplicada (IUPAC, 1987), que se basa en la reacción de los aldehídos presente en la muestra con la anisidina, generando productos que absorben la luz a 350 nm.

2.6. Contenido y composición de ácidos grasos

La composición de los ácidos grasos (FAs) se identificó y cuantificó mediante cromatografía de gases según el método adaptado de Chirinos et al. (2015). Los FAs de las muestras de aceite de chía se convirtieron en ésteres metílicos (FAMEs). Los FAMEs se separaron inyectando 1 µL de la solución en un GC-2010 Plus Shimadzu (Kyoto, Japón) equipado con un detector de ionización de llama FID-2010 y un autoinyector AOC-20i. La columna utilizada fue una Zebron ZB-FAME (Phenomenx, PA) (0.15 µm,

20 m x 0.18mm ID). La temperatura del horno se programó de la siguiente manera: inicialmente, la temperatura era de 80 °C (durante 1,5 min), luego aumentó: a 160 °C a 40 °C /min, a 185 °C a 6 °C/min, a 260 °C a 18 °C/min y hubo un período isotérmico de 2 min a 260 °C. Las temperaturas del inyector y del detector se fijaron a 250 y 260 °C, respectivamente. Se utilizó helio de alta pureza como gas portador. Los FAMES se identificaron y cuantificaron comparando sus tiempos de retención con los estándares conocidos previamente inyectados. Los resultados se expresaron como porcentaje de ácido graso.

2.7. Contenido fenólico total

Se realizó una extracción metanólica como lo indica Oliveira-Alves (2017) con modificaciones. Se pesó un 1 g de harina de chíá previamente desengrasado se extrajo con 10 ml de solución de metanol: agua (80:20, v/v), después de agitar por un tiempo de 10 s en un vórtex (vortex Genie 2, Scientific Industries, Inc), las muestras se colocaron inmediatamente en un baño de ultrasonido (Lab Compasion Ultrasonic Cleaner, UCS-05), la extracción se realizó a 40 kHz de frecuencia de ultrasonido y 120 W de potencia durante 30 minutos. Pasado el tiempo en el ultrasonido las muestras se centrifugaron (Heal Force, Neofuge 18 R) a 4000 rpm por 15 minutos a 4 °C, el sobrenadante se almacenó en -20 °C hasta su análisis.

El contenido de compuestos fenólicos fue determinado mediante el método Folin-Ciocalteu como lo indica Müller et al. (2010). Se mezclaron 20 µL del extracto con 100 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu diluido en agua (1:10, v/v) se dejó reaccionar por 3 minutos, luego se adicionó 75 µL de solución de carbonato de sodio (75 g/L) en pocillos de una microplaca de 96 pocillos. Se dejó reaccionar durante 2 h en oscuridad a temperatura ambiente, posteriormente se midió la absorbancia a 740 nm usando espectrofotómetro de lector de microplacas ((PowerWave XS2, Biotek, USA). El ácido gálico se utilizó para la curva estándar y el agua como blanco, los resultados se expresaron en términos de equivalente de ácido gálico (GAE) en mg/g. Todas las mediciones se realizaron por triplicado para cada muestra.

2.8. Capacidad antioxidante hidrofílica y lipofílica

Para la extracción se siguió como lo indica Chirinos et al. (2013) con modificación, para acelerar la extracción se usó el baño ultrasónico como se explica en el punto 2.7. En resumen se extrajo 1 g de harina de chía con 10 ml de metanol: agua (80:20, v/v) (fracción hidrofílica) y luego con 10 ml de diclorometano (fracción lipofílica). Las dos fracciones se centrifugaron a 4000 rpm durante 10 min y se almacenaron a -20 hasta su análisis. La capacidad antioxidante se determinó por método ABTS como lo describe Chirinos et al. (2013).

3. Resultado y discusión

3.1. Composición proximal

La tabla 1 muestra la composición de la semilla de chía (base seca). La composición proximal de las semillas de chía para este estudio consistió en humedad $7.65 \pm 0.10\%$, ceniza $5.26 \pm 0.21\%$, lípidos $34.29 \pm 0.00\%$, proteína $23.08 \pm 0.20\%$, fibra $17.47 \pm 0.24\%$ y carbohidrato por diferencia $12.25 \pm 0.15\%$. Estos valores son similares a lo obtenido por Da Silva et al. (2017), Sandoval-Oliveros y Paredes-López (2012). Las diferencias en algunos valores puede ser por efecto de diversos factores ambientales como temperatura, humedad, tipo de suelo, luz, condiciones y nutrición del suelo, tal como lo indican Da Silva et al. (2017) y Ayerza (h) (2009).

Tabla 1. Composición proximal de semillas de chía

Componente (%)	Chía (b.s)
Humedad	7.65 ± 0.10
Ceniza	5.26 ± 0.21
Lípidos	34.29 ± 0.00
Proteína ^b	23.08 ± 0.20
Fibra	17.47 ± 0.24
Carbohidrato ^a	12.25 ± 0.15

Datos expresados en base seca (b.s)

Promedio \pm SD de tres repeticiones.

^a Contenido de carbohidratos calculado por diferencia.

^b Proteína (N x 6.25)

3.2. Productos de autooxidación lipídica

3.2.1. Índice de peróxido

Los resultados obtenidos para las muestras sin tratar es de 1.68 mEq peróxido/kg de aceite de chía, similar al valor reportado por Imran et al. (2016) (1.8 mEq peróxido/kg), Marineli et al. (2014) para chía de Chile (2.56 mEq peróxido/kg), Ixtaina et al. (2012) para chía de Argentina (1.0 mEq peróxido/kg), además, es similar al aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia huayllabambana*) (1.83 meq. O₂/kg), inferior del aceite de la especie *Plukenetia volubilis* (2.90 meq. O₂/kg) (Chirinos et al. 2015) y aceite de linaza con un promedio de 6.53 meq O₂/kg Khattab y Zeitoun (2013). La calidad química del aceite obtenido en este estudio es aceptable, ya que está muy por debajo de los límites recomendados por el Codex Alimentario (Codex Alimentarius, 1999), que establece para los aceites obtenidos por prensa en frío un máximo de 15 meq O₂ /kg de aceite. Además tenemos que recordar que la determinación del índice de peróxido es el ensayo que generalmente se utiliza para determinar los productos de la oxidación primaria (hidroperóxidos) (Matthäus 2010).

Tabla 2. Índice de peróxido del aceite obtenido a partir de chía irradiada a diferentes dosis

Dosis de irradiación	Índice de peróxido (meq de peróxido/kg de aceite de chía) ^{1,2}
0 kGy	1.68 ± 0.04 ^c
4 kGy	2.06 ± 0.16 ^{bc}
7 kGy	2.53 ± 0.28 ^b
10 kGy	3.52 ± 0.43 ^a

¹ Promedio ± SD de tres repeticiones

² Valores seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes (p>0.05).

La tabla 2 muestra el incremento del índice de peróxido con el incremento de la dosis de irradiación a las semillas de chía, existiendo diferencia significativa (p < 0.05). Los valores de índice de peróxido variaron desde 1.68 meq de peróxido/kg de aceite en muestras sin tratar, hasta 3.52 meq de peróxido/kg de aceite en muestras tratadas con 10 kGy, sin embargo, los valores de peróxido están por debajo de los límites recomendados por el Codex Alimentario. En las diferentes investigaciones revisadas podemos encontrar más de una tendencia en los valores de peróxido por efecto de la irradiación. Gutiérrez et al. (2017) y Koç Güler et al. (2017) no vieron diferencia significativa. Por otro lado, Ma

et al. (2013) Anwar et al. (2015) y Nemțanu y Brașoveanu (2016), observaron el incremento, en contraste Al-Bachir (2015), observó la disminución del valor de peróxido. El aumento del valor de peróxido podría deberse a la oxidación y la excisión en los enlaces en los aceite (Bhatti et al. 2010).

3.2.2. Índice de p-anisidina

El índice *p*-anisidina (*p*-An) es uno de los métodos más usados para medir los productos de la oxidación secundaria, principalmente los aldehídos, formados por la degradación de los hidroperóxidos ya que estos son muy inestables (Matthäus 2010). El índice de *p*-An obtenido para las muestras sin tratar es de 0.99, resultado similar a lo reportado por Ixtaina et al. (2012) para chía de Argentina de 0.3, Guiotto et al. (2014) encontró un valor de 0.5, está dentro del rango 0.53 a 14.59 reportado por Dąbrowski et al. (2018) para chía de diferentes orígenes. Por otro lado, es inferior al promedio de 1.65 para aceite de linaza reportado por Khattab y Zeitoun (2013) y superior a 0.21 y 0.29 para sachá inchi *Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis* respectivamente, reportado por Chirinos et al. (2015). Para el límite del valor de *p*-An en los aceites aún no existe norma oficial, sin embargo, como regla general consideran aceites refinado de buena calidad con valores menores de 10 (Matthäus 2010). En ese sentido el valor obtenido este estudio está muy por debajo a lo mencionado.

Tabla 3. Índice de *p*-anisidina del aceite obtenido a partir de chía irradiadas a diferentes dosis

Dosis de irradiación	Índice p-anisidina ^{1,2}
0 kGy	0.99 ± 0.02 ^b
4 kGy	0.86 ± 0.05 ^b
7 kGy	1.18 ± 0.06 ^a
10 kGy	1.22 ± 0.10 ^a

¹ Promedio ± SD de tres repeticiones

² Valores seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

La *p*-An se incrementa ligeramente conforme aumenta la dosis de irradiación, existiendo diferencia significativa ($p < 0.05$). Los valores variaron desde 0.86 hasta 1.22 (tabla 3), la tendencia de los resultados es la que se esperaba, sin embargo, entre las muestras no tratadas y las irradiadas a 4 kGy no existe diferencia significativa ($p > 0.05$). En otras investigaciones reportaron similar comportamiento en el valor *p*-An por efecto de la

irradiación. Iqbal et al. (2016), indicaron el incremento de p-An conforme aumenta la dosis de irradiación en la nuez de nogal, obteniéndose diferencia significativa de 6 a 10 kGy, al igual que Yaqoob et al. (2010), observó un incremento con el aumento de la dosis de irradiación. Por lado, Gutiérrez et al. (2017), notaron ligero aumento del valor p-An en el aceite de sacha inchi irradiadas a diferentes dosis, sin embargo este incremento no fue significativo con respecto a la muestra control.

3.3. Contenido y composición de ácidos grasos

Los principales ácidos grasos saturados (SFAs) fueron el ácido palmítico y el esteárico, mientras que los monoinsaturados (MUFAs) fueron el ácido palmitoleico y el oleico, los poliinsaturados (PUFAs) el linoleico y linolénico. En los resultados obtenidos para el control en este estudio para los ácidos grasos esenciales linolénico y linoleico son mayores a lo reportado por Bodoira et al. (2017), Ixtaina et al. (2012) y Guiotto et al. (2014). Se encontró muy buena cantidad de ácidos grasos esenciales (PUFAs), estos son muy importantes en la prevención y el tratamiento de enfermedades no transmisibles como hipertensión, enfermedad coronaria, diabetes y cáncer (Poudyal et al., 2012; Ferereidoon, 2009).

Tabla 4. Contenido de ácidos grasos a partir de chía irradiada a diferentes dosis

Ácido graso (%) ^{1,2}	Dosis de irradiación			
	0 kGy	4 kGy	7kGy	10 kGy
Palmítico, C16:0	4.01 ± 0.12 ^a	4.45 ± 0.29 ^a	4.00 ± 0.24 ^a	4.00 ± 0.10 ^a
Palmitoléico, C16:1	1.76 ± 0.04 ^{ab}	1.47 ± 0.18 ^b	1.88 ± 0.21 ^a	1.65 ± 0.05 ^{ab}
Esteárico, C18:0	2.51 ± 0.22 ^a	2.48 ± 0.28 ^a	2.43 ± 0.17 ^a	2.43 ± 0.07 ^a
Oleico, C18:1	1.62 ± 0.19 ^{ab}	1.99 ± 0.39 ^a	1.38 ± 0.34 ^{ab}	1.14 ± 0.09 ^b
Linoleico, C18:2	22.59 ± 0.11 ^a	22.28 ± 0.28 ^a	22.43 ± 0.21 ^a	22.69 ± 0.08 ^a
Linolénico, C18:3	67.50 ± 0.45 ^a	67.32 ± 0.53 ^a	67.88 ± 0.32 ^a	68.113 ± 0.14 ^a
Total SFA	6.53 ± 0.21 ^a	6.93 ± 0.53 ^a	6.43 ± 0.38 ^a	6.43 ± 0.14 ^a
Total MUFA	3.38 ± 0.23 ^a	3.46 ± 0.21 ^a	3.25 ± 0.19 ^{ab}	2.79 ± 0.06 ^b
Total PUFA	90.09 ± 0.41 ^a	89.60 ± 0.73 ^a	90.31 ± 0.52 ^a	90.79 ± 0.18 ^a
Total UPA	93.47 ± 0.21 ^a	93.07 ± 0.53 ^a	93.56 ± 0.37 ^a	93.58 ± 0.13 ^a
ProporciónLA/ALA	0.33 ± 0.00 ^a	0.33 ± 0.00 ^a	0.33 ± 0.00 ^a	0.33 ± 0.00 ^a

¹ Promedio ± SD de tres repeticiones

² Valores en la misma fila seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes (p>0.05).

El contenido de SFAs, MUFAs y PUFAs en la chía no irradiada es de 6.85, 3.38 y 90.09 % respectivamente. Los valores respectivos después de someter a irradiación de 10 kGy son de 6.43, 2.79 y 90.79 %. En el contenido de SFA se aprecia una ligera disminución,

sin embargo estadísticamente no hay diferencia significativa ($p > 0.05$), por el contrario el los MUFAs disminuye y si hay diferencia significativa ($p < 0.05$), en los PUFAs no existe diferencia significativa ($p > 0.05$). En general no hay diferencia significativa en los ácidos grasos poliinsaturados, estos resultados concuerda con los resultados reportados por Gutiérrez et al. (2017) y Mexis et al. (2009), sin embargo Al-Bachir (2016) reporta lo contrario.

3.4. Contenido fenólico total

Los efectos de la irradiación en los compuestos fitoquímicos y las actividades antioxidantes son contradictorios, en muchas investigaciones informaron una mejora y en otras una disminución. Esto puede atribuirse a las dosis aplicadas, tiempo de exposición, materia prima y el método utilizada para la extracción de los compuestos fenólicos (Chipurura y Muchuweti, 2010). Los contenido fenólico total (TPC) se incrementaron conforme aumenta la dosis de irradiación, sin embargo, esta diferencia no es significativa cuando son tratados con 4 y 7 kGy respecto a la muestra no tratada (0 kGy), cuando se incrementa a 10 kGy el incremento es mayor y existe diferencia significativamente ($p < 0.05$). Los valores de TPC se encuentran desde 4.65 a 5.63 mg de GAE/g de chía desengrasada. Estos resultados encontrados en el presente estudio demuestran que la irradiación aumenta los TPC, en otras investigaciones se encontraron tendencia similares como en el estudio Harrison y Were, (2007) y Behgar et al. (2011), en contraste otros estudios reportan que hay una disminución de TPC como es el caso de Luquini et al. (2017).

Tabla 5. Compuestos fenólicos totales de chía irradiada a diferentes dosis

Dosis de irradiación	Compuestos fenolicos totales (mg GAE/g chía desengrasada, b.s) ^{1,2}
0 kGy	4.65 ± 0.32 ^b
4 kGy	4.81 ± 0.06 ^b
7 kGy	5.11 ± 0.32 ^{ab}
10 kGy	5.63 ± 0.31 ^a

¹ Promedio ± SD de tres repeticiones

² Valores seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

3.5. Capacidad antioxidante hidrofílico y lipofílico

La tabla 6 muestra el efecto de la irradiación gamma sobre capacidad antioxidante (CAOX) en la chía. Existe un ligero aumento de la fracción lipofílica de las semilla irradiadas en comparación con el control, llegando a 2,25 $\mu\text{mol TE/g}$, sin embargo no existe diferencia significativa ($p > 0.05$). En la fracción hidrofílica existe un aumento llegando a 22.98 $\mu\text{mol TE/g}$ con 10 kGy, existiendo diferencia significativa ($p < 0.05$), estos resultados demuestra que la irradiación aumenta la capacidad antioxidante en las semillas de chía. Resultados que siguen la misma tendencia de la parte hidrofílica son reportado por Harrison y Were, (2007) y Behgar et al., (2011).

Tabla 6. Capacidad antioxidante hidrofílica y lipofílica de chía irradiada a diferentes dosis

Dosis de irradiación	CAOX hidrofílica ($\mu\text{mol TE/g}$ chía, b.s) ^{1,2}	CAOX lipofílica ($\mu\text{mol TEg}$ chía, b.s) ^{1,2}
0 kGy	18.59 \pm 1.03 ^b	1.94 \pm 0.22 ^a
4 kGy	22.04 \pm 0.82 ^a	1.97 \pm 0.24 ^a
7 kGy	18.11 \pm 1.67 ^b	2.12 \pm 0.37 ^a
10 kGy	22.98 \pm 0.78 ^a	2.25 \pm 0.10 ^a

¹ Promedio \pm SD de tres repeticiones

² Valores seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

4. Conclusión

Los resultados del efecto de la irradiación aún no están bien definidos, se tiene que hacer estudios para cada tipo de muestras. En este estudio se observó un ligero aumento de la oxidación, existiendo diferencia significativa, sin embargo, los valores encontrados están por debajo de los límites recomendados. No se vio grandes cambios en la composición de los ácidos grasos, especialmente en los poliinsaturados. La irradiación aumentó ligeramente en el contenido de fenólico total y capacidad antioxidante hidrofílica, sin embargo, en la fracción lipofílica no se vio afectada.

Agradecimiento

Los agradecimientos a la empresa NEW MARKETS LATIN AMERICA S.A.C. que a través del proyecto “formulación de bebidas a base de pulpa de fruta y semillas de chía

endulzado con estevia, usando conservantes naturales de extractos de plantas peruanas, orientado a dejar el uso de conservantes químicos y a extender el tiempo de vida útil a 12 meses, en NMLA SAC” CONVENIO NRO 046-FIDECOM-INNOVATEPERU-PIMEN-2017 ENERCHIA financiaron la investigación.

Referencias

Al-Bachir, M. 2015. Studies on the physicochemical characteristics of oil extracted from gamma irradiated pistachio (*Pistacia vera* L.). Food Chemistry, 167: 175–179.

Anwar, M. M., Ali, S. E., Nasr, E. H. 2015. Improving the nutritional value of canola seed by gamma irradiation. Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 8(3): 328–333.

AOAC. (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official methods of analysis. 15th ed. Va.: Assoc. of Official Analytical Chemist.

Ayerza (h), R. 2009. The Seed's Protein and Oil Content, Fatty Acid Composition, and Growing Cycle Length of a Single Genotype of Chia (*Salvia hispanica* L.) as Affected by Environmental Factors. Journal of Oleo Science, 58(7): 347–354.

Ayerza, R; Coates, W. 2004. Composition of chia (*Salvia hispanica*) grown in six tropical and subtropical ecosystems of South America. Tropical Science 44: 131-135.

Behgar, M., Ghasemi, S., Naserian, A., Borzoie, A., Fatollahi, H. 2011. Gamma radiation effects on phenolics, antioxidants activity and in vitro digestion of pistachio (*Pistachia vera*) hull. Radiation Physics and Chemistry 80: 963–967

Beltrán-Orozco, M., Romero, M. 2003. Chía, alimento milenario. Revista Industria Alimentaria (México, D.F.) 25(5): 20-29

Bhatti, I. A., Ashraf, S., Shahid, M., Asi, M. R., Mehboob, S. 2010. Quality index of oils extracted from γ -irradiated peanuts (*Arachis hypogaea* L.) of the golden and bari varieties. Applied Radiation and Isotopes, 68(12): 2197–2201.

Busilacchi, H., Quiroga, M., Bueno, M., Di Sapiro, O., Flores, V., & Severin, C. 2013. Evaluation of *Salvia hispanica* L. cultivated in the south of Santa Fe (Argentina). *Cultivos Tropicales*, 34(4): 55–59.

Cahill, J. 2004. Genetic diversity among varieties of chía (*Salvia hispanica* L.) *Genetic Resources and Crop Evolution* 51: 773–781.

Capitani, M. I., Spotorno, V., Nolasco, S. M., Tomás, M. C. 2012. Physicochemical and functional characterization of by-products from chia (*Salvia hispanica* L.) seeds of Argentina. *Food Science and Technology*, 45, 94–102.

Chipuruna, B., Muchuweti, M. 2010. Effect of Irradiation and High Pressure Processing Technologies on the Bioactive Compounds and Antioxidant Capacities of Vegetables. *Asian Journal of Clinical Nutrition* 2(4): 190 – 199.

Chirinos, R., Pedreschi, R., Domínguez, G., Campos, D. 2015. Comparison of the physico-chemical and phytochemical characteristics of the oil of two *Plukenetia* species. *Food Chemistry*, 173: 1203–1206.

Chirinos, R., Pedreschi, R., Rogez, H., Larondelle, Y., Campos, D. 2013. Phenolic compound contents and antioxidant activity in plants with nutritional and/or medicinal properties from the Peruvian Andean region. *Industrial Crops and Products* 47: 145–152

Chirinos, R., Zuloeta, G., Pedreschi, R., Mignolet, E., Larondelle, Y., Campos, D. 2013. Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*): A seed source of polyunsaturated fatty acids, tocopherols, phytosterols, phenolic compounds and antioxidant capacity. *Food Chemistry* 141: 1732–1739

Codex Alimentarius. Commission. Codex Stan 19-1981. 1999. Standard for edible fats and oils not covered by individual standards. Formerly CAC/RS 19-1969. Adopted in 1981. Revision: 1987 and 1999. Amendment: 2009, 2013 and 2015.

Coelho, M. S Salas-Mellado, M. M. 2014. Revisão: Composição química, propriedades funcionais e aplicações tecnológicas da semente de chia (*Salvia hispanica* L) em alimentos. *Brazilian Journal of Food Technology*, Campinas 17 (4): 259-268.

Da Silva, B. P., Anunciação, P. C., Matyelka, J. C. da S., Della Lucia, C. M., Martino, H. S. D., Pinheiro-Sant'Ana, H. M. 2017. Chemical composition of Brazilian chia seeds grown in different places. *Food Chemistry*, 221: 1709–1716.

Dąbrowski, G., Konopka, I., Czaplicki, S. 2018. Variation in oil quality and content of low molecular lipophilic compounds in chia seed oils. *International Journal of Food Properties*, 21(1): 2016–2029.

Guiotto, E. N., Ixtaina, V. Y., Nolasco, S. M., Tomás, M. C. 2014. Effect of Storage Conditions and Antioxidants on the Oxidative Stability of Sunflower–Chia Oil Blends. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 91(5): 767–776

Gutiérrez, L. F., Quiñones-Segura, Y., Sanchez-Reinoso, Z., Díaz, D. L., Abril, J. I. 2017. Physicochemical properties of oils extracted from γ -irradiated Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds. *Food Chemistry*, 237: 581–587.

Harrison, K.; Were, L. M. 2007. Effect of gamma irradiation on total phenolic content yield and antioxidant capacity of Almond skin extracts. *Food Chemistry* 102: 932–937

Imran, M., Nadeem, M., Manzoor, M. F., Javed, A., Ali, Z., Akhtar, M. N., Ali, M., Hussain, Y. 2016. Fatty acids characterization, oxidative perspectives and consumer acceptability of oil extracted from pre-treated chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Lipids in Health and Disease*, 15: 62.

Iqbal, M., Bhatti, I. A., Shahid, M., Jan Nisar. 2016. Physicochemical characterization, microbial decontamination and shelf life analysis of walnut (*Juglans regia* L) oil extracted from gamma radiation treated seeds. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 6: 116–122.

IUPAC (Standard methods for the analysis of oils, fats and derivatives). 1987. *in* International Union of Pure and Applied Chemistry, C. Paquot and A. Hautfenne, Eds., Blackwell Scientific Publications, London, UK,.

Ixtaina, V. Y., Nolasco, S. M., Tomás, M. C. 2012. Oxidative Stability of Chia (*Salvia hispanica* L.) Seed Oil: Effect of Antioxidants and Storage Conditions. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89(6): 1077–1090.

Ixtaina, V. Y., Martínez, M. L., Spotorno, V., Mateo, C. M., Maestri, D. M., Diehl, B. W. K., Nolasco, S. M., Tomás, M. C. 2011. Characterization of Chia Seed Oils Obtained by Pressing and Solvent Extraction. *Journal of Food Composition Analysis* 24: 166-174.

Jeong, M. A., Jeong, R. D. 2017. Applications of ionizing radiation for the control of postharvest diseases in fresh produce: recent advances. *British Society for Plant Pathology* Doi: 10.1111/ppa.12739

Khattab, R. Y., Zeitoun, M. A. 2013. Quality evaluation of flaxseed oil obtained by different extraction techniques. *LWT - Food Science and Technology*, 53(1): 338–345.

Koç Güler, S., Bostan, S. Z., Çon, A. H. 2017. Effects of gamma irradiation on chemical and sensory characteristics of natural hazelnut kernels. *Postharvest Biology and Technology*, 123: 12–21.

Luquini, L. G., Soares, F., Krambrock, K., Neves, M. J. 2017. Effect of gamma radiation on antioxidant capacity of green tea, yerba mate, and chamomile tea as evaluated by different methods. *Radiation Physics and Chemistry* 130: 177–185

Ma, Y., Lu, X., Liu, X., Ma, H. 2013. Effect of $^{60}\text{Co}\gamma$ -irradiation doses on nutrients and sensory quality of fresh walnuts during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 84: 36–42.

Mahapatra, A. K., Muthukumarappan, K., Julson, J. L. 2005. Applications of ozone, bacteriocins and irradiation in food processing: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 45: 447–461.

Marineli, R. da S., Moraes, É. A., Lenquiste, S. A., Godoy, A. T., Eberlin, M. N., Maróstica Jr, M. R. 2014. Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil (*Salvia hispanica* L.). *LWT - Food Science and Technology*, 59(2): 1304–1310.

Matthäus, B. 2010. Oxidation of edible oils. *Oxidation in Foods and Beverages and Antioxidant Applications*, 183–238. doi:10.1533/9780857090331.2.183

Müller, L., Gnoyke, S., Popken, A.M., Böhm, V. 2010. Antioxidant capacity and related parameters of different fruit formulations. *LWT - Food Science and Technology*, 43: 992–999

Nemțanu, M. R., Brașoveanu, M. 2016. Impact of electron beam irradiation on quality of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(5): 1736-1744.

Oliveira-Alves, S. C., Vendramini-Costa, D. B., Betim Cazarin, C. B., Maróstica Júnior, M. R., Borges Ferreira, J. P., Silva, A. B., Prado, M.A., Bronze, M. R. 2017. Characterization of phenolic compounds in chia (*Salvia hispanica* L.) seeds, fiber flour and oil. *Food Chemistry*, 232: 295–305.

Porrás-Loaiza, P., Jiménez-Munguía, M. T., Sosa-Morales, M. E., Palou, E., Lopez-Malo, A. 2014. Physical properties, chemical characterization and fatty acid composition of Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *International Journal of Food Science and Technology*, 49, 571–577.

Prakash, A. 2012. Irradiation of Nuts. In *Food Irradiation Research and Technology*, (pp. 317-336): John Wiley & Sons, Inc.

Sandoval-Oliveros, M. R., Paredes-López, O. 2012. Isolation and Characterization of Proteins from Chia Seeds (*Salvia hispanica* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(1), 193–201.

Sandoval-Oliveros, MR; Paredes-López, O. 2013. Isolation and characterization of proteins from chia seeds (*Salvia hispanica* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61(1):193–201.

Yaqoob, N., Bhatti, I. A., Anwar, F., Asi, M. R. 2010. Oil quality characteristics of irradiated sunflower and maize seed. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 112(4): 488–495.