

Artículo de Revisión / Review Article

Composición química, características nutricionales y beneficios asociados al consumo de chía (*Salvia hispanica* L.)

Chemical composition, nutritional characteristics and benefits associated with the consumption of Chia (*Salvia hispanica* L.)

Camila Cisternas¹. <https://orcid.org/0000-0001-7109-337X>

Camila Farías^{1,2}. <https://orcid.org/0000-0003-4899-9709>

Loreto Muñoz³. <https://orcid.org/0000-0002-1260-9230>

Gladys Morales^{4,5}. <https://orcid.org/0000-0001-7194-8833>

Rodrigo Valenzuela^{6*}. <https://orcid.org/0000-0001-9298-6142>

1. Programa de Magíster en Nutrición y Alimentos, mención Nutrición Humana. Instituto de Nutrición y Tecnología de los alimentos de la Universidad de Chile, Santiago, Chile.
2. Escuela de Nutrición y Dietética, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Católica del Maule, Curicó, Chile.
3. Escuela de Ingeniería, Laboratorio de Ciencias de los Alimentos, Universidad Central de Chile, Santiago, Chile.
4. Departamento de Salud Pública, Facultad de Medicina, Universidad de la Frontera, Temuco, Chile.
5. Carrera de Nutrición y Dietética, Facultad de Medicina, Universidad de la Frontera, Temuco, Chile.
6. Departamento de Nutrición, Facultad de Medicina, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

*Dirigir correspondencia: Rodrigo Valenzuela Báez.
Departamento de Nutrición. Facultad de Medicina, Universidad de Chile.
Avenida Independencia #1027, Independencia, San tiago, Chile.
E-mail: rvalenzuelab@uchile.cl

Este trabajo fue recibido el 14 de marzo de 2022.
Aceptado con modificaciones: 9 de mayo de 2022.
Aceptado para ser publicado: 19 de mayo de 2022.

RESUMEN

La chía (*Salvia hispanica* L.) es una semilla originaria de la zona sur de México y Guatemala, que se ha expandido a otros países de latinoamérica. Esta semilla ha sido utilizada con diferentes fines a lo largo de la historia, donde se destaca como producto alimentario debido a su gran versatilidad, ya que puede ser utilizada como semilla, harina integral, fracciones de fibra y/o proteína y aceite. En la actualidad, la investigación de nuevas fuentes alimentarias que otorguen beneficios a la salud ha logrado recopilar información sobre la composición química y valor nutricional de esta semilla y sus derivados (harina y aceite), donde se encuentra principalmente el contenido de ácidos grasos poli-insaturados n-3, destacando el ácido alfa linolénico (C18:3n-3, ALA), que se propone como fuente alternativa de este nutriente a alimentos de otros orígenes, además el contenido de fibra de la chía, principalmente fibra insoluble. En cuanto a los beneficios que se asocian al consumo de chía, se ha visto que tiene estrecha relación con enfermedades crónicas no transmisibles como dislipidemia, diabetes, hipertensión, cáncer, entre otras, logrando captar la atención de investigadores para controlar y prevenir estas patologías que van en aumento en la población mundial. Por lo tanto, se hace relevante profundizar en los conocimientos disponibles sobre esta semilla y sus subproductos para poder establecer los posibles mecanismos moleculares que están involucrados en la generación de beneficios para la salud. El objetivo de esta revisión es presentar una actualización de los beneficios asociados al consumo de semilla de chía y sus derivados.

Palabras clave: Ácido α -linolénico; Antioxidantes; Fibra dietética; *Salvia hispanica* L.; Semilla de chía.

ABSTRACT

Chia (Salvia hispanica L.) is a seed native to the southern part of Mexico and Guatemala, which has spread to other Latin American countries. This seed has been used for different purposes throughout history, where it stands out as a food product due to its great versatility, since it can be used as a seed, whole meal flour, fiber and/or protein fractions and oil. Currently, the investigation of new food sources that provide health benefits has managed to collect information on the chemical composition and nutritional value of this seed and its derivatives (flour and oil). For polyunsaturated fatty acid content, n-3 is found, highlighting alpha linolenic acid (C18:3n-3, ALA), which is proposed as an alternative source of this nutrient to foods of other origins. In addition, the fiber content of chia, is mainly insoluble fiber. Regarding the benefits associated with chia consumption, it is closely related to chronic non-communicable diseases such as dyslipidemia, diabetes, type II, hypertension, cancer, among others, managing to attract the attention of researchers to control and prevent these pathologies that are increasing in world population. Therefore, it is relevant to deepen the knowledge available about this seed and its by-products in order to establish the possible molecular mechanisms that are involved in generating health benefits. The objective of this review is to present an update on the benefits associated with consumption of chia seed and its derivatives.

Keywords: *α-linolenic acid; Antioxidants; Chia seeds; Dietary fiber; Salvia hispanica L.*

INTRODUCCIÓN

La *Salvia hispanica L.* conocida comúnmente con el nombre de chía, es una semilla de la familia *Lamiaceae* originaria de la zona sur de México y sur de Guatemala, que fue altamente explorada y utilizada por los aztecas¹. Luego de la colonización española, la semilla dejó de cultivarse por muchos años, y fue en el año 1991, a través de un proyecto regional en el norte de Argentina, donde comenzó nuevamente su cultivo para posteriormente ser cultivada a pequeña escala en las ciudades de México como Jalisco, Morelos y Guerrero, llegando a ser cultivada en varios países de Centroamérica como Ecuador y Guatemala^{1,2}. Dentro de los usos que se le atribuyen, están los de origen alimenticio, medicinal y estético/recreativo, éste último para mejorar la calidad de la pintura³. La versatilidad en la industria alimenticia de esta semilla ha logrado captar la atención de la población ya que se puede consumir la semilla entera, el aceite extraído o las diferentes harinas que se obtienen a partir de ella (integral, fracción de fibra dietética o fracción proteínas), por lo que se pueden realizar diversas preparaciones a partir de ella como galletas, pan, jugo, ensaladas^{4,5}.

En la actualidad, la búsqueda de alimentos que otorguen beneficios en la salud ha incrementado en la población mundial, logrando que esta semilla sea estudiada por su alto valor nutricional asociado al contenido de ácidos grasos poli-insaturados n-3 (AGPI n-3), especialmente el ácido α-linolénico (C18:3n-3, ALA) de origen vegetal, por lo que podría ser una alternativa a las fuentes de origen animal⁶, además de su alto contenido de proteínas, que es mayor a lo encontrado en otras semillas (como linaza y rosa mosqueta)^{6,7}, fibra dietética y antioxidantes, por lo que en vista de su consumo se han encontrado resultados a nivel metabólico asociado a diversas enfermedades como dislipidemia, hipertensión, diabetes, cáncer entre otras⁴.

El consumo de chía y los beneficios asociados a su aporte nutricional han sido un área de interés, ya que

se ha dilucidado que los AGPI n-3 encontrados en éstas producen una redistribución lipídica, disminuyendo los niveles plasmáticos de triglicéridos, colesterol total, colesterol LDL y VLDL y aumentando los niveles de colesterol HDL, lo cual tiene efectos cardioprotectores y hepatoprotectores⁸. También entre su aporte nutricional se encuentra la fibra, soluble e insoluble, que ayuda a aumentar el volumen de las deposiciones y disminuir la velocidad de digestión, ejerciendo un efecto a nivel de movimientos peristálticos y de liberación de glucosa, además de reducir la bioaccesibilidad de lípidos y colesterol, ayudando en la prevención de cáncer de colon, diabetes y dislipidemia^{8,9}. Los compuestos antioxidantes encontrados en esta semilla se asocian a una disminución de la cantidad de especies reactivas de oxígeno, reduciendo procesos inflamatorios mientras que, específicamente, las isoflavonas presentes en la chía tienen un efecto anticarcinogénico¹⁰. Por otro lado, estudios han demostrado que el consumo de chía disminuye los niveles de glucosa postprandial con incidencia en la dosis-respuesta, además de una disminución en los índices de apetito, asociando estos efectos específicamente a la fibra dietética¹¹. Además, se ha reportado que en sujetos con diabetes tipo 2 el consumo de chía fue asociado a una disminución de la presión arterial sistólica y de los niveles de proteína c reactiva reduciendo el riesgo cardiovascular, manteniendo el buen control de los niveles de glucosa y lípidos¹². Los beneficios asociados al consumo de chía van en aumento ya que su contenido de ácidos grasos poliinsaturados, proteínas, fibra y antioxidantes, logran impactar de diversas maneras, como en su efecto en la redistribución lipídica, tolerancia a la glucosa, sensibilidad a la insulina, dislipidemia, hipertensión vista en ratas suplementadas con aceite de esta semilla¹³. De acuerdo con los antecedentes mencionados anteriormente, el objetivo de este trabajo es presentar una actualización de los beneficios asociados al consumo de semilla de chía y sus derivados.

METODOLOGÍA

Esta revisión incluyó estudios en modelo *in vitro*, modelo animal y humanos, donde se analizó el efecto del tratamiento con chía o sus derivados de manera de dilucidar los beneficios asociados a su consumo. La búsqueda bibliográfica se realizó utilizando la base de datos PubMed de la Biblioteca Nacional de Medicina del Instituto Nacional de Salud, Web of Science y en la plataforma de la Revista Chilena de Nutrición. Se incluyeron estudios experimentales en idioma inglés y español, publicados desde el 2013 hasta la fecha que comprendieran los términos: “*Salvia hispanica L.*” OR “Chia seeds” OR “Chia oil” OR “Chia flour”. Se consideraron como criterios de inclusión artículos que tuvieran relación con la asociación entre el consumo chía (semilla, aceite y harina) y potenciales efectos benéficos. También se consideraron aquellos artículos que adicionalmente pudieran explicar los mecanismos asociados a estos beneficios.

Composición química y valor nutricional de la semilla, aceite y harina de chía

En la última década se ha explorado extensamente el valor nutricional de diversas semillas, entre las cuales se encuentra la chía, que se destaca por su contenido lipídico, proteico y de fibra, lo cual varía según el lugar geográfico donde es cultivada, la estacionalidad y otros factores medioambientales¹⁴.

Composición química de la semilla de chía

La composición química de la semilla de chía se caracteriza por una baja humedad, contener mayoritariamente lípidos y presentar un alto contenido de fibra dietética (Tabla 1). Dentro de sus componentes destaca el gran aporte de ácidos grasos (30%), principalmente poliinsaturados,

donde un 60% de los ácidos grasos corresponden a ALA, seguido por un 20% de ácido linoléico (C18:2n-6, LA). En cuanto al aporte proteico, la semilla de chía contiene un alto porcentaje de proteínas (16-26%) que incluyen aminoácidos esenciales como arginina, leucina, fenilalanina, entre otros. Gracias a su contenido proteico, puede aportar aproximadamente 3,61 g de nitrógeno por 100 g de semilla¹⁵. Un 20-40% corresponde a fibra encontrada en la semilla de chía, compuesta principalmente por celulosa, pectina, hemicelulosa, lignina, polisacáridos y oligosacáridos. La fracción de fibra está compuesta por fibra insoluble que corresponde a un 85-93%, mientras que el 7-15% restante es fibra soluble⁷. Las vitaminas contenidas en la semilla corresponden principalmente a vitaminas del complejo B, tales como tiamina (B₁), riboflavina (B₂), niacina (B₃) y ácido fólico, y minerales como calcio, fósforo, magnesio, potasio, selenio, hierro, cobre y zinc. Otro elemento importante son los compuestos antioxidantes como polifenoles, tocoferoles, esteroides, isoflavonas y flavonoides como daidzina, genisteína, glicetina, quercetina y kaempferol¹⁶.

Composición química del aceite de chía

El aceite obtenido de la semilla de chía se caracteriza por presentar un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, además de aportar ácidos grasos esenciales. En la tabla 2 se muestra el contenido de ácidos grasos en el aceite de chía, donde existe un predominio de ALA seguido por el LA⁷.

Composición química de la harina de chía

En cuanto a la harina integral de chía (Tabla 3), su composición química es similar a la semilla. La fibra encontrada es 91,3% fibra insoluble y el 8,7% restante es fibra soluble, además se encuentran compuestos fenólicos (0,97 ± 0,07 g/100 g) y fitatos (0,96 ± 0,11 g/100g)⁸.

Tabla 1. Composición química de la semilla de chía.

	Jiménez et al. ⁷ g/100g	USDA
Humedad	6,2 ± 0,0	6,96
Proteínas	19,9 ± 0,2	18,29
Grasas	27,9 ± 0,4	42,16
Hidratos de Carbono	8,6 ± 0,3	28,88
Fibra	33,0 ± 0,5	27,3

Datos expresados en gramos por cada 100 g de semillas de chía.
* USDA: Departamento de Agricultura de Estados Unidos de Norte América (del inglés United State Department of Agriculture).

Tabla 2. Composición de ácidos grasos del aceite de chía.

Principales ácidos grasos	% ésteres metílicos
Ácido alfa linolénico (C18:n3, ALA)	51,82 ± 1,49
Ácido linoleico (C18:n2)	19,36 ± 0,16
Ácido oleico (C18:n1)	8,91 ± 0,30
Ácido palmítico (C16:n0)	7,29 ± 0,17
Ácido esteárico (C18:n0)	3,84 ± 0,09

Fuente: Adaptación del trabajo de Jiménez et al.⁷**Tabla 3.** Composición química de la harina de chía.

	g/100g
Humedad	7,14 ± 0,26
Proteínas	18,18 ± 1,20
Grasas	32,16 ± 0,29
Hidratos de Carbono	4,59 ± 0,34
Fibra total	33,37 ± 0,26

Datos expresados en gramos por cada 100 g de harina de chía.

Fuente: Adaptación del trabajo de Da Silva et al.⁸

Chía y beneficios en humanos

Salud cardiovascular y alteraciones metabólicas

Dentro del actual cuadro de enfermedades a nivel mundial, las de origen cardiovascular son las más prevalentes y se continúa trabajando para encontrar tratamientos efectivos y de prevención de manera consistente. Dentro de los factores de riesgo cardiovascular en la población se encuentra la hipertensión arterial, dislipidemia, diabetes o hiperglicemia en ayunas¹⁷. Al respecto, en pacientes con hipercolesterolemia leve que consumieron una dieta con semilla de chía (4 g/día por 2,5 meses) provocó una disminución significativa en los niveles séricos de colesterol LDL (-18%) y triglicéridos (-17,1%), logrando un cambio en el perfil lipoproteico y disminuyendo el riesgo de evento cardiovascular¹⁸. Por otro lado, en un estudio experimental de un solo grupo en pacientes con enfermedad de hígado graso no alcohólico (EHGNA) que consumieron semilla de chía molida (25 g/día) por 8 semanas, se obtuvo un aumento de ALA plasmático y un mayor consumo de fibra. Además, se redujo de manera significativa el colesterol total, colesterol no HDL, ácidos grasos libres, peso corporal y grasa abdominal visceral, resultando en un retroceso de la

enfermedad en un amplio porcentaje de pacientes¹⁹. En otro ensayo clínico aleatorizado, en 42 pacientes con diabetes mellitus tipo 2 (DM2) la ingesta de semilla de chía (40 g/día por 12 semanas) generó una disminución significativa en la presión sistólica mientras que el perfil lipídico, peso corporal, marcadores inflamatorios y glicemia no cambiaron significativamente²⁰. De la misma manera, en un ensayo clínico aleatorizado doble ciego, donde se suplementaron a 44 pacientes con DM2, con una cápsula que contenía fibra viscosa, chía y extracto de ginseng americano y coreano, durante 24 semanas, se generó una mejora en el control glicémico, atenuando el incremento de la hemoglobina glicosilada (HbA1c) y el perfil insulínico²¹. Otro estudio en pacientes sanos que recibieron 50 g de glucosa con 25 g de semilla de chía en tres ocasiones, se produjo una reducción del pico glicémico, aumentando el tiempo hasta alcanzarlo, posiblemente mediado por la viscosidad que le otorga la fibra. Sumado a esto, el consumo de chía aumentó la percepción de saciedad disminuyendo el deseo de comer y el apetito en general²². En esta misma línea, en un ensayo clínico aleatorizado controlado de dosis respuesta realizado en 13 sujetos sanos a los que se les entregó pan blanco solo o con adición de 7, 15 ó 24 g de semillas de chía, enteras o molidas, se encontró que ambos formatos son efectivos en la reducción de la glucosa sanguínea, independiente de la dosis, lo que, al igual que en el estudio mencionado anteriormente, se asocia a la fibra presente en la chía²³. En pacientes con hipertensión arterial con y sin tratamiento que consumieron 35 g/día de harina de chía durante 12 semanas, se obtuvo una disminución de la presión a nivel clínico como ambulatorio²⁴.

Peso corporal

Otro factor importante en el desarrollo de enfermedades es la malnutrición por consumo de alimentos en exceso que en los últimos años ha ido en aumento, afectando a población dentro de todo el ciclo vital²⁵. En dos estudios se ha demostrado que el consumo de chía se asocia con una reducción de peso corporal. Por ejemplo, en pacientes con sobrepeso y obesidad que ingirieron 35 g/día de harina de chía por 12 semanas se produjo una reducción significativa del peso corporal, con un mayor impacto en los sujetos con obesidad, donde disminuyó la circunferencia de cintura, el colesterol total y VLDL, y aumentó el colesterol HDL, pero sólo en pacientes con el perfil lipídico alterado. No obstante, la glucosa, triglicéridos y colesterol LDL sanguíneos no mostraron diferencias²⁶. Además, en un ensayo clínico aleatorizado doble ciego en pacientes con DM2 que consumieron una dieta hipocalórica con semilla de chía (30 ó 36 g/1.000 kcal/día por 6 meses), se generó una mayor pérdida de peso, disminución en la circunferencia de cintura y de los niveles plasmáticos de proteína C reactiva²⁷. Por otro lado, en un ensayo clínico aleatorizado doble ciego realizado en 30 niños prepúberes con estado nutricional de sobrepeso y obesidad a los que se les sometió a un tratamiento diario con 25 g de semillas

de chía molidas o placebo de almidón de maíz durante 75 días, no se encontraron diferencias significativas en el peso corporal ni en los parámetros bioquímicos, pero hubo una correlación estadísticamente significativa entre los biomarcadores inflamatorios, factor nuclear κ B (de sus siglas en inglés, NF- κ B) y factor de necrosis tumoral α (de sus siglas en inglés, TNF- α), y la presencia de fibra de las semillas de chía molida, indicando que pueden tener un efecto antiinflamatorio atribuible a la fibra en pacientes con exceso de peso²⁸.

Composición de ácidos grasos de leche materna

En la dieta occidental el consumo de ALA y ácido docosahexaenoico (C22:6n-3, DHA), fundamentales para el cerebro y función visual, se logra por debajo de las recomendaciones, por lo que ALA, al ser un precursor de DHA en el humano, se puede utilizar para aumentar el aporte de éste y disminuir las consecuencias del déficit. En este sentido, en un ensayo clínico aleatorizado realizado en 40 mujeres embarazadas sanas, donde 19 recibieron 16 ml/día de aceite de chía a partir del tercer trimestre de embarazo hasta los seis meses de lactancia, se obtuvo un aumento significativo del consumo de ALA y reducción de LA, sin modificaciones significativas en ácido araquidónico (C20:4n-6, AA), ácido eicosapentaenoico (C20:5n-3, EPA) y DHA, ocurriendo lo mismo en el contenido de leche materna, exceptuando DHA que aumentó sólo en los primeros tres meses de lactancia²⁹.

Modelo animal

En cuanto a modelo animal (modelo *in vivo*), existen varios estudios que asocian la ingesta de la semilla de chía con beneficios a la salud. En este contexto, un estudio realizado en ratas Wistar donde se emplearon seis grupos de estudio: grupo control con caseína, grupo control sin contenido de proteínas, semilla de chía sin tratar, semilla de chía tratada térmicamente, harina de chía sin tratar y harina de chía tratada térmicamente, se obtuvo como resultado que las ratas alimentadas con chía, en cualquiera de sus presentaciones, tenían menor nivel de glucosa, triglicéridos, VLDL, LDL, peso del hígado y porcentaje de grasa hepática, en comparación con los grupos control; mientras que la digestibilidad proteica fue buena y se observó un aumento en los niveles circulante de colesterol HDL⁸. En otro estudio realizado en *Caenorhabditis elegans* que fueron alimentados con aceite de chía obtenido mediante dos métodos (extracción con metanol/cloroformo y extracción con hexano) en diferentes concentraciones (1, 1,5, 2, 2,5 y 3%), se observó que bajas concentraciones de aceite, redujeron los niveles de triglicéridos y las reservas grasas en modelo obeso³⁰. En cambio, en el estudio de Fernández et al.³¹, realizado en ratas Wistar de ambos sexos que fueron alimentadas durante 10 días con dietas en base a diferentes fuentes lipídicas (aceite de soja, manteca, manteca suplementada con AGPI n-3 provenientes de aceite de pescado o manteca suplementada con AGPI n-3 provenientes de aceite de chía),

no se encontraron diferencias significativas en niveles de triglicéridos y niveles séricos de colesterol. En contraste, demostró que los AGPI n-3 provenientes del aceite de chía, son más beneficiosos que los de pescado, porque no sólo incrementa los niveles séricos de EPA y DHA, sino que también aumenta los valores de ALA. Además, en ratas no obesas con dislipidemia y esteatohepatitis aguda inducida alimentadas con un 15% de chía durante 4 semanas; se evaluó el perfil lipídico, glucosa, marcadores bioquímicos de daño hepático y factores inflamatorios. Las ratas con dieta con chía presentaron una menor o nula colestasis, inflamación, necrosis y estrés oxidativo, mientras que en ratas con dislipidemia y esteatohepatitis no alcohólica, el colesterol total y los triglicéridos disminuyeron³².

La semilla de chía también ha demostrado efecto en los procesos inflamatorios en ratas. En un estudio realizado por Da Silva et al.³³, se administró una dieta alta en grasas con adición de harina de chía por 35 días, obteniendo una reducción de los procesos inflamatorios, disminución de ácidos grasos saturados y aumento de AGPI debido a la composición nutricional de la semilla, sin diferencias significativas en cuanto al estrés oxidativo y producción de especies reactivas de oxígeno. En otro estudio realizado en ratas Wistar, donde un grupo fue alimentado con una dieta alta en grasa y fructosa suplementada con 13,3% de semillas de chía y otro grupo con dieta alta en grasa y fructosa suplementada con 4% de aceite de chía, se obtuvieron niveles aumentados de glutatión reducido (GSH), catalasa plasmática (CAT) y glutatión peroxidasa (GPx), mientras que en hígado, aumentó la actividad de glutatión reductasa (GRd) y se redujo las sustancias reactivas del ácido tiobarbitúrico en plasma (TBARS), mostrando que la semilla de chía y aceite de chía contaban con una capacidad antioxidante similar³⁴. Respecto al efecto producido en el metabolismo de la glucosa, queda mucho por dilucidar ya que, en un estudio realizado en ratas diabéticas con suministro agudo de una fracción peptídica obtenida de la semilla de chía en dos concentraciones, no se encontraron diferencias significativas en disminuir o retrasar la absorción de glucosa, independiente del contenido de la muestra administrada. Esto podría deberse a que el consumo fue en una única dosis y no se incrementó la cantidad ni la frecuencia del consumo³⁵. Además de los efectos en el metabolismo de lípidos y glucosa, la chía también ha afectado el sistema músculo esquelético. Esto se observa en un estudio realizado en ratas Sprague-Dawley alimentadas con una dieta con 10% de chía evaluadas en 10 y 13 meses, se encontró que las ratas alimentadas con dieta que incluía chía, presentaban un contenido mineral óseo significativamente mayor a largo plazo³⁶. Finalmente, en un estudio realizado en ratas Wistar hembras expuestas a una dieta rica en sacarosa en útero, se evaluó el efecto de una dieta rica en sacarosa suplementada con semillas de chía (20 g por 100 g de comida) hasta los 150 días de vida. El consumo de chía desde el destete logró prevenir la alteración en el metabolismo de lípidos y glucosa, además de disminuir ligeramente la adiposidad visceral³⁷.

Modelo *in vitro*

Además de los estudios *in vivo*, se han realizado varios estudios *in vitro* donde se han corroborado algunos de los efectos benéficos. Al respecto, en macrófagos se evaluó el efecto de la proteína total y fracciones de proteínas de semilla de chía digeridas sobre la respuesta inflamatoria y aterosclerosis, lo que generó una disminución en la activación de NF- κ B, en la secreción de óxido nítrico (NO), en la secreción de citoquinas proinflamatorias, como TNF- α e inhibición de 5-lipooxigenasa (5-LOX), ciclooxigenasa 1 y 2 (COX-1-2) y óxido nítrico sintasa inducible (iNOS), con un aumento de interleucina 10 (IL-10). Además, las proteínas digeridas disminuyeron la producción de especies reactivas de oxígeno (EROs). Esto indica que las proteínas digeridas fueron efectivas en la modulación de los procesos inflamatorios y de aterosclerosis³⁸.

En melanocitos epidérmicos se evaluó el efecto del extracto de semilla de chía con granada en la producción de melanina, resultando en la disminución del 80% de su producción mediado por la reducción de la expresión de genes asociados a melanogénesis (Tyr, Tyrp1 y Mc1r). Estos resultados se obtuvieron cuando se suministraron los AGPI en su totalidad, ya que por separado no mostraron efecto³⁹.

En diferentes líneas celulares cancerígenas (MCF-7, Caco2, PC3, HepG2) y en fibroblastos humanos, para evaluar toxicidad, que fueron expuestas a una fracción proteica de semilla de chía en diferentes concentraciones (0,25, 0,5, 0,75, 1 mg/ml), se obtuvo que esta fracción proteica presentó una inhibición significativa de todas las células cancerosas, sin ser tóxica⁴⁰. A partir de una fracción proteica similar, las líneas celulares de microglía humana (HMC3) fueron tratadas con diferentes concentraciones de fracción peptídica donde se presentó actividad neuroprotectora, con acción antiinflamatoria y antioxidante después de la inducción de daño⁴¹. La acción antioxidante es un posible mecanismo que proteja contra el daño neuronal, ya que según Zhang et al.⁴², la producción excesiva de radicales libres conduce a daño neuronal llegando a necrosis, mientras que la acción antiinflamatoria se puede explicar por el rol en la modulación de vías que inhiben la producción de citoquinas proinflamatorias.

Mecanismos moleculares

Diversos estudios han planteado que los AGPI n-3 ejercen su acción a nivel metabólico otorgando beneficios

para la salud como en la regulación del control glicémico, perfil lipídico, entre otros^{6,8,43}. Debido a esto, es que el estudio de diversas fuentes vegetales, como la semilla de chía, ha sido ampliamente investigada, ya que son ricas en ALA que puede ser metabolizado y convertido en AGPI de cadena larga (Figura 1) como EPA y DHA, varios estudios mostraron que un mayor contenido de ALA aumentó la concentración de estos ácidos grasos^{44,45,46,47}. En esta secuencia de reacciones, los AGPI n-3 sintetizados a nivel hepático, se pueden incorporar a fosfolípidos de membrana o pueden ser transportados a través de lipoproteínas a diversos órganos, donde pueden modular la expresión de diversos genes como receptor activado por proliferadores de peroxisomas γ (de su sigla en inglés, PPAR- γ), IL-6, IL-1, TNF- α , entre otros, disminuyendo el riesgo de presentar enfermedades crónicas no transmisibles⁴⁸. En esta misma línea es que la chía dietaria ayuda a normalizar los niveles de citoquinas proinflamatorias como IL-6 y TNF- α y aumentar los niveles de PPAR- γ en el tejido adiposo⁴⁹.

En ratas alimentadas con una dieta rica en sacarosa, se ha demostrado que la administración de chía logró prevenir el desarrollo de dislipidemia mediante una menor secreción hepática de VLDL y un aumento en la captación de triglicéridos plasmáticos lo que mejoró la acción de la insulina⁵⁰. Además, otro estudio indica que el efecto que ejerce ALA se debe a un incremento de ácidos grasos n-3 de cadena larga en los fosfolípidos de membrana, modificando su fluidez⁵¹. A nivel hepático la semilla de chía, al aumentar la concentración de EPA logra influir en la síntesis hepática de ácidos grasos, a través de la acción de enzimas como acetil CoA carboxilasa, sintasa de ácidos grasos y glucosa 6-fosfato deshidrogenasa. Además, la semilla de chía impide la disminución de la masa proteica de PPAR- α y de las actividades de la carnitina palmitoil transferasa-1 y oxidasa de ácidos grasos y regula el mecanismo de la proteína de unión a elementos reguladores de esteroides (de su sigla en inglés, SREBP-1c), existiendo un cambio metabólico en el destino de los lípidos, favoreciendo la oxidación de éstos⁵². En este contexto, la semilla de chía o *Salvia hispanica* presenta una fibra más viscosa la cual afecta a las moléculas de glucosa, haciendo que su liberación sea más lenta, logrando controlar los niveles de glicemia⁹ y a nivel muscular, los ácidos grasos interfieren en el transporte de glucosa mediada por insulina, pero se postula que ante el consumo de chía se logra una disminución de triglicéridos y ácidos grasos

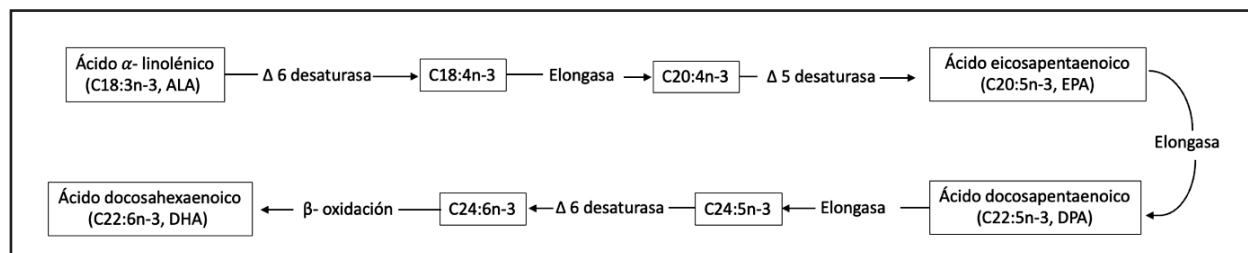


Figura 1: Vía de desaturación y elongación del ácido α-linolénico (C18:3n-3, ALA).

libres en el plasma, lo que disminuye la lipotoxicidad y restablece la translocación de Glut4 a la membrana celular, normalizando los procesos de oxidación y fosforilación de la glucosa, además de aumentar la fosforilación de IRS-1 y normalizando la vía serina/treonina quinasa⁵³.

En el tejido adiposo, se ha visto que la chía reduce la masa de tejido adiposo y la hipertrofia de los adipocitos a través de la unión de ligandos de AGPI n-3 a PPAR- γ y su activación en el tejido adiposo, además de una reducción en la enzima xantina oxidasa (XO). En cuanto a estrés oxidativo, ante un consumo excesivo de grasas o azúcares, se produce un aumento en la producción de especies reactivas de oxígeno (EROs), lo cual ante el consumo de chía se revierte debido a la activación en el tejido adiposo de enzimas como CAT, SOD y GPx, además de existir un aumento de la expresión del factor de transcripción nuclear eritroide 2 (de sus siglas en inglés, Nrf2) protegiendo a la células de los daños ocasionado por los radicales libres y disminuyendo los niveles de peroxidación lipídica (TBARS)⁴⁹. Finalmente, los flavonoides encontrados en la semilla de chía, específicamente la quercetina, presenta actividad antioxidante y antiinflamatoria ya que, activa a quinasas activadas por mitógenos (MAPKs) logrando evitar una disminución en la actividad de PPAR- γ ⁵⁴. Como es sabido, los receptores activados por proliferadores de peroxisomas (PPAR) actúan como factores de transcripción que pueden ser activados por ácidos grasos, donde específicamente son capaces de unirse a AGPI n-3 de cadena larga, desencadenando cascadas de procesos metabólicos como la β -oxidación de ácidos grasos (PPAR- α) y adipogénesis (PPAR- γ)⁵⁵. Estos receptores nucleares son los encargados de la homeostasis lipídica, además de participar en conjunto con otros mediadores, como el factor de crecimiento insulínico 1 (de su sigla en

inglés, IGF-1), mejorando la sensibilidad a la insulina e inactiva a NF- κ B, reduciendo los factores pro-inflamatorios y la inflamación, por lo que pueden ayudar ante la prevención de enfermedades crónicas^{56,57}.

CONCLUSIONES

La chía en sus diferentes presentaciones, semilla, aceite y harinas (integral o fraccionada), muestra beneficios potenciales en humanos, *in vivo* e *in vitro*, sugiriendo un efecto positivo para la prevención y tratamiento de enfermedades crónicas (Tabla 4). Sus beneficios están asociados al alto contenido de ALA, el cual puede actuar principalmente regulando el metabolismo lipídico incidiendo también en el control glicémico en conjunto con la fibra dietética insoluble. Además, sus componentes antioxidantes, tales como la quercetina y genisteína, cumplen un rol fundamental en la disminución del estrés oxidativo. Debido a esto es que la chía (semilla, harinas y aceite) han sido ampliamente exploradas en cuanto a composición, pero aún quedan mecanismos de acción por explorar en los que esta semilla podría contribuir de manera positiva en el control o prevención de alteraciones a nivel metabólico (Figura 2). Finalmente, de acuerdo con la evidencia actual disponible, se podría recomendar el consumo de chía en todas sus presentaciones, pero las cantidades necesarias para lograr un efecto en toda la población aún se deben dilucidar, ya que los estudios en humanos varían el consumo entre 4 a 40 g/día y existen diferencias en los modelos de los estudios revisados. Además, se debe evaluar el costo económico asociado a la adquisición de esta semilla, por lo que en un futuro próximo se pudiesen subsidiar alimentos saludables de origen vegetal, en el marco de una alimentación sustentable y saludable.

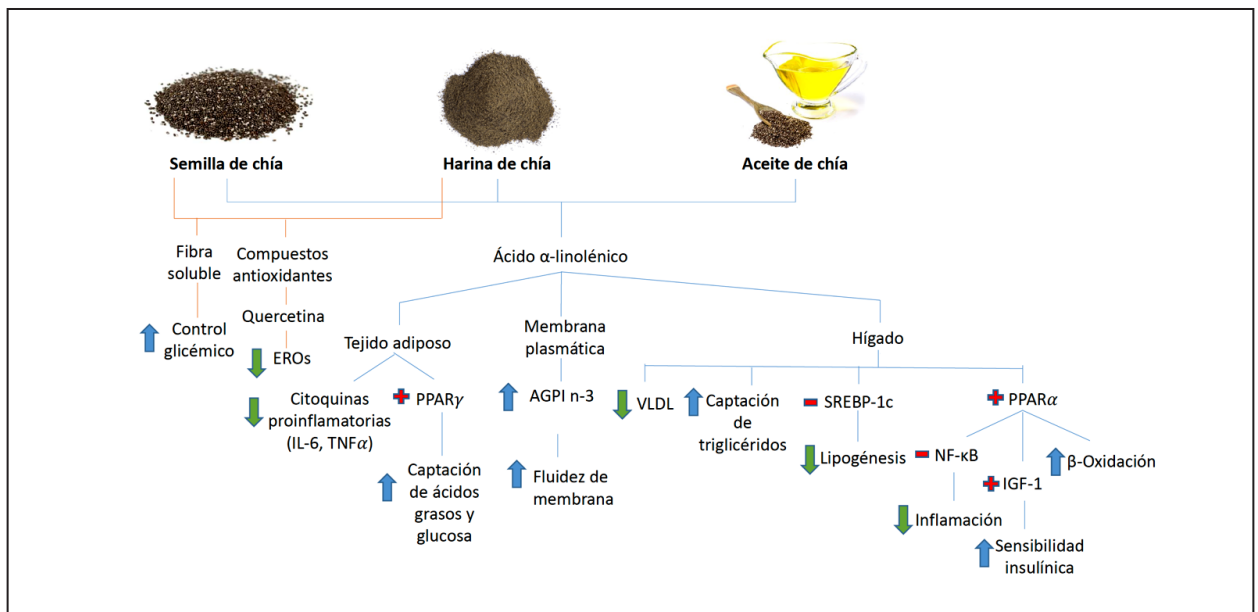


Figura 2: Mecanismos moleculares de los beneficios de la chía.

Tabla 4. Resumen de la metodología de los principales artículos revisados.

Diseño/modelo del estudio	n	Tipo de célula y/o condición	Intervención	Duración	Resultados	Referencia (Primer autor, año)
Humanos						
Experimental randomizado	62 (47 mujeres y 15 hombres)	Hipercolesterolemia más leve	Dieta baja en grasas saturadas + 25 g de proteína de soya + 14 g de nopal deshidratado + 4 g de semillas de chía + 14 g de avena + 4 g de inulina + 0,02 g de endulzante y 0,15 g de saborizante	2,5 meses	Reducción de colesterol total y LDL produciendo un cambio en el perfil lipoproteico	Vázquez-Manjarrez, et al. ¹⁸
Experimental	25 (10 mujeres y 15 hombres)	Hígado graso no alcohólico	25 g al día de chía molida	8 semanas	Aumento en la concentración de ALA plasmático y consumo de fibra dietaria y disminuyó el colesterol total, colesterol no HDL, ácidos grasos libres, peso corporal y grasa abdominal visceral	Medina-Urrutia, et al. ¹⁹
Experimental/ Ensayo controlado aleatorio	42 adultos	Diabetes mellitus tipo 2	40g/día de semillas de chía	12 semanas	Reducción significativa en la presión arterial sistólica	Alwosais, et al. ²⁰
Experimental/ Ensayo aleatorizado, doble ciego, controlado	104 adultos	Diabetes mellitus tipo 2	10 g de fibra viscosa, 60 g de semillas 1,5 g de extractos de ginseng rojo americano y 0,75 g coreano o 53 g de salvado de avena, 25 g de inulina, 25 g de maltodextrosa y 2,25 g de salvado de trigo	24 semanas	Mejor control glicémico con la administración de semillas y hierbas	Zurbau, et al. ²¹

... continuación tabla 4.

Diseño/modelo del estudio	n	Tipo de célula y/o condición	Intervención	Duración	Resultados	Referencia (Primer autor, año)
Experimental/ Ensayo aleatorizado, controlado, cruzado	15 adultos (10 mujeres y 5 hombres)	Sanos	50 g de glucosa+ 25 g de chía molida o 31,5 g de lino	3 muestras	Chía mostró un mejor control glicémico debido a la fibra contenida y mejoró la saciedad	Vuksan, et al. ²²
Experimental	26 adultos	Hipertensos	35 g/día de harina de chía	12 semanas	Disminución de la presión arterial en individuos hipertensos con o sin tratamiento	Tavares, et al. ²⁶
Modelo animal Experimental	36 ratas Wistar macho	-	Dieta control Dieta sin proteínas Dieta con semillas de chía Dieta con semillas de chía tratadas con calor Dieta con harina de chía Dieta con harina de chía tratada con calor	14 días	Las ratas tratadas con chía, en cualquiera de sus presentaciones, tenían menor nivel de glucosa, triglicéridos, VLDL, LDL, peso del hígado y porcentaje de grasa hepática, en comparación con los grupos control.	Da Silva, et al. ⁸
Experimental	2.000 gusanos <i>Caenorhabditis elegans</i> por tratamiento	Modelo obeso tub-1	Extracto de aceite de chía en concentraciones de 1, 1.5, 2, 2.5 y 3%	30 minutos	Bajas concentraciones de extracto, produjo reducción en los niveles de triglicéridos y las reservas grasas en modelo obeso.	Rodrigues, et al. ³⁰
Experimental	Ratas Wistar macho	Modelo no obesas con inducción de dislipidemia y/o esteatohepatitis aguda.	15% de chía añadida	4 semanas	En ratas con el 15% de chía añadida se observó una menor o nula colestasis, inflamación, necrosis y estrés oxidativo, mientras que disminuyó y los el colesterol total triglicéridos en ratas con dislipidemia y esteatohepatitis no alcohólica.	Fernández, et al. ³²

... continuación tabla 4.

Diseño/modelo del estudio	n	Tipo de célula y/o condición	Intervención	Duración	Resultados	Referencia (Primer autor, año)
Modelo <i>in vitro</i>						
Experimental/ cultivo celular	2,7 x 10 ⁴ células/placa (96 placas) 2,5 x 10 ⁵ células/placa (6 placas)	Macrófagos	0,1 – 0,5 - 1 mg mL ⁻¹ de digerido de proteína total y digerido de proteína fraccionada de semilla de chía	-	La proteína digerida de semilla de chía logró una reducción en la secreción y expresión de marcadores asociados a vías de inflamación y aterosclerosis	Grancieri, et al. ³⁸
Experimental/ cultivo celular	5 x 10 ⁴ células/placa (24 placas)	Melanocitos epidérmicos	Extracto de semilla de chía de 100 µg / ml con concentraciones de ácidos linoleico y α-linolénico de 0.5% y 1.2%, respectivamente + extracto de granada con 20% de punicalaginas	4 días	La combinación de extractos de semilla de chía y granada provoca una reducción de melanina en melanocitos epidérmicos.	Diwakar, et al. ³⁹

Financiamiento. Este trabajo se realizó con el financiamiento de FONDECYT Regular 1201489 de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID, Chile) y del Programa CYTED, Proyecto 119RT0567.

REFERENCIAS

- Monroy-Torres R, Mancilla-Escobar ML, Gallaga-Solórzano JC, Medina S. Protein digestibility of chia seed *Salvia Hispanica* L. *Rev Salud Publica Nutr.* 2008; 9: 1-9.
- Muñoz LA, Cobos A, Díaz O, Aguilera JM. Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration. *J Food Eng.* 2012; 108: 216-224.
- Cahill JP. Ethnobotany of chia, *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae). *Econ Bot.* 2003; 57: 604- 618.
- Valdivia-López MÁ, Tecante A. Chia (*Salvia hispanica*): A review of native Mexican seed and its nutritional and functional properties. *Adv Food Nutr Res.* 2015; 75: 53-75.
- Luna Pizarro P, Almeida EL, Coelho AS, Sammán NC, Hubinger MD, Chang YK. Functional bread with n-3 alpha linolenic acid from whole chia (*Salvia hispanica* L.) flour. *J Food Sci Technol.* 2015; 52: 4475-4482.
- Ayerza R, Coates W. Ground chia seed and chia oil effects on plasma lipids and fatty acids in the rat. *Nutr Res* 2005; 25: 995-1003.
- Jiménez P, Masson L, Quiral V. Chemical composition of chia seed, flaxseed and rosehip and its contribution in fatty acids omega-3. *Rev Chil Nutr.* 2013; 40: 155-160.
- da Silva BP, Dias DM, de Castro Moreira ME, Toledo RC, da Matta SL, Lucia CM, et al. Chia seed shows good protein quality, hypoglycemic effect and improves the lipid profile and liver and intestinal morphology of Wistar rats. *Plant Foods Hum Nutr.* 2016; 71: 225-230.
- Tamargo A, Martin D, Navarro del Hierro J, Moreno-Arribas MV, Muñoz LA. Intake of soluble fibre from chia seed reduces bioaccessibility of lipids, cholesterol and glucose in the dynamic gastrointestinal model simgi®. *Food Res Int.* 2020; 137: 109364.
- Reyes-Caudillo E, Tecante A, Valdivia-Lopez MA. Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Food Chem.* 2008; 107: 656-663.
- Vuksan V, Jenkins AL, Dias AG, Lee AS, Jovanovski E, Rogovik AL, et al. Reduction in postprandial glucose excursion and prolongation of satiety: Possible explanation of the long-term effects of whole grain Salba (*Salvia hispanica* L.). *Eur J Clin Nutr.* 2010; 64: 436-438.
- Vuksan V, Whitham D, Sievenpiper JL, Jenkins AL, Rogovik AL, Bazinet, RP, et al. Supplementation of conventional therapy with the novel grain salba (*Salvia hispanica* L.) improves major and emerging cardiovascular risk factors in type 2 diabetes: Results of a randomized controlled trial. *Diabetes Care.* 2007; 30: 280-2810.
- Poudyal H, Panchal SK, Ward LC, Brown L. Effects of ALA, EPA and DHA in high-carbohydrate, high-fat diet-induced metabolic syndrome in rats. *J Nutr Biochem.* 2013; 24: 1041-1052.
- Ayerza R, Coates W. Protein content, oil content and fatty acid profiles as potential criteria to determine the origin of commercially grown chia (*Salvia hispanica* L.). *Ind Crop Prod.* 2011; 34: 1366-13671.
- Sandoval-Oliveros MR, Paredes-López O. Isolation and characterization of proteins from chia seeds (*Salvia hispanica* L.). *J Agric Food Chem.* 2013; 61, 193-201.
- Da Silva BP, Anunciação PC, Matyelka JCDS, Della Lucia CM, Martino HSD, Pinheiro-Sant'Ana HM. Chemical composition

- of Brazilian chia seeds grown in different places. *Food Chem.* 2017; 221: 1709-1716.
17. Rivera Ledesma E, Bauta León L, González Hidalgo JA, Arcia Chávez N, Valerino Meriño I, Placencia Oropeza E. The category of risk for cardiovascular disease. *Rev Cubana Med Gen Integr.* 2017; 33.
18. Vázquez-Manjarrez N, Guevara-Cruz M, Flores-López A, Pichardo-Ontiveros E, Tovar AR, Torres N. Effect of a dietary intervention with functional foods on LDL-C concentrations and lipoprotein subclasses in overweight subjects with hypercholesterolemia: Results of a controlled trial. *Clin Nutr.* 2021; 40: 2527-2534.
19. Medina-Urrutia A, Lopez-Urbe AR, El Hafidi M, González-Salazar MC, Posadas-Sánchez R, Jorge-Galarza E, et al. Chia (*Salvia hispanica*)-supplemented diet ameliorates non-alcoholic fatty liver disease and its metabolic abnormalities in humans. *Lipids Health Dis.* 2020; 19: 96.
20. Alwosais EZM, Al-Ozairi E, Zafar TA, Alkandari S. Chia seed (*Salvia hispanica* L.) supplementation to the diet of adults with type 2 diabetes improved systolic blood pressure: A randomized controlled trial. *Nutr Health.* 2021; 27: 181-189.
21. Zurbau A, Smircic Duvnjak L, Magas S, Jovanovski E, Miodic J, Jenkins AL, et al. Co-administration of viscous fiber, Salba-chia and ginseng on glycemic management in type 2 diabetes: A double-blind randomized controlled trial. *Eur J Nutr.* 2021; 60: 3071-3083.
22. Vuksan V, Choleva L, Jovanovski E, Jenkins AL, Au-Yeung F, Dias AG, et al. Comparison of flax (*Linum usitatissimum*) and Salba-chia (*Salvia hispanica* L.) seeds on postprandial glycemia and satiety in healthy individuals: A randomized, controlled, crossover study. *Eur J Clin Nutr.* 2017; 71: 234-238.
23. Ho H, Lee AS, Jovanovski E, Jenkins AL, Desouza R, Vuksan V. Effect of whole and ground Salba seeds (*Salvia Hispanica* L.) on postprandial glycemia in healthy volunteers: A randomized controlled, dose-response trial. *Eur J Clin Nutr.* 2013; 67: 786-788.
24. Toscano LT, da Silva CS, Toscano LT, de Almeida AE, Santos Ada C, Silva AS. Chia flour supplementation reduces blood pressure in hypertensive subjects. *Plant Foods Hum Nutr.* 2014; 69: 392-398.
25. Yonemoto N, Yonga G, Zaidi Z, Zenebe ZM, Zipkin B, Murray CJL. Health effects of overweight and obesity in 195 countries over 25 years. *N Engl J Med.* 2017; 377: 13-27.
26. Tavares Toscano L, Tavares Toscano L, Leite Tavares R, da Oliveira Silva CS, Silva AS. Chia induces clinically discrete weight loss and improves lipid profile only in altered previous values. *Nutr Hosp.* 2014; 31: 1176-1182.
27. Vuksan V, Jenkins AL, Brissette C, Choleva L, Jovanovski E, Gibbs AL, et al. Salba-chia (*Salvia hispanica* L.) in the treatment of overweight and obese patients with type 2 diabetes: A double-blind randomized controlled trial. *Nutr Metab Cardiovasc Dis.* 2017; 27: 138-146.
28. Da Silva C, Monteiro C, da Silva G, Sarni R, Souza F, Feder D, et al. Assessing the metabolic impact of ground chia seed in overweight and obese prepubescent children: Results of a double-blind randomized clinical trial. *J Med Food.* 2020; 23: 224-232.
29. Valenzuela R, Bascuñán K, Chamorro R, Barrera C, Sandoval J, Puigredon C, et al. Modification of docosahexaenoic acid composition of milk from nursing women who received alpha linolenic acid from chia oil during gestation and nursing. *Nutrients.* 2015; 7: 6405-6424.
30. Rodrigues CF, Salgueiro W, Bianchin M, Veit JC, Puntel RL, Emanuella T, et al. *Salvia hispanica* L. (chia) seeds oil extracts reduce lipid accumulation and produce stress resistance in *Caenorhabditis elegans*. *Nutr Metab (Lond).* 2018; 15: 83.
31. Fernandez I, Giacomino MS, Condori AI, Godoy MF, Pellegrino N, Slobodianik N, et al. Effect of n-3 fatty acids supplementation on serum lipid profile of rats. *Rev Chil Nutr.* 2021; 48: 170-178.
32. Fernández-Martínez E, Lira-Islas IG, Cariño-Cortés R, Soria-Jasso LE., Pérez-Hernández E, Pérez-Hernández N. Dietary chia seeds (*Salvia hispanica*) improve acute dyslipidemia and steatohepatitis in rats. *J Food Biochem.* 2019; 43: e12986.
33. Da Silva BP, Toledo RCL, Grancieri M, Moreira MEC, Medina NR, Silva RR, et al. Effects of chia (*Salvia hispanica* L.) on calcium bioavailability and inflammation in Wistar rats. *Food Res Int.* 2019; 116: 592-599.
34. Marineli RDS, Lenquist SA, Moraes ÉA, Maróstica MR Jr. Antioxidant potential of dietary chia seed and oil (*Salvia hispanica* L.) in diet-induced obese rats. *Food Res Int.* 2015; 76: 666-674.
35. Sosa Crespo I, Chel Guerrero L, Acevedo Fernández JJ, Negrete León E, Betancur Ancona D. Evaluation of the hypoglycemic effect of a peptide fraction of chia seeds (*Salvia hispanica*) in male Wistar rats induced with alloxan. *Nutr Hosp.* 2021; 38: 1257-1262.
36. Montes Chañi EM, Pacheco SOS, Martínez GA, Freitas MR, Ivona JG, Ivona JA, et al. Long-term dietary intake of chia seed is associated with increased bone mineral content and improved hepatic and intestinal morphology in Sprague-Dawley rats. *Nutrients.* 2018; 10: 922.
37. Fortino MA, Oliva ME, Rodriguez S, Lombardo YB, Chicco A. Could post-weaning dietary chia seed mitigate the development of dyslipidemia, liver steatosis and altered glucose homeostasis in offspring exposed to a sucrose-rich diet from utero to adulthood? *Prostaglandins Leukot Essent Fat Acids.* 2017; 116: 19-26.
38. Grancieri M, Martino HSD, Gonzalez de Mejia E. Chia (*Salvia hispanica* L.) Seed total protein and protein fractions digests reduce biomarkers of inflammation and atherosclerosis in macrophages in vitro. *Mol Nutr Food Res.* 2019; 63: e1900021.
39. Divakar G, Rana J, Saito L, Vredevelde D, Zemaitis D, Scholten J. Inhibitory effect of a novel combination of *Salvia hispanica* (chia) seed and *Punica granatum* (pomegranate) fruit extracts on melanin production. *Fitoterapia.* 2014; 97: 164-171.
40. Quintal-Bojórquez NDC, Carrillo-Cocom LM, Hernández-Álvarez AJ, Segura-Campos MR. Anticancer activity of protein fractions from chia (*Salvia hispanica* L.). *J Food Sci.* 2021; 86: 2861-2871.
41. Martínez Leo EE, Segura Campos MR. Neuroprotective effect from *Salvia hispanica* peptide fractions on pro-inflammatory modulation of HMC3 microglial cells. *J Food Biochem.* 2020; 44: e13207.
42. Zhang S, Tang MB, Luo HY, Shi CH, Xu YM. Necroptosis in neurodegenerative diseases: A potential therapeutic target. *Cell Death Dis.* 2017; 8: e2905.
43. Sun Q; Ma J, Campos H, Rexrode KM, Albert CM, Mozaffarian D, Hu FB. Blood concentrations of individual long-chain n-3 fatty acids and risk of nonfatal myo-cardial infarction. *Am J Clin Nutr.* 2008; 88: 216-223.
44. Arterburn LM; Hall EB; Oken H. Distribution, interconversion, and dose response of n-3 fatty acids in humans. *Am J Clin Nutr.* 2006; 83(6 Suppl): 1467S-1476S.
45. Valenzuela R, Gormáz J, Masson L, Vizcarra M, Cornejo P,

- Valenzuela C, et al. Evaluation of the hepatic bioconversion of alpha-linolenic acid (ALA) to eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) in rats fed with oils from chia (*Salvia hispanica*) or rosa mosqueta (*Rosa rubiginosa*). *Grasas y Aceites*. 2012; 63: 61-69.
46. Rincón-Cervera MÁ, Valenzuela R, Hernandez-Rodas MC, Barrera C, Espinosa A, Marambio M, Valenzuela A. Vegetable oils rich in alpha linolenic acid increment hepatic n-3 LCPUFA, modulating the fatty acid metabolism and antioxidant response in rats. *Prostaglandins Leukot Essent Fat Acids*. 2016; 111: 25-35.
 47. Valenzuela R, Barrera C, González-Astorga M, Sanhueza J, Valenzuela A. Alpha linolenic acid (ALA) from *Rosa canina*, *sacha inchi* and *chia* oils may increase ALA accretion and its conversion into n-3 LCPUFA in diverse tissues of the rat. *Food Funct*. 2014; 5: 1564-1572.
 48. Barceló-Coblijn G, Murphy EJ. Alpha-linolenic acid and its conversion to longer chain n-3 fatty acids: Benefits for human health and a role in maintaining tissue n-3 fatty acid levels. *Prog Lipid Res*. 2009; 48: 355-374.
 49. Jeffery NM, Newsholme EA, Calder PC. Level of polyunsaturated fatty acids and the n-6 to n-3 polyunsaturated fatty acid ratio in the rat diet alter serum lipid levels and lymphocyte functions. *Prostaglandins Leukot Essent Fat Acids*. 1997; 57: 149-160.
 50. Chicco A, D'Alessandro M, Hein G, Oliva M, Lombardo Y. Dietary chia seed (*Salvia hispanica* L.) rich in α -linolenic acid improves adiposity and normalizes hypertriglycerolaemia and insulin resistance in dyslipaemic rats. *Br J Nutr*. 2009; 101: 41-50.
 51. Rossi A, Oliva M, Ferreira MR, Chicco A, Lombardo YB. Dietary chia seed induced changes in hepatic transcription factors and their target lipogenic and oxidative enzymes activities in dyslipidaemic insulin-resistant rats. *Br J Nutr*. 2013; 109: 1617-1627.
 52. Oliva ME, Ferreira MR, Chicco A, Lombardo YB. Dietary Salba (*Salvia hispanica* L.) seed rich in α -linolenic acid improves adipose tissue dysfunction and the altered skeletal muscle glucose and lipid metabolism in dyslipide- mic insulin-resistant rats. *Prostaglandins Leukot Essent Fat Acids*. 2013; 89: 279-289.
 53. Ferreira MR, Alvarez SM, Illesca P, Giménez MS, Lombardo YB. Dietary Salba (*Salvia hispanica* L.) ameliorates the adipose tissue dysfunction of dyslipemic insulin-resistant rats through mechanisms involving oxidative stress, inflammatory cytokines and peroxisome proliferator-activated receptor γ . *Eur J Nutr*. 2018; 57: 83-94.
 54. Vazquez-Prieto MA, Bettaieb A, Rodriguez Lanci C, Soto VC, Perdicaro DJ, Galmarini GR, et al. Catechin and quercetin attenuate adipose inflammation in fructose-fed rats and 3T3-L1 adipocytes. *Mol Nutr Food Res*. 2015; 59: 622-663.
 55. Echeverría F, Ortiz M, Valenzuela R, Videla LA. Long-chain polyunsaturated fatty acids regulation of PPARs, signaling: Relationship to tissue development and aging. *Prostaglandins Leukot Essent Fat Acids*. 2016; 114: 28-34.
 56. el Azzouzi H, Leptidis S, Bourajaj M, Armand AS, van der Nagel R, van Bilsen M, et al. Peroxisome proliferator-activated receptor (PPAR) gene profiling uncovers insulin-like growth factor-1 as a PPAR alpha target gene in cardioprotection. *J Biol Chem*. 2011; 286: 14598-14607.
 57. Tapia G, Valenzuela R, Espinosa A, Romanque P, Dossi C, Gonzalez-Mañán D, et al. N-3 long-chain PUFA supplementation prevents high fat diet induced mouse liver steatosis and inflammation in relation to PPAR- α upregulation and NF- κ B DNA binding abrogation. *Mol Nutr Food Res*. 2014; 58: 1333-1341.