

Estudio preliminar sobre compuestos bioactivos del Sacha Inchi: actividad biológica, métodos de extracción y su potencial en la industria de alimentos y farmacológico

Jeanellys De Jesús Torres Castro
Trabajo de Grado Presentado para Optar al Título de Químico
Director: PhD. MSc. Mara Isabel Orozco Solano

Universidad Nacional Abierta Y A Distancia – UNAD
Escuela De Ciencias Básicas, Tecnología E Ingeniería
Programa de Química
Abril 2022

Dedicatoria

Esta monografía, si bien ha requerido de esfuerzo y mucha dedicación, no hubiese sido posible su finalización sin la cooperación desinteresada de todas y cada una de las personas que me acompañaron en el recorrido laborioso de este trabajo y muchas de las cuales han sido un soporte muy fuerte en momentos de angustia y desesperación, primero y antes que todo, dar gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio; a mi hija Laura Bray Torres que con su paciencia y amor me acompañó en cada momento, animándome siempre a terminar mis estudios pese a los obstáculos y dificultades que se presentaron; a mi tutora MSc. Mara Isabel Orozco Solano que con su amplia experiencia y conocimientos me apoyó incondicionalmente y orientó al correcto desarrollo y culminación con éxito este trabajo para la obtención del título de químico, a través de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD; autoridades y docentes.

Agradecimientos

Me van a faltar páginas para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de este trabajo, sin embargo merecen reconocimiento especial mi madre Dannis Castro Molina, gracias por tu esfuerzo y dedicación para ayudarme a culminar mi carrera universitaria y por darme el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

A mi hija Laura Bray Torres, Gracias por entender que, durante el desarrollo de esta tesis, fue necesario sacrificar situaciones y momentos a su lado para así poder completar exitosamente mi trabajo académico. Agradezco cada una de tus sonrisas y tus muestras de cariño hacia mí. Todos mis esfuerzos han valido la pena porque has estado a mi lado, iluminándome con tu amor. Estoy muy orgullosa de ser tu madre. De igual forma, agradezco a mi Tutora de tesis MSc. Mara Isabel Orozco, gracias por su disposición y dedicación permanentes, por sus aportes, correcciones y orientaciones que me ayudaron crecer como persona, y gracias a sus conocimientos hoy puedo sentirme contenta y satisfecha porque lo logramos.

Resumen

El presente trabajo evidencia el análisis de compuestos bioactivos de Sacha Inchi en términos de su actividad biológica, determinación de sus propiedades nutricionales y antinutricionales, plataformas analíticas existentes para la extracción, análisis y determinación de compuestos bioactivos, propiedades fisicoquímicas de Sacha Inchi y la identificación de compuestos minoritarios de la fracción no saponificable del aceite de Sacha Inchi.

El estudio permitió relacionar los compuestos fenólicos presentes en esta planta con la prevención de enfermedades cardiovasculares y otras enfermedades crónicas, los tocoferoles con su actividad antioxidante y el mantenimiento de la integridad de las membranas celulares, los ácidos grasos omega-3 (ω -3) y omega-6 (ω -6) con funciones de regulación de la presión arterial y las respuestas inflamatorias, carotenoides y fitoesteroles que actúan en la prevención de diferentes tipos de cáncer.

Es importante destacar que la bioprospección del sachá inchi permite explorar compuestos con alto potencial. Este cultivo es auto sostenible, orgánico, rentable y económico; precede la creación de nuevas alternativas de nutrición y económicas en las regiones y en el país.

Según la investigación científica actual, Sacha Inchi debido a su composición y alto contenido de compuestos como proteínas y antioxidantes demuestra sus posibilidades de mejorar la alimentación al ser incluido en la dieta humana; no obstante; el contenido de antinutrientes llamados saponinas y taninos en semillas y productos horneados han dejado claro que estos compuestos están presentes en las partes insaponificables del aceite de Sacha Inchi.

Finalmente, con respecto a los componentes menores de la fracción no saponificable incluyen una serie de compuestos heterogéneos como los hidrocarburos, los alcoholes, los

esteroles, los compuestos volátiles y los antioxidantes, y los derivados de los AG, como los fosfolípidos, las ceras y los ésteres de esteroides, como los más importantes. A pesar de la pequeña concentración de componentes menores en aceites vegetales como el aceite de Sacha Inchi, el cual presenta una alta cantidad de AG insaturados, éstos desempeñan un papel clave en la calidad y el comportamiento de los diferentes aceites vegetales y en su caracterización.

Palabras clave: Sacha Inchi, compuestos bioactivos, propiedades nutricionales y antinutricionales, antioxidantes, bioprospección del Sacha Inchi

Abstract

The present work evidences the analysis of bioactive compounds of Sacha Inchi in terms of their biological activity, determination of their nutritional and antinutritional properties, existing analytical platforms for the extraction, analysis and determination of bioactive compounds, physicochemical properties of Sacha Inchi and the identification of minor compounds of the unsaponifiable fraction of Sacha Inchi oil.

The study allowed to relate the phenolic compounds present in this plant with the prevention of cardiovascular diseases and other chronic diseases, tocopherols with their antioxidant activity and the maintenance of the integrity of cell membranes, omega-3 fatty acids (ω -3) and omega-6 (ω -6) with blood pressure regulation functions and inflammatory responses, carotenoids and phytosterols that act in the prevention of different types of cancer.

It is important to note that sacha inchi bioprospecting allows the exploration of compounds with high potential. This crop is self-sustaining, organic, profitable and economical; precedes the creation of new nutritional and economic alternatives in the regions and in the country.

According to current scientific research, Sacha Inchi, due to its composition and high content of compounds such as proteins and antioxidants, demonstrates its potential to improve nutrition when included in the human diet; However; The content of antinutrients called saponins and tannins in seeds and baked goods have made it clear that these compounds are present in the unsaponifiable parts of Sacha Inchi oil.

Finally, with respect to the minor components of the unsaponifiable fraction, they include a series of heterogeneous compounds such as hydrocarbons, alcohols, sterols, volatile compounds and antioxidants, and derivatives of FAs, such as phospholipids, waxes and sterol esters, as the most important. Despite the small concentration of minor components in vegetable oils such as Sacha Inchi oil, which has a high amount of unsaturated FA, they play a key role in the quality and behavior of the different vegetable oils and in their characterization.

Keywords: Saha Inchi, bioactive compounds, *nutritional* and *antinutritional* properties, Antioxidants, Sacha Inchi bioprospecting.

Tabla de contenido

| | |
|--|-----------|
| Introducción e información general | 16 |
| Planteamiento del Problema | 18 |
| Justificación | 20 |
| Objetivos | 23 |
| Objetivo General..... | 23 |
| Objetivos específicos | 23 |
| Marco de antecedentes | 24 |
| Marco legal | 29 |
| Marco teórico | 33 |
| Hoja de la planta de Sacha Inchi..... | 37 |
| Aceite de la Semilla de Sacha Inchi..... | 41 |
| Composición química del aceite de Sacha Inchi..... | 43 |
| Obtención del aceite de Sacha Inchi | 44 |
| Torta de sancha Inchi | 45 |
| Efecto antioxidante del aceite | 46 |
| Actividad de barrido de radicales libres DPPH | 47 |
| Biomoléculas presentes en la planta de sacha Inchi | 47 |
| Ácidos grasos..... | 47 |
| Triacilgliceroles..... | 51 |
| Tocoferoles | 52 |
| Carotenoides | 53 |

| | |
|--|-----------|
| | 9 |
| El licopeno | 54 |
| Fitoesteroles | 55 |
| Actividad biológica de Sacha Inchi | 57 |
| Propiedades fisicoquímicas y aspectos sensoriales de Sacha Inchi | 59 |
| Aplicaciones alimenticias del Sacha Inchi..... | 60 |
| Aceite comestible..... | 60 |
| Técnicas analíticas para la caracterización de aceites..... | 60 |
| Caracterización por espectrometría de masas. | 61 |
| Sacha Inchi en Formulaciones alimenticias | 62 |
| Usos no alimentarios de Sacha Inchi | 63 |
| Síntesis de Nanopartículas a partir de Sacha Inchi | 63 |
| Productos cosméticos y farmacéuticos. | 67 |
| Biodiesel | 68 |
| Metodología | 71 |
| Búsqueda de la información..... | 71 |
| Organización de la información..... | 76 |
| Análisis de la información | 76 |
| Resultados y discusión | 77 |
| Análisis de las propiedades nutricionales de Sacha Inchi..... | 1 |
| Análisis de la Composición lipídica | 3 |
| Análisis de la composición mineral | 4 |
| Análisis de las propiedades antinutricionales de Sacha Inchi..... | 5 |
| Métodos de extracción de Sacha Inchi: | 6 |

| | |
|---|----|
| | 10 |
| Técnicas analíticas para el análisis y determinación de compuestos bioactivos de la planta de Sacha Inchi: | 9 |
| Determinación de carotenoides..... | 12 |
| Determinación de fitoesteroles por cromatografía de gases (CG)..... | 13 |
| Determinación de tocoferoles por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) | 13 |
| Determinación del perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases (cg) | 13 |
| Introducción de la Bioprospección de Sacha Inchi..... | 15 |
| Comparativo de las características fisicoquímicas del aceite y semilla de sachá Inchi con respecto al aceite crudo de pescado. | 17 |
| Tendencias e innovaciones del aprovechamiento de biocompuestos presentes en Sacha Inchi. | 20 |
| Capacidades científicas, tecnológicas y comerciales de la planta Sacha Inchi..... | 22 |
| Investigaciones en biocompuestos en Colombia | 22 |
| Compuestos grasos del Sacha Inchi..... | 25 |
| Compuestos minoritarios de la fracción insaponificable | 30 |
| Fracción insaponificable del Sacha Inchi | 32 |
| Esteroles | 33 |
| Alcoholes alifáticos..... | 37 |
| Triterpenos | 38 |
| Métodos para la determinación de esteroides, fenoles y compuestos triterpénicos y alifáticos | 39 |
| Secado..... | 39 |
| Preparación. | 40 |

| | |
|--|-----------|
| | 11 |
| Detección-cuantificación individual de los compuestos minoritarios | 43 |
| Conclusiones | 45 |
| Recomendaciones | 47 |
| Anexos | 48 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 51 |

Lista de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Área, Producción y Rendimiento Nacional de Sacha Inchi. | 24 |
| Tabla 2. Área, Producción y Rendimiento Departamental de Sacha Inchi. | 26 |
| Tabla 3. Normatividad legal vigente sobre Sacha Inchi en Colombia. | 30 |
| Tabla 4. Composición química de la semilla de Sacha Inchi | 34 |
| Tabla 5. Sacha Inchi | 36 |
| Tabla 6. Composición química de la hoja de Sacha Inchi | 38 |
| Tabla 7. Composición química de la semilla de Sacha Inchi | 41 |
| Tabla 8. Composición proximal de la torta de Sacha Inchi | 45 |
| Tabla 9. Propiedades de la semilla de Sacha Inchi | 58 |
| Tabla 10. Sacha Inchi en Formulaciones alimenticias | 62 |
| Tabla 11. Síntesis de Nanopartículas a partir de Sacha Inchi | 66 |
| Tabla 12. Productos cosméticos y farmacéuticos a partir de Sacha Inchi | 67 |
| Tabla 13. Biodiésel a base de Sacha Inchi | 70 |
| Tabla 14. Criterios de búsqueda y selección de la información en bases de datos. | 74 |
| Tabla 15. Relación de compuestos bioactivos de Sacha Inchi. | 78 |
| Tabla 16. Propiedades nutricionales de Sacha Inchi | 2 |
| Tabla 17. Características de los métodos de extracción de Sacha Inchi | 7 |
| Tabla 18. Descripción general de algunos métodos empleados para determinar la autenticidad del aceite de Sacha Inchi. | 10 |
| Tabla 19. <i>Características Fisicoquímicas del aceite de la planta Sacha Inchi, y Crudo de Pescado</i> | 18 |
| Tabla 20. Principales esteroides presentes en los alimentos analizados por GC | 36 |

Lista de ilustraciones

| | |
|--|----|
| Ilustración 1. Principales Zonas Productoras de Sacha Inchi en Colombia. | 27 |
| Ilustración 2. Estructura química del Gluten. Elaboración propia | 36 |
| Ilustración 3. Estructura química de compuestos polifenólicos flavonoides. Los esqueletos básicos constan de tres anillos: dos aromáticos y un heterociclo oxigenado..... | 39 |
| Ilustración 4. Potencial agroindustrial del Sacha Inchi | 42 |
| Ilustración 5. Proceso agroindustrial para la producción del aceite de Sacha Inchi | 44 |
| Ilustración 6. Mecanismo de acción del radical DPPH..... | 47 |
| Ilustración 7. Estructura química de ácidos grasos..... | 50 |
| Ilustración 8. Estructura química de Triacilgliceroles..... | 51 |
| Ilustración 9. Estructura química de la vitamina E (a-tocoferol)..... | 53 |
| Ilustración 10. Estructura molecular del β -caroteno. Elaboración propia..... | 54 |
| Ilustración 11. Estructura química del licopeno predominante en los vegetales. Elaboración propia | 55 |
| Ilustración 12. Estructura molecular del Beta-sitosterol. Elaboración propia..... | 57 |
| Ilustración 13. Transesterificación de grasas y aceites. Elaboración propia..... | 69 |
| Ilustración 14. Plataforma analítica para la determinación de compuestos bioactivos de la planta de Sacha Inchi. | 12 |
| Ilustración 15. Ejemplo de un triacilglicérido mixto con 3 diferentes tipos de ácidos. Elaboración propia | 27 |
| Ilustración 16. Ruta metabólica de un triacilglicérido. | 28 |

| | |
|--|----|
| | 14 |
| Ilustración 17. Estructura química de un triacilglicerol y su reacción de degradación..... | 29 |
| Ilustración 18. Esquema de la composición química del sacha Inchi (fracciones saponificables y no saponificables) | 31 |
| Ilustración 19. Biosíntesis de esteroides y triterpenoides a través de la vía del acetato-mevalonato..... | 34 |
| Ilustración 20. Estructura química de los principales esteroides vegetales..... | 35 |
| Ilustración 21. Fruto de Sacha Inchi..... | 48 |
| Ilustración 22. Plukenetia volubilis..... | 48 |
| Ilustración 23. Planta de Sacha Inchi | 49 |
| Ilustración 24. Fruto y semilla de Sacha Inchi..... | 49 |

Lista de acrónimos

¹H NMR: Espectroscopia de resonancia magnética nuclear de protón

AG: Ácidos grasos

APCI: Ionización química a presión atmosférica

CFPP: Analizador de punto de obstrucción de filtros en frío

CG-EM: Cromatografía de gases acoplada a espectrometría masas

CG-FID: Cromatografía de gases con detector de ionización de llama

DPPH: Eliminación de radicales

ESI: Ionización por electrospray

FD: Detector de fluorescencia

FTIR: Espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier

FTIR: Infrarrojo por transformada de Fourier

GC-FID: Cromatografía de gases-detector de ionización de llama

HPLC-DAD: Cromatografía líquida de alta resolución-detector de matriz de diodos

IR: Índice de refracción

IA: Índice de acidez

II: Índice de Iodo

IR ATR: Espectroscopia infrarroja con reflectancia total atenuada

OSI: Índice de estabilidad oxidativa

LDL: Lipoproteínas de baja densidad

MB: azul de metileno

MS: Espectrofotometría de masas

PLSR: Regresión de mínimos cuadrados parciales

RID: Índice de refracción

S.F: Sin fecha

SC-CO₂: Dióxido de carbono supercrítico

SI: Sacha Inchi

TAG: Triacilgliceroles

TEM: Microscopía electrónica de transmisión

Introducción e información general

La importancia de los biocompuestos de cultivos de plantas oleaginosas en el área agrícola se enfoca en la calidad nutricional de este y el potencial de aprovechamiento que pueden generarse a partir de estos. Sacha Inchi es una planta oleaginosa que produce una semilla rica en ácidos grasos esenciales y no esenciales que se encuentran principalmente en el aceite extraído de la semilla, el cual actualmente está siendo industrializado y con un potencial de estudio en el área de la salud frente a todas las ventajas que puede generar su consumo en la dieta nutricional. La industria que está generando la extracción de aceite, las diferentes transformaciones de sus subproductos y su investigación alrededor de los biocompuestos, están generando mayor rentabilidad a productores de sachu inchi a nivel nacional.

Actualmente en Colombia sólo son reconocidos como cultivos del cual se obtiene material oleaginoso como aceite: palma de aceite, soya, ajonjolí y algodón (MADR, 2001) y el aceite vegetal de Sacha Inchi, con una cantidad de omegas 3, 6 y 9 similares y comparables, incluso mayores en algunos casos al del aceite de oliva extra virgen, sigue sin ser reconocido como una cadena agroindustrial. Este factor se origina por la falta de estudios que soporten los beneficios para la salud que ofrece el cultivo de sachu inchi, sus derivados y lo económico del cultivo. Hoy en día el ministerio de agricultura tiene la mirada puesta en Sacha Inchi y ya son varios los proyectos de regalías que están soportando investigaciones de ciencia y tecnología alrededor de la planta de sachu inchi, lo que generará mayores garantía y respaldo a sus productores y a su cadena de producción.

Colombia presenta una variedad agroclimática que permite que se desarrolle adecuadamente diferentes cultivos con potencial oleaginoso. Es por esta razón que este estudio se basa en una revisión bibliográfica sobre la identificación de los biocompuestos del cultivo de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*), se revisan las principales actividades biológicas que se generan a partir de ellos, el conocer cuáles son las técnicas de extracción y potencial en la industria de alimentos y cosmético. Esta es una planta con potencial agroindustrial debido a su valor nutricional y a partir de esto, se abre mercado en la industria de suplementos dietéticos, los alimentos funcionales, los productos cosméticos y de cuidado personal y el de mercados sostenibles (Hughes,2009).

Planteamiento del Problema

A Nivel mundial y en Colombia, la cadena de producción de Sacha inchi ha cobrado mucha fuerza en los últimos años por sus altos niveles nutricionales y por el impacto socio ambiental que tiene para su proceso de siembra, que resulta ser fácil, y en la mayoría de los casos de forma orgánica, utilizando para ello el uso mínimo de insecticidas o herbicidas debido a la resistencia a plagas que tiene la planta. Sin embargo, es importante reconocer que el desconocimiento en regiones sobre todo rurales, así como urbanas de las propiedades nutricionales y antinutricionales de la planta es aún fuente de estudio, incluso en algunas de las zonas de más cultivo. A nivel regional, el departamento del Putumayo se consolida como el mayor productor de Sacha inchi con 282 hectáreas sembradas, seguido por el Valle del Cauca, Caquetá y Antioquia, de acuerdo con la estadística presentada por el Ministerio de agricultura y desarrollo rural de la cadena de Sacha Inchi correspondiente al año 2019.

La carencia de investigaciones que recopilen la información de la actividad biológica, plataformas analíticas para la extracción, análisis y determinación de los compuestos bioactivos de Sacha Inchi, así como su potencial uso en las industria de alimentos y farmacológica, hacen útil el desarrollo de este proyecto de trabajo de grado, el cual pretende ser una herramienta indispensable de consulta en el ámbito académico, científico y social, que permite conocer la investigación bibliográfica frente a la bioactividad de compuestos de Sacha Inchi, reconociendo las propiedades de productos y subproductos que pueden ser aprovechados en procesos biotecnológicos, bioinformáticos

otorgándole la posibilidad de convertirse en una de las cadenas de producción sostenible en el mundo.

Justificación

En Colombia la diversidad agroclimática favorece la siembra de diferentes especies con potencial oleaginoso. En este contexto Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) es considerada una planta con potencial agroindustrial debido a su valor nutricional por su alto contenido en omega-3 (ω -3), 6 (ω -6), 9 (ω -9) y un valor alimenticio de aproximadamente 90,34% de ácidos grasos insaturados, constituyéndose así, en una planta que se puede posicionar en diversos segmentos del mercado como son los suplementos dietéticos, los alimentos funcionales, los productos cosméticos y de cuidado personal y el de mercados sostenibles (Hughes,2009).

Por estas razones, la presente investigación se fundamenta en la revisión bibliográfica de los últimos 10 años de artículos científicos de revistas indexadas, repositorios e investigaciones relacionadas con la especie Sacha Inchi en Colombia, con el propósito de identificar la actividad biológica en la planta de Sacha Inchi, sus compuestos bioactivos y rutas metabólicas para la biosíntesis y degradación de triglicéridos (TAG), rutas encargadas de la liberación de ácidos grasos poliinsaturados y metabolómica del Sacha Inchi, para su aprovechamiento en el marco del desarrollo sostenible y las tecnologías utilizadas para estos procesos.

En términos generales el presente documento está dirigido a las comunidades académicas del país y a la población del sector agroindustrial, así como la industria de alimentos y farmacológica; y a quienes les resulte de interés los aportes aquí relacionados.

Se han realizado muchos estudios afines con la presente revisión bibliográfica sobre Sacha Inchi; en términos de su composición nutricional, actividad biológica, y usos, sus propiedades funcionales y estructurales sobre los cuales es importante destacar los que tienen que ver con la composición de ácidos grasos de Sacha Inchi (*Plukenetia volúbilis* Linneo) y su relación con la bioactividad del vegetal; la síntesis de catalizadores y análisis de los genes implicados en el ácido α -linolénico de la planta que permiten definir la importancia de su estudio en el mundo y en Colombia para la seguridad alimentaria de Sacha Inchi, según disposiciones legales vigentes.

En este sentido; resulta de vital importancia destacar el proyecto de investigación de la Universidad Pontificia Bolivariana, la Universidad Nacional y la Universidad Eafit, quienes conjuntamente con recursos del Sistema General de Regalías de la Gobernación de Antioquia, emprendieron la aventura científica, técnica y social de un proyecto con la oleaginosa promisoría Sacha Inchi con miras a su desarrollo agroindustrial. De este proyecto, investigadores del Grupo de Investigaciones Agroindustriales de la Universidad Pontificia Bolivariana, lideraron el diseño, construcción y puesta en marcha de una planta prototipo de obtención de harina a partir de la torta residual de Sacha Inchi con el fin de formular un modelo agroindustrial que permita agregar valor al fruto obtenido de esta oleaginosa a través del desarrollo de procesos, prototipos y productos innovadores que cumplan con las exigencias de los mercados internacionales.

Por todo lo anterior, en este contexto es pertinente desde el punto de vista académico aportar en la recopilación de información relacionada con los compuestos bioactivos del Sacha Inchi: actividad biológica, métodos de extracción, técnicas

analíticas, su potencial en la industria de alimentos y farmacológico a fin de que tanto las universidades como el sector industrial continúen realizando estudios que puedan conllevar al fortalecimiento y consolidación de la Cadena Productiva del cultivo de Sacha Inchi en el país y su uso en diferentes sectores de la economía nacional.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un estudio preliminar del análisis de compuestos bioactivos de Sacha inchi: actividad biológica, plataformas analíticas de extracción y análisis, así como su potencial en la industria de alimentos y farmacológico mediante una revisión bibliográfica de los últimos 10 años usando las bases de datos de la Universidad.

Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica de los últimos 10 años sobre el panorama mundial, nacional y regional de los compuestos bioactivos, determinación de sus propiedades nutricionales y antinutricionales, la actividad biológica en la planta y fruto de Sacha Inchi.
- Analizar las plataformas analíticas existentes para la extracción, análisis y determinación de compuestos bioactivos de la planta de sachá Inchi y cómo estos influyen en las propiedades nutricionales de los productos obtenidos a partir de Sacha Inchi.
- Revisar las propiedades fisicoquímicas y aspectos sensoriales de Sacha inchi que lo hacen una fuente potencial y diversa de utilización de la planta entera en la industria de alimentos y farmacológica.
- Identificar los compuestos minoritarios de la fracción no saponificable del aceite de sachá Inchi, su importancia y determinación, como parte introductoria al estudio de la metabolómica del Sacha Inchi.

Marco de antecedentes

Según estudios, Sacha Inchi es un árbol ancestral originario del Amazonas en Sudamérica, especialmente en los densos bosques del Perú. Esto fue explicado por primera vez por el científico, naturalista, botánico y zoólogo sueco Carl von Linnaeus (Panamericana, 2007). Entonces su nombre científico es *Pulkenetia Volubilis* Linnaeus.

Según datos de la industria relacionados con la Cadena Sasha Inchi 2019 presentados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, se estima que existen alrededor de 2.300 fabricantes en unas 2.000 unidades de producción en el país. En la *tabla 1* que se muestra a continuación, se relaciona el área, la producción y rendimiento nacional de Sacha Inchi con respecto a los años del 2014 al 2018.

Tabla 1.

Área, Producción y Rendimiento Nacional de Sacha Inchi.

| <i>Variable</i> | <i>2014</i> | <i>2015</i> | <i>2016</i> | <i>2017</i> | <i>2018</i> |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Área Sembrada (Ha) | 119 | 191 | 573 | 873 | 1.100 |
| Área Cosechada (Ha) | 73 | 111 | 228 | 648 | 760 |
| Producción (Ton) | 121 | 150 | 330 | 1.671 | 2.419 |
| Rendimiento (Ton/ha) | 1,66 | 1,35 | 1,45 | 2,58 | 3,18 |

Fuente: Evaluaciones Agropecuarias Municipales.
Proyectado EVAS.

El 99% de los productores de este cultivo, reportan que realizan el manejo del cultivo con un enfoque de agricultura orgánica, y se cuenta con un reporte de información sectorial que indica que existen más de 50 organizaciones de productores, en 21 departamentos del territorio nacional. La tabla 2 presenta el área de producción y rendimiento departamental de Sacha Inchi en Colombia en los años 2015 al 2018

reportados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2019), mientras que la ilustración 1 se relacionan las mismas variables para las principales zonas productoras de Sacha Inchi zonas del país.

Tabla 2.*Área, Producción y Rendimiento Departamental de Sacha Inchi.*

| Departamento | 2015 | | | 2016 | | | 2017 | | | 2018 | | |
|---------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------|
| | Área Sembrada (Ha) | Producción (Ton) | Rendimiento (Ton/ha) |
| Putumayo | 81 | 89,1 | 1,0 | 100 | 89,66 | 1,0 | 179 | 137 | 1,5 | 202 | 303,3 | 1,4 |
| Valle del Cauca | 6,2 | 10,4 | 2,0 | 25,7 | 42,65 | 1,8 | 153,7 | 79,75 | 1,9 | 192,7 | 364,15 | 2,8 |
| Caquetá | | | | | | | 50 | 8 | 0,4 | 100 | 600 | 6,0 |
| Antioquia | | | | | | | 55 | 54,7 | 2,0 | 134 | 250,1 | 2,6 |
| Meta | | | | | | | 40 | 0 | 0,0 | 80 | 0 | 0,0 |
| Cauca | 30 | 17,5 | 3,5 | | | | 21 | 4,5 | 1,3 | 52 | 55,5 | 4,2 |
| Boyacá | | | | | | | | | | 35 | 52,5 | 3,5 |
| Casanare | | | | | | | 1,5 | 0 | 0,0 | 3,5 | 0 | 0,0 |
| Vichada | | | | 3 | 3,2 | 1,6 | 10,5 | 16,5 | 1,8 | 10,5 | 15 | 1,6 |
| Otros | 2 | 4 | 2 | 62 | 14,8 | 5,3 | 62 | 30 | 1 | 63,5 | 30 | 0,5 |

Fuente: Evaluaciones Agropecuarias Municipales.

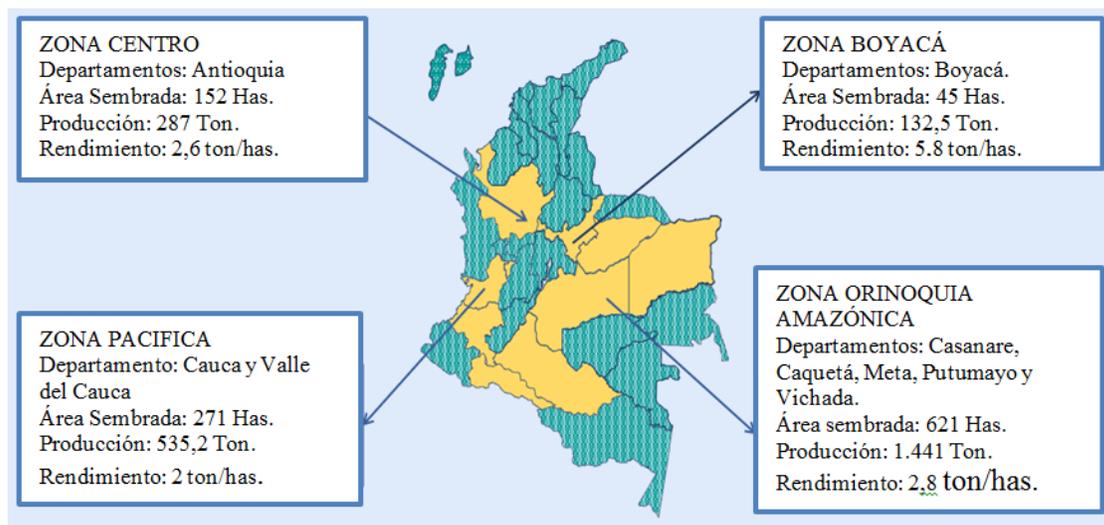


Ilustración 1. Principales Zonas Productoras de Sacha Inchi en Colombia.

Fuente: Evaluaciones Agropecuarias Municipales.

En este contexto de las evaluaciones agropecuarias relacionadas con Sacha Inchi, resulta de vital importancia resaltar el notable incremento en el número y diversidad de publicaciones con resultados de investigaciones sobre el cultivo de las plantas de Sacha Inchi y la caracterización de sus partes y derivados. De acuerdo con la revista de investigación agraria y ambiental de la Universidad Nacional Abierta y a distancia UNAD, en los últimos años se han implementado diferentes proyectos de Investigación relacionados el estudio de esta especie vegetal, algunos de ellos son: Recursos y nuevas opciones en la alimentación animal: torta de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*), (Henao Zambrano, J. C., & Barreto Cruz, O. T. (2016), otro de los estudios denominado Evaluación de los procesos agronómicos de dos sistemas productivos de Sacha Inchi (*plukenetia volubilis*) como especie promisoría en clima medio y cálido en los municipios de San Pablo de Borbur y Briceño Boyacá Colombia (Peña, E. & Cancelado, G. I. (2018), Evaluación a nivel in vitro del efecto de la variación nutricional sobre la actividad

promotora de crecimiento vegetal en microorganismos asociados a plantas de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo), (Rojas Copete, & Agualimpia V. D. (2019) realizado por la Universidad de Santander; entre otras.

De igual manera, se registran repositorios, investigaciones y diferentes artículos relacionados con la evaluación del contenido de compuestos fenólicos, tocoferoles, ácidos grasos, carotenoides, fitoesteroles y capacidad antioxidante de semillas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en su mayoría procedentes del material genético de la colección nacional de esta especie vegetal, así como estudios enfocados en el análisis de la composición de ácidos grasos de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) y su relación con la bioactividad del vegetal. Actualmente, existen estudios para determinar la oxidación del aceite de Sacha Inchi bajo parámetros fisicoquímicos y oxidación acelerada por calorimetría diferencial de barrido, en Rancimat (Chirinos et al., 2015); con el cual ha sido posible comprobar que el índice de estabilidad oxidativa (OSI) realizado a temperaturas elevadas de reacción mediante el método Rancimat, está altamente correlacionada con los índices fisicoquímicos de calidad ($0,9322 < r < 0,9965$) en el proceso de oxidación acelerada del aceite de Sacha Inchi; estimando la vida útil del aceite con el método Rancimat a temperaturas usuales de almacenamiento de 20 °C, 25 °C y 30 °C en 3,29, 1,79, 0,79 años respectivamente.

Marco legal

Con el desarrollo del presente trabajo, también se hace una revisión de los lineamientos establecidos por la Constitución de Colombia y la ley de implementación que regula las competencias relacionadas con Sacha Inchi.

La Tabla 3 muestra las leyes y regulaciones actuales relacionadas con Sacha Inchi promulgadas por el Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar y el Consejo de Colombia, que pueden afectar el desarrollo de productos. Aspectos e implicaciones ambientales a tener en cuenta a la hora de comprar materias primas y preparar productos:

Tabla 3.

Normatividad legal vigente sobre Sacha Inchi en Colombia.

| <i>Normativa</i> | <i>Descripción</i> |
|------------------------------------|--|
| Resolución 2674 de 2013 | Establece los requisitos sanitarios que deben cumplir las personas naturales y/o jurídicas que ejercen actividades de fabricación, procesamiento, preparación, envase, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización de alimentos y materias primas de alimentos y los requisitos para la notificación, permiso o registro de los alimentos, según el riesgo de la salud pública, con el fin de proteger la vida y la salud de las personas. |
| Resolución 0288 de 2008 | Establece el reglamento técnico sobre requisitos de rotulado o etiquetado nutricional que deben cumplir los alimentos envasados para consumo humano. |
| Norma Técnica Colombiana NTC 258 | Grasas y aceites comestibles vegetales y animales, aceite de oliva. Establece definiciones, requisitos generales y específicos, toma de muestras y criterio de aceptación o rechazo. Hace referencia a normas de ensayo. Incluye envase y rotulado. |
| Norma Técnica Colombiana NTC 217 | Grasas y aceites vegetales y animales, muestreo. Describe los métodos de muestreo para grasas y aceites animales y vegetales, crudos o procesados, cualquiera sea su origen y sea su estado líquido o sólido. También describe al aparato utilizado para este proceso. |
| Norma Técnica Colombiana NTC 512-1 | Industrias alimentarias. Rotulado o etiquetado. Parte 1. Norma general. Establece los requisitos mínimos de los rótulos o etiquetas de los envases o empaques en que se expenden los productos alimenticios, incluidos los de hostelería, para consumo humano. |
| Decreto 1072 | Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo. El objeto de este decreto es compilar la normatividad vigente del sector Trabajo, expedida por el Gobierno nacional. Aplica a las entidades del sector Trabajo, así como a las relaciones jurídicas derivadas de los vínculos laborales, y a las personas naturaleza o jurídicas que en ellas intervienen. |

| | |
|----------------------|---|
| Ley 9 de 1979 | Por la cual se dictan medidas sanitarias. Las normas generales que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar o mejorar las condiciones necesarias en lo que se relaciona a la salud humana. |
| Ley 905 de 2004 | Por medio de la cual se modifica la Ley 590 de 2000 sobre promoción del desarrollo del micro, pequeña y mediana empresa colombiana y se dictan otras disposiciones. |
| Ley 550 de 1999 | Establece un régimen que promueva y facilite la reactivación empresarial, la reestructuración de los entes territoriales para asegurar la función social de las empresas, lograr el desarrollo armónico de las regiones y se dictan disposiciones para armonizar el régimen legal vigente con las normas de esta ley. |
| Decreto 3075 de 1997 | Regula, entre otros, las condiciones sanitarias de fabricación, envasado, transporte, manipulación, almacenamiento, comercialización, etc., de los alimentos y materias primas para alimentos que se fabriquen, envasen, expendan, exporten o importen, para el consumo humano. Establece los registros sanitarios que deberán llevarse a cabo ante el INVIMA (Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos). |

Fuente: Elaboración propia.

- Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos – PNGIBSE (2011) - gestión de la biodiversidad en Colombia (Ambiente).
- Política para el desarrollo comercial de la biotecnología a partir del uso sostenible de la biodiversidad (2011) - condiciones e instrumentos que facilitan la creación y desarrollo de empresas alrededor del uso sostenible de la biodiversidad (social, 2011).
- Proyecto CONPES Política Farmacéutica Nacional- incluye sostenibilidad ambiental y el aprovechamiento de la biodiversidad e incentivos al desarrollo de la biotecnología farmacéutica y el diseño y formulación de Fito terapéuticos (Salud).

En la actualidad, la semilla de Sacha Inchi ya es sembrada en Colombia, en departamentos como el Caquetá, Putumayo, Villavicencio, Antioquia, Quindío, Santander, Valle del Cauca entre otros; sin embargo aún no tiene mayor reconocimiento en la capital del país (Fondo Biocomercio, 2014). Ya que gran porcentaje de esta semilla es sembrada principalmente con fines de exportación.

La sencilla producción del aceite de la semilla Sacha Inchi y su popularidad a nivel internacional gracias a sus propiedades beneficiosas para la salud son los incentivos para creer que este es un producto que podría venderse y ser exitoso en Colombia, lo que quiere decir que es viable la producción y comercialización de productos derivados de Sacha Inchi de acuerdo a la normativa nacional.

Marco teórico

Actualmente, las semillas de Sacha Inchi se siembran en zonas como Caquetá, Putumayo, Villavicencio, Antioquia, Quindío, Santander y Valle del Cauca en Colombia. Sin embargo, aún necesita ser mejor reconocido en la capital nacional (Fondo Biocomercio, 2014). La fácil producción de Sacha Inchi y la popularidad mundial de sus propiedades promotoras de la salud tienen éxito en Colombia, puesto que está disponible para la venta, siendo que la mayoría de estas semillas se siembran principalmente con fines de exportación. Esto significa que la fabricación y venta de productos derivados de Sacha Inchi es factible de acuerdo con la normativa nacional. Otros componentes de interés nutricional son los fitoesteroles, tocoferoles, carotenos (Chirinos et al., 2013) y compuestos fenólicos (Fanali et al., 2011) que se relacionan a continuación en la *tabla 4*.

Tabla 4.*Composición química de la semilla de Sacha Inchi*

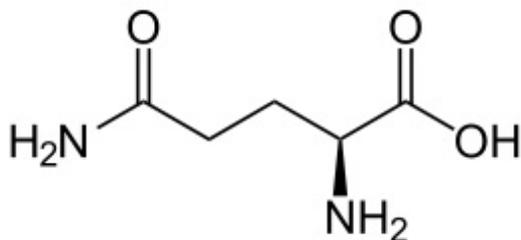
| Componente | Valor |
|---|--------------------|
| Lípidos | |
| Aceite | (41.4%) |
| Lípidos Neutros | (97,2%) |
| Ácidos Grasos Libres | (1,2%) |
| Fosfolípidos | (0,8%) |
| Proteína | (24.7%). |
| Leucina | (64%) |
| Tirosina | (55 mg / g) |
| Isoleucina | (50 mg / g) |
| Lisina | (43 mg / g) |
| Treonina | (43 mg / g) |
| Valina | (40 mg / g) |
| Minerales | |
| Potasio | (5563.5 ppm) |
| Magnesio | (3210 ppm) |
| Calcio | (2406 ppm) |
| Hierro | (103.5mg / kg), |
| Zinc | (49.0mg / kg) |
| Sodio | (15.4mg / kg) |
| Cobre | (12.9mg / kg) |
| Ácidos Grasos | |
| Ácidos A-Linolénico | (50.8%) |
| Linoleico | (33.4%) |
| Carbohidratos | |
| Fibra dietética insoluble en agua (IDF) | 72,4% |
| Fibra dietética soluble (SDF), | 9.0% |
| Carotenoides | 8.4 µg / g |

Tomado de Chirinos et al., 2013; Follegatti-Romero et al., 2009; Gutiérrez et al., 2011; Maurer, Hatta-Sakoda, Pascual-Chagman & Rodríguez-Saona, 2012.

Los lípidos son el componente principal de las semillas de Sacha Inchi. Cabe aclarar que la variación genética puede causar superposición de contenido de lípidos entre diferentes tipos de semillas oleaginosas. El contenido de proteína depende del método de extracción y la dosis de proteína utilizada. La proteína de la semilla contiene 37 mg / 100 g de aminoácido azufrado (metionina cisteína) y 9 mg / g de fenilalanina (Hamaker et al., 1992).

Las proteínas granulares solubles se componen principalmente de polipéptidos monoméricos de 32–35kDa y ~60–62kDa (Sathe et al., 2002). Estas proteínas granulares tienen polipéptidos unidos por disulfuro (Sathe et al., 2002).

La albúmina es una proteína básica (pI~9.4) que contiene todos los aminoácidos esenciales necesarios para los adultos. Por lo tanto, la proteína de semilla de Sacha Inchi es altamente nutritiva y se puede desarrollar para la nutrición humana, especialmente en el creciente mercado de alimentos sin gluten, debido a que ésta es una proteína compuesta por gliadina y glutenina, asociada a trastornos como la alergia al trigo, la enfermedad celíaca (autoinmune) y la sensibilidad al gluten no celíaca. La estructura química del gluten se relaciona en la *ilustración 2*

Ilustración 2.*Estructura química del Gluten.**Fuente:* Elaboración propia

Un estudio realizado por la Facultad de Ciencias agropecuarias de la Universidad Nacional de Trujillo, Perú; titulado “Pan de molde enriquecido con torta extruida de sachá Inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Química, reología, textura y aceptabilidad” ha demostrado que cuando la torta desgrasada extruida de SI es adicionada a la harina de trigo, tiende a debilitarla, actuando como diluyente del gluten lo que constituye resultados satisfactorios con relación al aspecto nutricional.

Cáscara de Sacha Inchi

El análisis proximal de la cáscara de Sacha Inchi que se muestra en la tabla 5, evidencia que está constituida principalmente por fibra (77.8%).

Tabla 5.*Sacha Inchi*

| <i>Componente</i> | <i>%</i> |
|-------------------|-------------|
| Cenizas | 1.75 ± 0.08 |
| Grasa | 0.39 ± 0.02 |

| | |
|-------------------------|---------------|
| Proteína | 2.75 ± 0.03 |
| Fibra bruta | 77.84 ± 0.63 |
| Extracto no nitrogenado | 17.27 ± 0.000 |

Nota. Adaptado de “Composición química de la cáscara de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) y alternativas para su aprovechamiento como subproducto agroindustrial” (p. 30), por R. Benítez B, C. Coronel T, Z. A. Hurtado Ordoñez, J. Martín F., 2014, *El Hombre y la Máquina*, 46 (15).

La cáscara de Sacha Inchi incinerada está constituida principalmente por macronutrientes de (K, Ca y Mg) que conforman el 98% del total de elementos analizados, y otros micronutrientes esenciales para las plantas (B, Co, Cu, Fe, Mn, Se, Zn), los elementos no esenciales (Al, Ga, Li) y los metales pesados (Ba, Be, Bi, Cd, Cr, Pb, Ni, Sr, Tl), solo representan el 2,58 %. (R. Benítez B; C. Coronel T; Z. A. Hurtado Ordoñez; J. Martín F. 2014).

Hoja de la planta de Sacha Inchi

Las hojas de Sacha Inchi contienen terpenoides, saponinas, compuestos fenólicos (flavonoides) y otros componentes involucrados en su actividad antioxidante. (Nascimento et al., 2013).

Los terpenoides, las saponinas y los compuestos fenólicos (flavonoides) son los principales compuestos bioactivos presentes en las hojas que tienen actividad antiproliferativa contra determinadas células tumorales (Nascimento et al., 2013). Esta composición química de la hoja de Sacha Inchi se expone en la tabla 6 relacionada a continuación:

Tabla 6.*Composición química de la hoja de Sacha Inchi*

| <i>Componente</i> | <i>Valor</i> |
|-------------------------|--|
| Taninos | (69,42 mg de equivalentes de cianidina / g) |
| Taninos hidrolizables | (3,28 mg de GAE / g) |
| Lignanós | (0,84 mg de diglucósido de secoisolaricirecinol / g) |
| Ácidos fenólicos unidos | (0,40 mg de GAE / g) |
| Flavonoides | (0,36 mg equivalentes de quercetina / g) |
| Flavonoides | mg 0,15 CE (catequina) / g |
| Ácidos fenólicos libres | (0,11 mg GAE / g) |

Nota: GAE: valores expresados en equivalentes de ácido gálico (EAG) por gramo de muestra. (CE): análisis por electroforesis capilar.

Nota: Adaptado de “Taninos hidrolizables y condensados: naturaleza química, ventajas y desventajas de su consumo” (p. 86), por Alma A. Vázquez-Flores, Emilio Alvarez-Parrilla, José Alberto López-Díaz, Abraham Wall-Medrano y Laura A. De La Rosa, 2012, Tecnociencia Chihuahua. Revista, 6 (2).

Los polifenoles flavonoides presentan un esqueleto químico que consta de dos anillos aromáticos y un anillo heterocíclico oxigenado tal como se evidencia en la *ilustración 3* que presenta algunos compuestos flavonoides y sus estructuras químicas básicas.

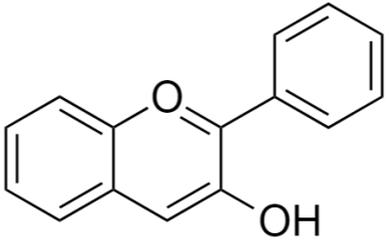
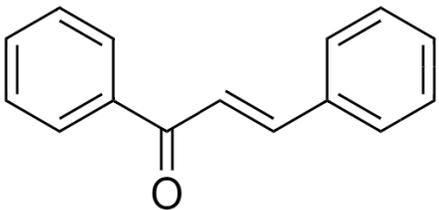
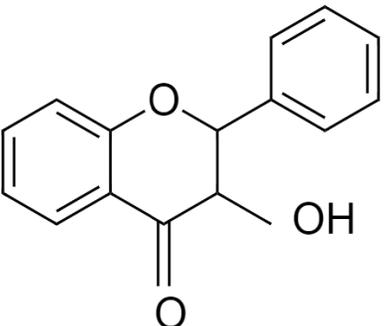
Los flavonoides tienen los grupos estructuralmente más diversos, ya que sus estructuras básicas son las que tienen más probabilidades de ser reemplazadas por grupos hidroxilo (-OH), metoxilo (-O-CH₃), acilo (-CO), y glucósidos.

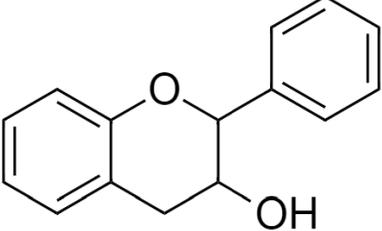
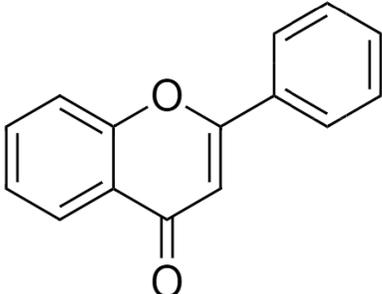
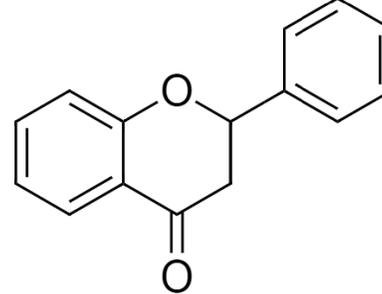
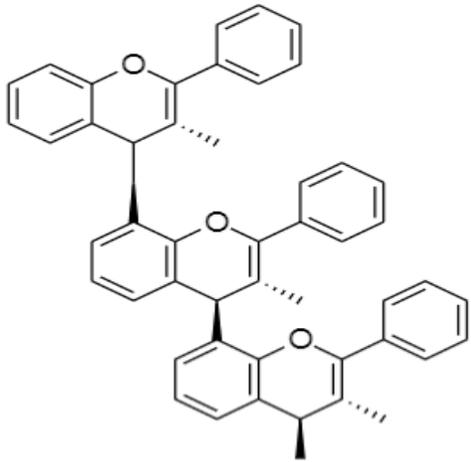
Los taninos son compuestos macromoleculares que tienen suficientes grupos hidroxilo unidos a sus estructuras fenólicas y poseen propiedades de complejación con

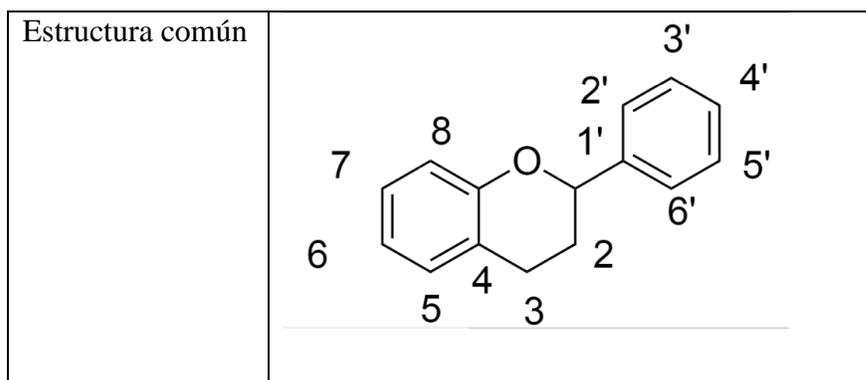
proteínas, minerales y otras macromoléculas (Reed, 2010). Se han identificado alcoholes fenólicos, flavonoides, escolidoides y fenoles de tipo lignano en el aceite de semilla de Sacha Inchi (Fanali et al., 2011).

Ilustración 3.

Estructura química de compuestos polifenólicos flavonoides. Los esqueletos básicos constan de tres anillos: dos aromáticos y un heterociclo oxigenado.

| Clase | Estructura básica |
|-------------------|---|
| Antocianidina |  |
| Chalconas |  |
| Dihidroflavonoles |  |

| | |
|---------------------|---|
| Flavanol |  <chem>Oc1cc2ccccc2oc1-c3ccccc3</chem> |
| Flavones |  <chem>O=C1C=C(c2ccccc2)Oc3ccccc13</chem> |
| Flavanonas |  <chem>O=C1C=C(c2ccccc2)Oc3ccccc13</chem> |
| Taninos condensados |  <chem>c1ccc(cc1)C2=C(O)C(OC3=CC=CC=C3)C=C2c4ccc(O)c(Oc5ccc(O)c(Oc6ccc(O)c(O)c6)c5)c4</chem> |



Nota. Adaptado de “Taninos hidrolizables y condensados: naturaleza química, ventajas y desventajas de su consumo” (p. 86), por Alma A. Vázquez-Flores, Emilio Alvarez-Parrilla, José Alberto López-Díaz, Abraham Wall-Medrano y Laura A. De La Rosa, 2012, Tecnociencia Chihuahua. Revista, 6 (2).

Aceite de la Semilla de Sacha Inchi

Actualmente el aceite de Sacha Inchi es ampliamente aceptado por parte de los consumidores nacionales como internacionales por sus altos niveles de ácidos grasos insaturados (linoleico y linolénico) y su contenido de vitaminas A y E (Krivankova et al., 2007). Para analizar el aceite de la semilla de Sacha Inchi, resulta pertinente relacionar la composición química de la semilla tal como se presenta en la *tabla 7*.

Tabla 7.

Composición química de la semilla de Sacha Inchi

| <i>Componente</i> | <i>Valor</i> | <i>Autor</i> |
|--------------------------------------|--------------|------------------------|
| Proteínas | 25% | Gutiérrez et al., 2011 |
| <i>Aminoácidos esenciales</i> | | |
| Isoleucina | (50 mg/g) | |
| Leucina | (79 mg/g) | |
| Lisina | (72 mg/g) | Sathe et al. 2002 |

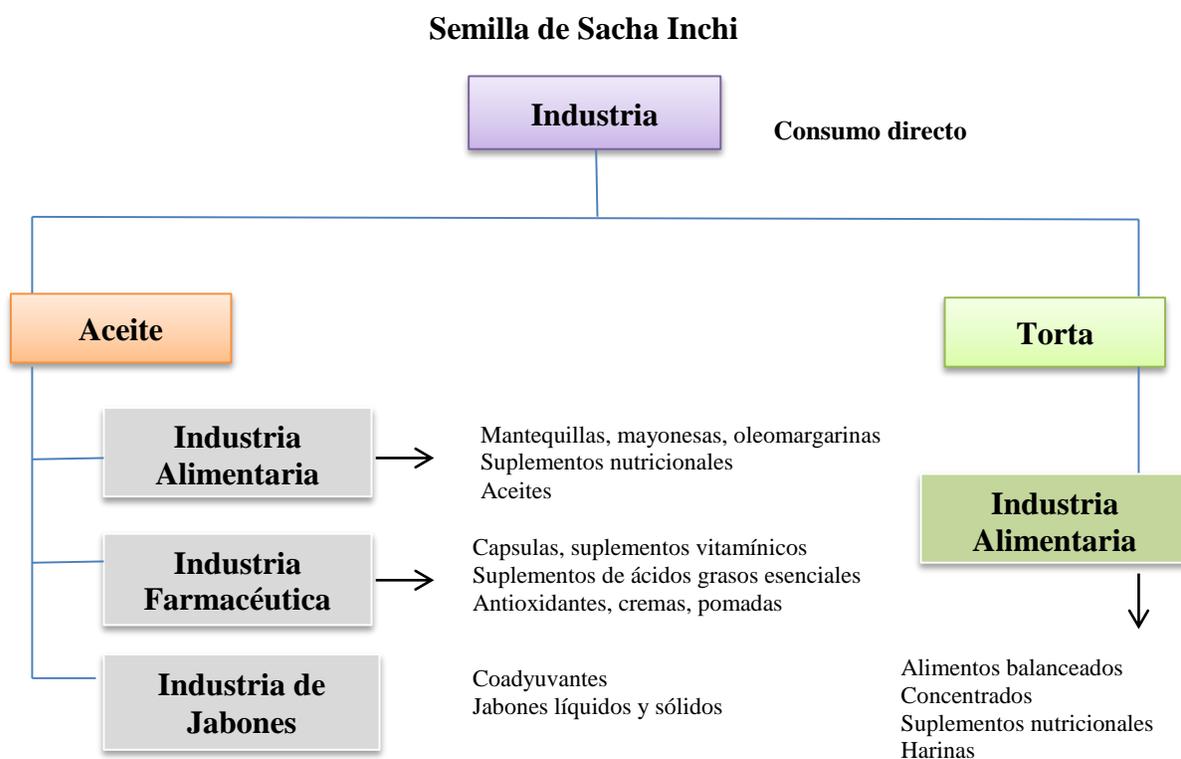
| | |
|-------------------------|-----------|
| Tirosina | (58 mg/g) |
| Valina | (62 mg/g) |
| Metionina + Cisteína | (57 mg/g) |
| Fenilalanina + Tirosina | (67 mg/g) |
| Treonina | (57 mg/g) |

Nota: Adaptado de Ramos Escudero, D. (2014). Caracterización y trazabilidad del aceite de Sacha Inchi. (*Plukenetia volubilis* Linneo). Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla. Depósito de investigación Universidad de Sevilla.

De acuerdo con su composición química, el potencial agroindustrial del cultivo de Sacha Inchi se fundamenta en la creciente aceptación del mercado internacional del aceite virgen y en menor proporción, de la harina proteica, que se sustenta en las propiedades nutricionales que presenta esta semilla oleaginosa. En la *ilustración 4* se presenta el potencial agroindustrial de las semillas de Sacha Inchi.

Ilustración 4.

Potencial agroindustrial del Sacha Inchi





Nota: Adaptado de Ramos Escudero, D. (2014). Caracterización y trazabilidad del aceite de Sacha Inchi. (*Plukenetia volubilis* Linneo). Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla. Depósito de investigación Universidad de Sevilla. https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/58887/I_T-PROV37.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Composición química del aceite de Sacha Inchi

En términos de la caracterización química del aceite de sachá Inchi, se referencia el contenido de ácidos grasos poliinsaturados en las semillas (Bondioli et al., 2006; Follegatti-Romero et al., 2009) y en el aceite (Guillén et al., 2003). Otros estudios proporcionan información sobre el contenido de aminoácidos, siendo la cisteína, tirosina, treonina y triptófano los más predominantes (Hamaker et al., 1992).

Los triglicéridos identificados por Fanali et al. (2011) mediante HPLC-APCI-MS, contenían cinco ácidos grasos diferentes, (palmítico, linoleico, linolénico, oleico, y esteárico). Los componentes predominantes (>50%) fueron dilinoleoil-linoleoil-glicerol (LnLLn), dilinoleoil-linoleoil-glicerol (LLnL), y trilinolenina (LnLnLn). La mayoría de los triglicéridos del aceite de Sacha inchi (>80%) contienen al menos un residuo de ácido linolénico.

El aceite de Sacha Inchi es una fuente rica en tocoferoles (Follegatti-Romero et al., 2009), y el γ -tocoferol representa más del 50% de todo el contenido de tocoferoles (Fanali et al., 2011). Los tocoferoles (α , β , γ y δ -tocoferol) actúan como antioxidantes por su capacidad para secuestrar los radicales peroxilo de moléculas de lípidos insaturados,

impidiendo la propagación de la peroxidación de lípidos, principalmente en los ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs) (Morales et al.,2012).

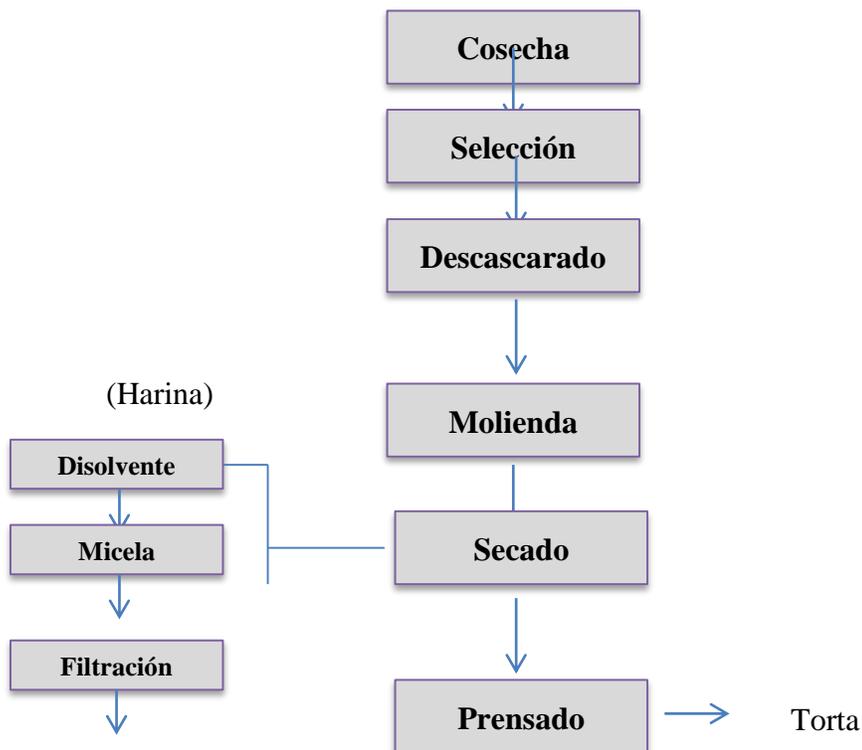
Obtención del aceite de Sacha Inchi

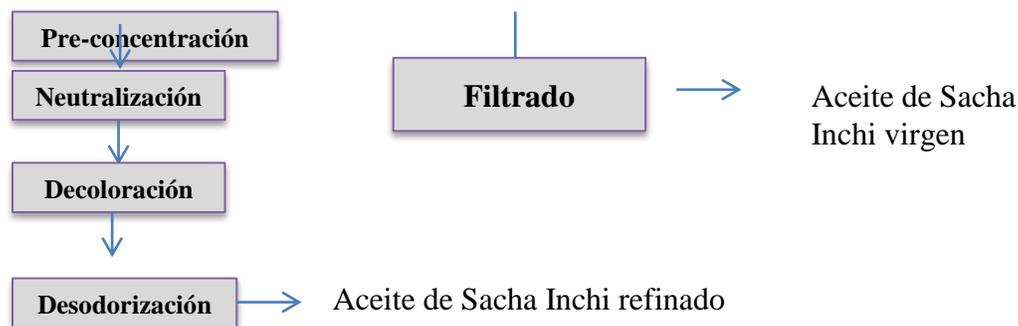
La extracción y la elaboración por prensado en frío, a partir de las almendras, hacen del aceite de Sacha Inchi un aceite de alta calidad para la alimentación y la salud.

Las etapas del proceso agroindustrial para el proceso de producción del aceite de Sacha Inchi se muestran en la *ilustración 5*.

Ilustración 5.

Proceso agroindustrial para la producción del aceite de Sacha Inchi





Nota: Adaptado de Ramos Escudero, D. (2014). Caracterización y trazabilidad del aceite de Sacha Inchi. (*Plukenetia volubilis* Linneo). Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla. Depósito de investigación Universidad de Sevilla.

Torta de sancha Inchi

La almendra de sancha Inchi, desengrasada o torta, es considerada un subproducto agroindustrial en la extracción del aceite de sacha Inchi; presenta alto contenido nutricional con aplicabilidad al sector alimentario.

En términos de la composición proximal de la torta de sacha Inchi en base seca, presenta como componente mayoritario el contenido de proteína, y una fracción lipídica significativa; estos resultados son comparados con los datos reportados por Pascual et al.(2000) y Mondragón (2009), a través de la *tabla 8*

Tabla 8.

Composición proximal de la torta de Sacha Inchi

| <i>Componente</i> | <i>Valor</i> | <i>Pascual et al(2000).</i> | <i>Mondragón (2009)</i> |
|-------------------|--------------|-----------------------------|-------------------------|
| Humedad | 7,15 ±0,24 | 0.70 | 5.09 |
| Cenizas | 5,19 ±0,01 | 8.72 | 3.24 |
| Grasa | 4,84 ±0,02 | 6.93 | 37.33 |
| Proteína | 51,23 ±0,10 | 59.13 | 34.26 |

| | | | |
|-------------------------|--------------|-------|-------|
| Fibra Bruta | 4,79 ± 0,02 | 17.30 | 3.16 |
| Extracto No Nitrogenado | 26,50 ± 0,00 | 7.91 | 22.01 |

Nota: Adaptado de Ramos Escudero, D. (2014). Caracterización y trazabilidad del aceite de Sacha Inchi. (*Plukenetia volubilis* Linneo). Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla. Depósito de investigación Universidad de Sevilla.

Efecto antioxidante del aceite

La vitamina E tiene un papel en la prevención del ataque de los radicales libres en los tejidos. Porque es uno de los componentes lipídicos de las membranas celulares (Niu et al., 2009). Esta vitamina es capaz de estabilizar la estructura de la membrana formando complejos moleculares en esta medida, al tiempo que previene los trastornos relacionados con los desequilibrios anfipáticos que pueden ocurrir en las membranas. (Gallinger, 2015).

Los radicales libres son moléculas inestables; existen los de tipo primarios que se generan en los tejidos por condiciones que conducen al estrés oxidativo a nivel celular, provocando una cascada de radicales libres reactivos que atacan la materia orgánica celular y la hacen compatible con las proteínas que contiene. Peróxidos e hidroperóxidos, que muestran y causan daño biológico global a las células (Gebicki, 2015).

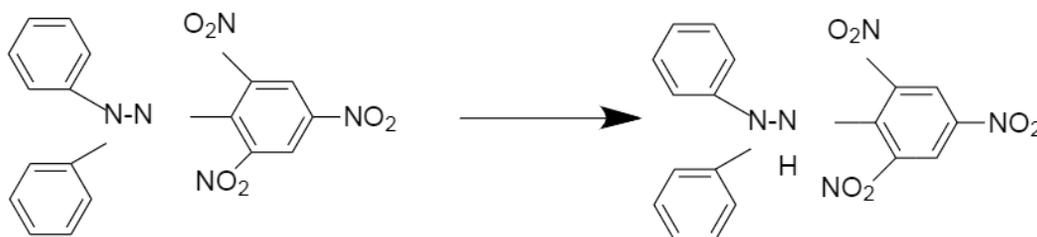
El aumento de la circulación de estos radicales libres induce la peroxidación de lípidos (peroxidación de lípidos) y proteínas, lo que no solo tiene un efecto de contraste en los animales, sino también frescura, sabor y olor, así como textura y color (Lawlor et al., 2003), es decir, reduce el tiempo de almacenamiento, por lo que los productos a este respecto generan un rechazo inmediato por parte del consumidor.

Actividad de barrido de radicales libres DPPH

Evalúa la capacidad de un posible antioxidante para reducir el radical DPPH. Un radical estable que presenta una coloración violeta intensa que se determina por métodos espectrométricos, para la concentración inicial de DPPH y la concentración resultante, una vez que se ha añadido el posible antioxidante, de forma que una disminución de la absorción de la radiación se traduce en una disminución de la concentración de DPPH debida a la cesión de electrones de la especie oxidante como se muestra en la *ilustración 6*

Ilustración 6.

Mecanismo de acción del radical DPPH



Fuente: Hurtado Ordoñez, Z. (2013). Análisis composicional de la torta y aceite de semillas de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) cultivada en Colombia. Tesis de magister Universidad Nacional de Colombia].

Biomoléculas presentes en la planta de sachá Inchi

Ácidos grasos.

Los AG (Ácidos grasos) son estructuras que se caracterizan por la presencia de un ácido carboxílico en un extremo, con un sustituyente correspondiente a una larga cadena de átomos de carbono, cuyo tamaño de la cadena puede variar en número. De tal

manera que la presencia de AG en los aceites de Sacha Inchi son indicadores de la autenticidad del aceite (Ramos Escudero, 2014).

En el caso de los AG insaturados estos pueden ser monoinsaturados, con un solo enlace doble o ácidos grasos poliinsaturados, con doble enlace omega-6 (ω -6) y triple enlace omega-3 (ω -3). En la familia omega-3 (ω -3) el primer doble enlace se encuentra en el tercer carbono del extremo de la cadena y en el caso de la familia omega-6 (ω -6), el primer doble enlace aparece en el sexto carbono (Sokoła-Wysoczańska et al., 2018).

Los ácidos grasos omega-3 (ω -3) son un grupo de biomoléculas poliinsaturadas, que presentan el primer enlace doble en el carbono de la posición 3 de la cadena del ácido graso contando desde el final de la cadena. Los más conocidos son el ácido graso alfa-linolénico (18 carbonos y 3 dobles enlaces), el ácido graso eicosapentaenoico o EPA (20 carbonos y 5 dobles enlaces) y el ácido graso docosahexaenoico o DHA (22 carbonos y 6 dobles enlaces).

En cuanto a los **ácidos grasos de tipo omega-6 (ω -6)** son de tipo insaturados, ya que, tienen enlaces dobles en sus cadenas; estos tienen la peculiaridad de tener el primer enlace doble en el carbono 6 desde el final de la cadena. Los principales tipos de ácido graso omega-6 (ω -6) son el ácido linoleico (18 carbonos y 2 dobles enlaces) y el ácido araquidónico (20 carbonos y 4 dobles enlaces) (Carhuapoma, 2009).

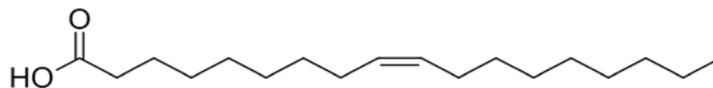
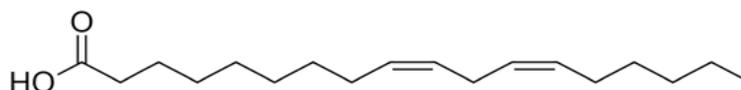
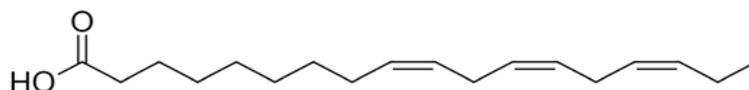
El **ácido graso omega-9 (ω -9)**, presenta solo un doble enlace en el carbono 9 de su estructura química. Su principal función radica en la capacidad de disminuir los niveles de lipoproteínas de baja densidad (LDL), sin afectar los niveles de lipoproteínas de alta densidad (HDL).

Así, es necesario regular el consumo de ácido graso **omega-9 (ω -9)** y las grasas saturadas, buscando obtener beneficios para la salud (Suzuki et al., 2001).

Los ácidos grasos presentes en el aceite de Sacha Inch se consideran esenciales para la nutrición humana. El ácido linolénico tiene la capacidad de reducir los niveles de triglicéridos (TGL) y aumentar los niveles de HDL. El ácido linoleico y el ácido oleico reducen el nivel de LDL en la sangre, lo que reduce los lípidos (Argüeso et al., 2011).

Según la naturaleza de la cadena hidrocarbonada los ácidos grasos se clasifican en saturados e insaturados.

Los ácidos grasos saturados presentan un comportamiento químico con poca reactividad. Contienen un número par de átomos de carbono, todos llenos de hidrógeno. Como ocurre con los ácidos grasos insaturados, los ácidos grasos poliinsaturados se expresan generalmente en forma de dobles enlaces de la misma cadena, estos no aparecen conjugados (alternados), sino cada tres átomos de carbono (Holub, 2002). La *ilustración 7*, presenta la estructura química de los ácidos grasos omega-3 (ω -3), 6 (ω -6), 9 (ω -9)

Ilustración 7.*Estructura química de ácidos grasos***A.****B.****C.**

Fuente: Valenzuela B., Alfonso, & Nieto K., Susana. (2003). Ácidos grasos omega-6 y omega-3 en la nutrición perinatal: su importancia en el desarrollo del sistema nervioso y visual. *Revista chilena de pediatría*, 74(2), 149-157

La estructura química del ácido oleico es un ácido graso monoinsaturado de la serie omega-9 (ω -9). Los ácidos grasos del tipo ω -6 (linoleico) son ácidos grasos insaturados por tener enlaces dobles en sus cadenas, tienen la peculiaridad de tener el primer enlace doble en el carbono de la posición 6, contando los carbonos desde el final de la cadena del ácido graso. En este sentido, se llama 'omega' a la posición de los dobles enlaces, en el extremo opuesto al ácido carboxílico. Así, por ejemplo, un ácido graso omega-3 (ω -3), es el que posee el primer doble enlace en el carbono número 3. Sería el ácido graso linolénico.

Por otra parte, resulta pertinente resaltar el grado de absorción de oxígeno por parte de los aceites se mide mediante el índice o valor de peróxido. El índice de peróxido máximo es de 10 miliequivalentes de oxígeno no activo por cada kg de aceite.

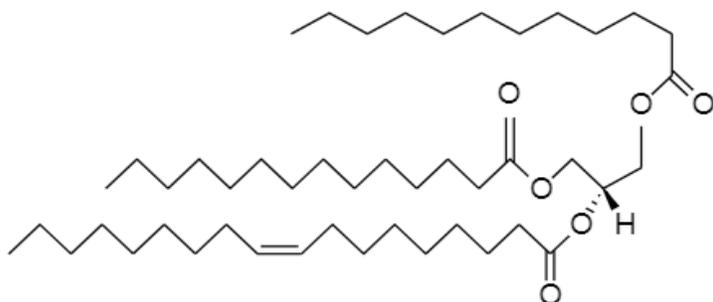
Es posible que los contenidos de Gama y Delta-tocoferol sean los responsables del bajo índice de peróxido y de la relativa buena capacidad de almacenamiento de la semilla (Ramos, 2013; Gómez, 2004).

Triacilgliceroles.

Los triacilgliceroles o triglicéridos son compuestos que parten de una molécula de glicerol unida a 3 ácidos grasos, tal como se representa en la *ilustración 8*. Estos también constituyen una medida de la calidad y autenticidad de los aceites comerciales, puesto que varían de un aceite a otro (Ramos Escudero, 2014).

Ilustración 8.

Estructura química de Triacilgliceroles



Nota: Los triacilgliceroles son ésteres de ácidos grasos con glicerol, el cual es un polialcohol de tres carbonos.

Tocoferoles

El tocoferol se encuentra comúnmente en aceites de semillas vegetales y comunes (germen de trigo y girasol), mientras que el tocotrienol se encuentra en altas concentraciones en granos (avena, cebada, centeno) y materiales de aceites vegetales (aceite de palma y salvado de arroz). . (Schwenke, 2002).

En el aceite de Sacha Inchi se determinó la presencia de tocoferoles siendo el γ -tocoferol el componente de mayor cantidad con más del 50% del total (Fanali et al., 2011). Por otro lado, estudios realizados por Cisneros et al. (2014) mostraron que cada 100 gramos del aceite de Sacha Inchi contiene 70.6 mg γ -tocoferol y 12.6 mg de δ -tocoferol, es decir, el γ -tocoferol representa cerca del 80% de la cantidad total de Vitamina E.

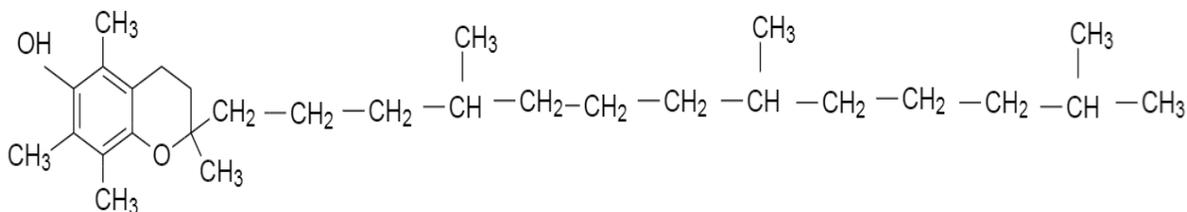
Los tocoferoles (α , β , γ y δ -tocoferol) actúan como antioxidantes por su capacidad para secuestrar los radicales peroxilo de moléculas de lípidos insaturados, impidiendo la propagación de la peroxidación de lípidos, principalmente en los ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs) (Morales *et al.*, 2012). Yoshida et al. (2003) sostienen que cada uno de los tocoles que conforman esta vitamina poseen diferente actividad antioxidante in vitro, la cual decrece en el orden $\alpha > \beta > \gamma > \delta$, al igual que su potencial biológico, considerándose generalmente, al α -tocoferol la forma más importante por ejercer una mayor actividad biológica.

En la *ilustración 9* se presenta la química de la vitamina E (a-tocoferol); vitamina E es el término genérico usado para describir a una familia de 8 antioxidantes liposolubles con dos tipos de estructuras: los tocoferoles (α -tocoferol, β tocoferol, γ -

tocoferol y δ -tocoferol) y los tocotrienoles (α -tocotrienol, β -tocotrienol, γ -tocotrienol y δ -tocotrienol), los mismos que se diferencian en la saturación de la cadena lateral, los primeros tienen una cadena saturada y los segundos una insaturada con tres dobles enlaces.

Ilustración 9.

Estructura química de la vitamina E (α -tocoferol)



Fuente: Elaboración propia

Nota: La vitamina E pertenece a la familia de compuestos poliprenoides. En estado natural tiene ocho diferentes formas de isómeros: cuatro tocoferoles y cuatro tocotrienoles. Todos ellos tienen un anillo aromático, llamado cromano, con un grupo hidroxilo y una cadena poliprenoide saturada.

Carotenoides

Son nutrientes liposolubles que de acuerdo con su composición química se clasifican en xantófilas o carotenos. La mayoría de las xantófilas se encuentran en vegetales verdes frondosos y los carotenos en vegetales amarillos. Los carotenoides más importantes son los alfa y beta carotenos, beta-cryptoxantina, luteína, violaxantina, neoxantina y el licopeno (Zeb y Mehmood, 2004).

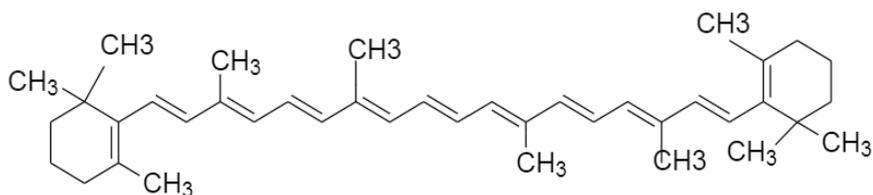
La estructura de los carotenoides está basada en sistemas de enlaces conjugados dobles dentro de cadenas largas y alifáticas. Siendo su estructura básica un tetraterpeno

simétrico y lineal de 40 carbonos, formado a partir de ocho unidades isoprenoides de 5 carbonos unidas de manera que el orden se invierte al centro. La gran mayoría de carotenos naturales tienen dobles enlaces en la posición trans, y sólo unos pocos exhiben una configuración cis-trans; a este tipo de estructuras se les llama carotenos.

Entre los carotenos, el β -caroteno se distingue por tener anillos beta en ambos extremos de la molécula como se muestra en la *ilustración 10*.

Ilustración 10.

Estructura molecular del β -caroteno.



Fuente: Elaboración propia.

El licopeno

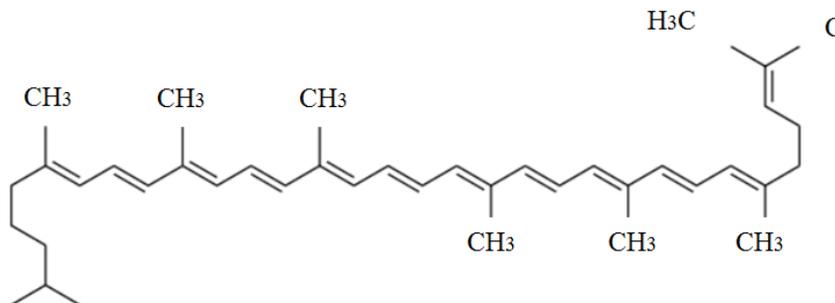
Es uno de los carotenoides que se encuentra distribuido en mayores cantidades en el suero humano (21-43% de los carotenoides totales)

La ingestión de compuestos antioxidantes bioactivos está directamente asociada con un riesgo reducido de enfermedades cardiovasculares y crónicas como el cáncer. Numerosos estudios se han centrado en el estudio del licopeno, cuya actividad puede revertir, retrasar o derogar las reacciones que inducen la oxidación de sustratos biológicos (Bárcenas, Preciado, y Iñiga, 2014).

El licopeno es el carotenoide más popular en las industrias cosmética, alimentaria y farmacéutica por sus propiedades colorantes y por ser considerado un poderoso antioxidante capaz de neutralizar los efectos dañinos de los radicales libres como, daño oxidativo a moléculas de lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, que podrían desencadenar enfermedades degenerativas (Waliszewski, y Blasco, 2010). La estructura del lipoceno se muestra en la *ilustración 11*.

Ilustración 11.

Estructura química del licopeno predominante en los vegetales.



Fuente: Elaboración propia

Fitoesteroles

Los fitoesteroles son compuestos fitoquímicos, con las mismas funciones básicas en plantas como el colesterol en animales. Regulan la fluidez de células vegetales y tienen otras funciones fisiológicas relacionadas con la biología de las plantas (Brufau et al., 2008). Hai (2007) señala que los esteroides de plantas más comunes son: el sitosterol, campesterol y stigmasterol, y que los estanoles de plantas más comunes son: el sitostanol, campestanol y stigmastanol.

Los fitoesteroles y fitoestanoles, son esteroides vegetales (compuestos con 28 o 29 átomos de carbono), de estructura similar al colesterol (27 carbonos). En el colesterol, esta cadena se forma por ocho carbonos saturados. En cambio, los fitosteroides presentan 9 ó 10 carbonos (β -sitosterol y campesterol), algunos presentan doble enlace: stigmasterol. En la *ilustración 12* se muestra la estructura molecular del Beta-sitosterol.

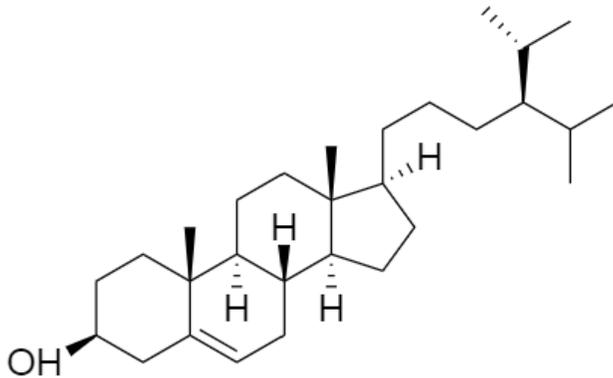
Se caracterizan porque poseen un grupo extra, ya sea etil (sitosterol) o metil (campesterol), en el lado de la cadena (Jong et al., 2003).

Las semillas de Sacha Inchi parecen tener un contenido más bajo de fitosteroides en comparación con la gama compuesta de nueces y semillas ricas en aceite comunes, como semillas de lino enteras y molidas, almendras, nueces de Brasil, anacardos, avellanas, nueces de macadamia, nueces, pistachos y nueces negras (95-270 mg / 100 g) (Phillips, Ruggio y Ashraf-Khorassani, 2005).

En el aceite de Sacha inchi se ha reportado la presencia de fitoesteroides, así en un estudio realizado por Bondioli et al. (2006), el contenido de esteroides totales llega a un 16 nivel de 247.2 mg/100g de aceite, siendo los encontrados en mayor porcentaje β -sitosterol, estigmasterol, y campesterol; además, cantidades trazas fueron hallados de avenasterol y colesterol.

Ilustración 12.

Estructura molecular del Beta-sitosterol.



Fuente: Elaboración propia

Actividad biológica de Sacha Inchi

Las semillas de Sacha Inchi (crudas o procesadas) y el aceite de semilla contienen varios antioxidantes, incluidos fenoles, α , β , γ y δ -tocoferoles y carotenoides. El índice de actividad antioxidante del tocoferol en semillas (de mayor a menor) $\gamma > \delta > \alpha > \beta$ (Schmidt y Pokorný, 2005).

Diferentes partes de la planta de Sacha Inchi (semilla, cáscara y hoja de la semilla) tienen diferentes propiedades antioxidantes, antibacterianas, antidislipidémicas y anticancerígenas tal como se relaciona en la *tabla 9*.

Tabla 9.*Propiedades de la semilla de Sacha Inchi*

| <i>Propiedades antioxidantes</i> | <i>Propiedades antibacterianas</i> | <i>Propiedades antidislipidémicas</i> | <i>Propiedades antioxidantes</i> |
|--|--|---|---|
| <p>La capacidad antioxidante del Sacha Inchi se ve afectada por métodos de cuantificación y procesamiento, y la composición antioxidante y las propiedades químicas de los componentes del material (Apak et al., 2013). Los métodos de procesamiento deben optimizarse para maximizar el potencial antioxidante de los productos de Sacha inchi resultantes</p> | <p>Los estudios in vitro de semillas han demostrado que los aceites de Sacha Inchi vírgenes comercialmente no eran bactericidas para <i>Staphylococcus aureus</i>. Sin embargo, estos aceites fueron capaces de prevenir la unión de <i>S. aureus</i> a los queratinocitos y separar eficazmente <i>S. aureus</i> de los explantes de la piel humana (Gonzalez-Aspajo et al., 2015).</p> | <p>El consumo de aceite de semilla de Sacha Inchi a 0,5 ml / kg de peso corporal por ratas macho Holtzman durante 60 días mejoró su función hepática al reducir los niveles de colesterol y triglicéridos junto con un aumento en los niveles de lipoproteína de alta densidad (HDL) (Gorritietal., 2010) .</p> | <p>En ensayos con animales, se demostró que el aceite de semilla tiene una actividad potencial contra el cáncer. Específicamente, una dieta a base de aceite de Sacha inchi (1 g / kg de peso corporal, diariamente, durante 4 semanas) redujo la masa tumoral y la proliferación de células tumorales Walker 256 ex vivo, y disminuyó la expresión de COX-2 en el tejido. La dieta aumentó la lipoperoxidación en los tejidos tumorales Walker 256 y redujo la hipertriacilglicerolemia, la hipoglucemia, los niveles plasmáticos de citocinas inflamatorias [factor de necrosis tumoral α (TNF-α)] e interleucina IL-6 en ratas con tumor Walker 256.</p> |

Apak et al., 2013; Gonzalez-Aspajo et al., 2015; Gorritietal., 2010; Gonzales y Gonzales, 2014

Propiedades fisicoquímicas y aspectos sensoriales de Sacha Inchi

Índice de refracción (IR)

El índice de refracción es una propiedad que se utiliza para controlar la pureza y la calidad de los aceites tanto a nivel industrial como de laboratorio. Está relacionado con el grado medio de insaturación y también es útil para observar el curso de reacciones como la hidrogenación y la isomerización. (Karabulut et al., 2003).

El IR en aceites y grasas va aumentando conforme aumenta el grado de insaturación y el porcentaje de ácidos insaturados (MPA, 2010)

Índice de acidez (IA)

El IA es considerado como uno de los principales parámetros que reflejan la calidad de los aceites vegetales, el grado de refinación, así como el cambio de calidad durante el almacenamiento (Hui, 1996; Osawa et al., 2007; Tasan et al., 2011).

Índice de Iodo (II)

Para Benatmane et al. (2011) el II es una propiedad química relacionada con la insaturación, con el IR y con la densidad: a mayor II, mayor IR y mayor densidad.

Color instrumental en los aceites

El color es un atributo importante por dos motivos: su relación con otras propiedades fisicoquímicas del alimento (madurez, técnicas de elaboración, condiciones

de almacenamiento, etc.) se reduce a las preferencias del consumidor. (Cui et al., 2002). En los aceites, el color es uno de los factores admitidos para determinar su valor, pues aceites oscuros necesitan de tratamientos costosos para clarificarlos, además de perder sus propiedades biológicas (valores nutritivos, funcionales, medicinales, etc.) en el proceso (McCaig, 2002; Meléndez-Martínez et al., 2005; Yam y Papadakis, 2004).

Aplicaciones alimenticias del Sacha Inchi

Aceite comestible

El aceite de Sacha Inchi es un aceite vegetal como el aceite de oliva, aguacate, germen de trigo, salvado de arroz y argán, y es valorado por sus útiles propiedades fisicoquímicas y buenos atributos sensoriales (sabor y sabor). El aceite puede usarse como un ingrediente alimentario funcional debido a su alto contenido de ácidos grasos insaturados y una relación favorable de 6-6 / omega-3 (ω -3). Una ventaja que el aceite de semilla de Sacha Inchi tiene sobre el aceite de pescado es la ausencia de un sabor tímido.

Técnicas analíticas para la caracterización de aceites

Normalmente las metodologías para la determinación de AG utilizadas en la literatura, consisten en la derivatización de estos compuestos en ésteres volátiles para su posterior análisis. En un estudio realizado de caracterización de AG y la fracción lipídica de Sacha Inchi en la Universidad Nacional de Colombia, una vez se hizo la conversión de estos compuestos en ésteres metílicos, la muestra se analizó por cromatografía de gases,

no sin antes realizar una extracción de la fracción lipídica con diferentes solventes orgánicos (Gutiérrez, Rosada, & Jiménez, 2011).

En otro estudio realizado en la Universidad del Tolima, se realizó la derivatización de los AG y posteriormente, la identificación y cuantificación se llevó a cabo por cromatografía de gases (CG-FID) y cromatografía de gases acoplada a espectrometría masas (CG-EM) (Castaño T et al., 2012b). No obstante, la técnica de derivatización implica la posible pérdida de algunos compuestos que no alcanzan a reaccionar y por otra parte involucra un mayor gasto de reactivos de alta toxicidad.

Caracterización por espectrometría de masas.

La espectrometría de masas es una técnica que permite identificar los compuestos presentes en una muestra y determinar su concentración (Skoog, Holler, & Crouch, 2009). Como método de detección en comparación con los métodos tradicionales, la espectrometría de masas identifica el analito con resultados más confiables (Romero-González, Frenich, & Vidal, 2010). En moléculas de elevado peso molecular su interés principal es la identificación estructural.

El instrumento utilizado en esta técnica se denomina espectrómetro de masas, y su funcionamiento implica la generación y separación de iones según la relación masa / carga (m / z). Dado que la mayoría de los iones tienen una carga iónica de 1, esta relación suele ser adimensional y corresponde a un número másico. (Skoog et al., 2009).

El análisis de la composición de triglicéridos puede ser llevado a cabo por HPLC o por cromatografía gas- líquida a alta temperatura. Los detectores usados son el ultravioleta

UV y el de índice de refracción RID, siendo el primero el más sensible (Aparicio y Aparicio Ruiz, 2000)

Sacha Inchi en Formulaciones alimenticias

La calidad de los alimentos que incorporan ingredientes derivados del Sacha Inchi debe cumplir con las expectativas del consumidor en términos de criterios sensoriales, propiedades fisicoquímicas, niveles de contaminación microbiana, toxicidad y vida útil, tal como se explica en la *tabla 10*.

Tabla 10.

Sacha Inchi en Formulaciones alimenticias

| <i>(Gutiérrez et al., 2011).</i> | <i>(Clavijo, Rodríguez y Estupiñán, 2015).</i> | <i>(Chirinos, Zorrilla, et al., 2016).</i> |
|---|--|--|
| Además del atractivo valor nutricional, el aceite de Sacha Inchi también puede ofrecer otros beneficios funcionales. Por ejemplo, el aceite de Sacha Inchi altamente insaturado del proceso de fraccionamiento se derrite completamente a -5 °C. Esta temperatura influye en las propiedades de fusión, la estabilidad y la sensación en la boca de los productos alimenticios que contienen el aceite de Sacha inchi | La manteca se mezcló con 10% de aceite de Sacha inchi para formar una pasta. La pasta se mezcló con carne magra para formar carne molida de hamburguesa con una nueva fase grasa. Las hamburguesas resultantes habían mejorado la calidad nutricional, en comparación con la hamburguesa tradicional | Las semillas tostadas optimizadas de otras especies de Plukenetia, como P.huayllabambana, se procesaron en bocadillos. Los bocadillos contenían altos niveles de bioactivos y eran menos susceptibles a la degradación oxidativa. Las semillas de Sacha inchi pueden tostarse en condiciones optimizadas, lo que puede considerarse como opciones alternativas para un refrigerio saludable. |

Nota: Los atributos sensoriales son importantes para determinar la aceptación o el rechazo de un producto por parte de los consumidores. *Fuente:* Elaboración propia.

Usos no alimentarios de Sacha Inchi

Síntesis de Nanopartículas a partir de Sacha Inchi

Se ha informado de la participación de los polisacáridos de la cáscara de la semilla (es decir, celulosa, pectina) en la síntesis de nanopartículas de plata (Kumar, Smita, et al., 2016, Kumar, Smita, Cumbal y Debut, 2017).

Las nanopartículas de plata se han sintetizado y estabilizado mediante el uso de aceite Sacha Inchi (SI), mediante el uso de espectroscopía UV-vis, microscopía electrónica de transmisión (TEM), Infrarrojo), Infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) y analizador de tamaño de partículas. TEM revelando la nanoestructura de las partículas distorsionada en forma cúbica; y los tamaños medios son 60 nm. Las nanopartículas cristalinas estables exhiben actividad fotocatalítica en la degradación del azul de metileno (MB) sin el uso de un agente reductor. El método de prueba es simple, rápido, económico y reproducible a temperatura ambiente.

Actualmente, la síntesis verde de nanopartículas metálicas protege el medio ambiente aumentando el uso de solventes amigables con el medio ambiente, utilizando agentes reductores y estabilizantes, eliminando riesgos biológicos en aplicaciones biomédicas y farmacéuticas. (Raveendran et al., 2003; Thakkar et al. ., 2010).

Entre todas, las nanopartículas de plata (AgNP) han recibido atención debido a la resonancia del plasmón superficial (fuerte absorción en la región visible), que se puede monitorear fácilmente mediante un espectrofotómetro visible a los rayos UV. Las aplicaciones de AgNP en el campo de la medicina (Jeyaraj et al., 2013; Fayaz et al.,

2012), optoelectrónica (Choi et al., 2013), óptica (Temgire y Joshi, 2004), catálisis (Kumar et al. , 2014a, b), los sensores (Li et al., 2011) son bien conocidos.

MB es un tinte de tiazina, utilizado en el análisis de niveles traza de iones de sulfuro en muestras acuáticas. Es uno de los materiales de tinte catiónico más comunes para madera, seda y algodón (Hameed et al., 2007). Además, el MB se usa como agente antipalúdico y agente quimioterapéutico en la industria de la acuicultura. Además, se utiliza en microbiología, cirugía y campo de diagnóstico (Small y Hintelmann, 2007; Burhenne et al., 2008; Xu et al., 2009). Aunque la MB no es muy peligrosa, la exposición aguda puede causar algunos efectos nocivos como aumento de la frecuencia cardíaca, vómitos, shock, cianosis, ictericia, tetraplejía y necrosis tisular en humanos (Yi y Zhang, 2008). Por lo tanto, la eliminación de MB del efluente de las aguas residuales es muy importante debido a su toxicidad potencial para los humanos y el medio ambiente.

El aceite SI es una fuente interesante de materia prima para la producción de nanocatalizador de plata para la remediación de MB. Los AgNP se pueden preparar mediante la reducción de iones de plata por ácidos grasos omega-3 (ω -3), 6 (ω -6), 9 (ω -9) y aminoácidos del aceite SI. Los resultados de UV-vis, TEM, DLS revelan la formación de nanoestructura distorsionada en forma cúbica; y los tamaños medios son 60 nm. El enfoque experimental es un método simple, rápido y rentable y puede usarse como un agente alternativo para > 65% de eliminación de MB de solución acuosa.

La producción de nanopartículas con aceite de Sacha Inchi, biomasa de concha y hojas se ha logrado a escala de laboratorio (Kumar et al., 2014a, 2014b, 2017, Kumar, Smita, Cumbal, 2016; Kumar, Smita, Sánchez, et al., 2016b), esto se relaciona en la *tabla 11*

Tabla 11.*Síntesis de Nanopartículas a partir de Sacha Inchi*

| <i>Sacha Inchi</i> | <i>Proceso</i> | <i>Autor</i> |
|-------------------------------------|---|---|
| <i>Biomasa de concha</i> | La biomasa de concha de Sacha inchi se usa para sintetizar partículas nanoestructuradas de plata con un tamaño de partícula promedio de 7.2 nm, que se utilizó como fotocatalizador para la remediación de la naranja de metilo | (Kumar et al., 2017) |
| | La biomasa de concha de Sacha inchi también se puede utilizar como biosorbente para la eliminación selectiva de Pb ²⁺ y Cu ²⁺ de soluciones acuosas. Esto podría deberse a la atracción electrostática entre la superficie cargada negativamente de los biomas de cadena y los Pb ²⁺ y Cu ²⁺ cargados positivamente | (Kumar, Smita, Sánchez, et al., 2016). |
| <i>Extractos de hojas</i> | Los extractos de hojas de Sacha Inchi también se usan para construir nanopartículas de plata (4–25 nm), para usar como agentes reductores no tóxicos con actividad de eliminación de radicales DPPH | (Kumar et al., 2014b). |
| | Los fitoquímicos de la hoja podrían adsorberse en la superficie activa de las nanopartículas, posiblemente contribuyendo a la actividad de eliminación de radicales DPPH. Los terpenoides, saponinas y flavonoides representan los antioxidantes en las hojas. | (Nascimento et al., 2013). (Kumar et al., 2014b). |
| <i>Aceite de Sacha Inchi</i> | El aceite se usó para la fotosíntesis de nanopartículas de plata de cubo / cuadrado distorsionadas con un tamaño promedio de 60 nm, y síntesis de nanocatalizador de oro (5–15 nm) | (Kumar et al., 2014a) (Kumar, Smita, Cumbal, et al., 2016) |
| | La última nanopartícula (nanocatalizador de oro) tiene actividad de eliminación radical contra DPPH y podría ser un biosorbente efectivo para eliminar Pb ²⁺ y Cu ²⁺ de soluciones acuosas | (Kumar, Smita, Cumbal, et al., 2016). |

Nota: La aplicación industrial de nanopartículas relacionadas con Sacha Inchi requiere más investigación. Además, se necesitan estudios comparativos para revelar si los productos basados en Sacha inchi son más adecuados para tales aplicaciones que los otros sistemas basados en plantas. *Fuente:* Elaboración propia.

Productos cosméticos y farmacéuticos.

Las preparaciones cosméticas y farmacéuticas que contienen proteínas y aceites de Sacha Inchi han sido patentadas [Número de patente, US2007264221 (A1)]. Esos productos se aplican en la piel para efectos antiinflamatorios, tensores de la piel y antienvjecimiento; tal como lo ilustra la *tabla 12*.

Hanssen y Schmitz Huebsch (2011) han sugerido el uso de aceite de Sacha inchi para el tratamiento de enfermedades coronarias, artritis, diabetes, trastorno por déficit de atención con hiperactividad y trastornos inflamatorios de la piel. Los ensayos clínicos son absolutamente necesarios para evaluar la eficacia de estas declaraciones de propiedades saludables.

Tabla 12.

Productos cosméticos y farmacéuticos a partir de Sacha Inchi

| <i>Nombre</i> | <i>Descripción</i> |
|--|---|
| Almendra Horneada de Sacha Inchi | La Almendra Horneada de Sacha Inchi es un producto 100% natural que otorga más porcentaje de proteína que una almendra común. |
| Aceite de Sacha Inchi con omega-3 (ω -3), 6 (ω -6), 9 (ω -9) | El aceite de Sacha Inchi es un excelente acompañante para alimentos y ensaladas, que contribuye a tener una dieta saludable y balanceada. |
| Aceite Extravirgen de Sacha Inchi | |
| Omega-3 (ω -3), 6 (ω -6), 9 (ω -9) de Sacha Inchi | Aporta nutrientes ideales para la buena salud como: Vitaminas A y E, Ácidos Grasos Insaturados y Antioxidantes. |
| Kit Shampoo Sacha Inchi, Tratamiento y Aceite Capilar | |
| Kit Crema Facial, Desmaquillante y Exfoliante | Fortalece la fibra capilar, realiza una limpieza profunda y aporta brillo. |
| Kit Shampoo, Acondicionador y Mascarilla de Sacha Inchi | kit Sacha inchi que nutre, hidrata profundamente, estimula el crecimiento y realza el brillo del cabello. |
| Crema Para Manos hombre con omega-3 (ω -3), 6 (ω -6), 9 (ω -9) | Las propiedades de la Semilla de Sacha Inchi, se presenta en este producto que aclara, hidrata y armoniza el tono de la piel con una aplicación diaria. |

| | |
|---|---|
| Desmaquillante Biohidratante con omega-3 (ω -3), 6 (ω -6), 9 (ω -9) | Tres acciones en un solo producto. El Desmaquillante Biohidratante Sacha inchi es un limpiador de uso diario formulado para desmaquillar y reparar la piel al mismo tiempo. |
|---|---|

Fuente: Tienda de Productos Sachainchi. <https://www.tiendasachainchi.com/categoria-producto/cuidado-personal/>

Biodiesel

El biodiesel se define como un éster metílico derivado de aceite vegetal o grasa animal, que tiene propiedades similares al aceite diesel y su uso es una excelente alternativa verde, convirtiéndose en un combustible global, requerido para un motor de combustión interna o útil para reemplazo de piezas. Reduciendo las emisiones de dióxido de carbono y confiando en fuentes de energía no renovables (Encinar et al., 2011).

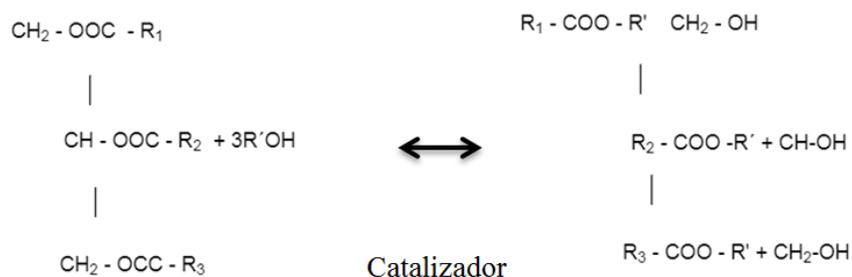
En Colombia, la principal materia prima para la producción de biodiesel es el aceite de palma, pues actualmente cuenta con más de 300.000 hectáreas sembradas en palma de aceite y cinco plantas productoras de biodiesel (Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia, 2012).

El biodiésel se obtiene principalmente por microemulsión, pirólisis, dilución y transesterificación. Este último es el método más barato y más utilizado porque ofrece las siguientes ventajas: Reducción del tiempo de reacción y conversión directa a un éster sin pasos intermedios. (Lin et al., 2011). En este caso se analiza la extracción del Biodiesel a partir de Sacha Inchi, tal como lo muestra la tabla 13. El aceite de Sacha Inch sin refinar tiene un alto contenido de ácidos grasos, por lo que debe evitarse la esterificación (saponificación innecesaria del aceite). Una nueva investigación muestra que este proceso puede ser reemplazado por destilación al vacío a alta presión.

La *ilustración 13* muestra la reacción de transesterificación de grasas y aceites. Esta es su reacción con el alcohol metílico en un medio básico, donde las moléculas de triglicéridos, principal constituyente de las grasas, reaccionan con el alcohol primario bajo la acción de un catalizador. Mezcla de ácidos grasos y ésteres de glicerina, que consta de tres etapas consecutivas en las que los triglicéridos se convierten en diglicéridos, monoglicéridos y glicerina. (Arévalo, Ulloa & Astudillo, 2008; Math, Kumar & Chetty, 2010; Keera, El Sabagh & Taman, 2011).

Ilustración 13.

Transesterificación de grasas y aceites.



Fuente: Shahid, Ejaz M. & Jamal, Younis, 2011. "Producción de biodiesel: una revisión técnica ", revisiones de energías renovables y sostenibles, Elsevier, vol. 15 (9), páginas 4732-4745.

Tabla 13.*Biodiésel a base de Sacha Inchi*

| <i>Descripción del proceso</i> | <i>Autor</i> |
|--|------------------------|
| El biodiésel a base de Sacha Inchi contiene una cantidad significativa de ésteres metílicos de ácidos linolénicos y linolénicos y de oxidación, debido a la presencia de restos doblemente alílicos en sus cadenas. | (Zuleta et al., 2012). |
| El estudio de las mezclas de biodiesel de los aceites de palma y Sacha Inchi permitió determinar su tiempo de inducción (indicador de estabilidad oxidativa) y el punto de taponamiento del filtro frío (CFPP) (indicador de propiedad de flujo frío). | Zuleta y col. (2012) |
| Se establecieron como criterios de calidad un tiempo de inducción superior a 6 h y una PPCF inferior a 0 ° C. La estabilidad oxidativa dependía principalmente del contenido de ésteres metílicos poliinsaturados. | (Zuleta et al., 2012). |

Fuente: Elaboración propia

Metodología

Búsqueda de la información

Inicialmente en esta investigación se hizo uso del buscador especializado Google Scholar o Google Académico, siendo este un motor de búsqueda en Internet de artículos académicos y recursos de editoriales, sociedades profesionales, universidades y otros sitios web, su funcionamiento es similar al de la búsqueda web regular de Google, incluso se puede limitar los resultados con la función “búsqueda avanzada”. Así mismo, este buscador devuelve no sólo artículos de revistas académicas, sino también informes de investigación, disertaciones y tesis, preimpresiones, informes técnicos, patentes, documentos de trabajo, libros, así como cosas como presentaciones en Power Point, páginas web y muchos otros tipos de documentos que considera académicos mediante un algoritmo incorporado (Javier, 2019).

Alternando con la búsqueda en google académico, también se hizo una exploración en las bases de datos tales como Scielo, Dialnet, ScienceDirect, American Chemical society y Redalyc, utilizando un filtro para escoger los artículos publicados en los últimos diez años (2011 - 2021).

Para la activación de dichas búsquedas, se emplearon distintas combinaciones sintácticas de palabras claves previamente caracterizados en la exploración general en Google académico.

Las combinaciones de palabras fueron: Sacha Inchi, Sacha Inchi Plukenetia volubilis, Sacha inchi propiedades, Sacha Inchi propiedades, Plukenetia volubilis subproductos, Sacha Inchi subproductos, Sacha Inchi torta, Plukenetia volubilis actividad, Sacha Inchi actividad biológica, Plukenetia volubilis compuestos, Sacha Inchi compuestos, Plukenetia volubilis biocompuestos, Sacha Inchi biocompuestos; es importante resaltar que en la búsqueda se usa expresiones y términos en inglés debido a que la mayoría de los artículos encontrados se presentan en ese idioma, además para el almacenamiento y construcción de la data de artículos se hizo uso del gestor bibliográfico gratuito Mendeley.

Finalmente, para establecer los criterios de inclusión/exclusión de documentos para la construcción de la monografía, se construye una tabla de puntuación basada en la metodología PRISMA, la cual se basa en consolidar aspectos como son los criterios de la calidad. Este se realiza con una valoración a siete (7) ítems diferentes (título, DOI, fundamento, metodología, selección de estudios y recopilación de datos, riesgo de sesgo y conclusiones); que permitieron la elegibilidad de los estudios pertinentes para poder hacer comparaciones y análisis de los autores, de esta manera se pueden optar por describir las discusiones por pares frente a un tema en específico (Hutton, et al., 2016).

La selección de artículos de investigación, para su análisis, se realizó tomando como referencia los siguientes criterios de selección:

- Que el artículo expusiera un estudio o experiencia relacionada con el análisis de Sacha Inchi

- Fechas de publicación: 2011 en adelante, sin dejar de revisar textos clásicos.
- Que el texto de los artículos seleccionados estuviera disponible en su totalidad.
- Palabras clave utilizadas: Sacha inchi, Plukenetia volubilis, fitoesteroles, alcoholes grasos, omega 3, omega 9, semilla, subproductos.

La tabla 14 presenta criterios de búsqueda y selección de la información para el desarrollo del presente trabajo.

Tabla 14.

Criterios de búsqueda y selección de la información en bases de datos.

| <i>Criterios de búsqueda</i> | <i>Bases de datos</i> | <i>No. Documentos encontrados</i> | <i>Criterios de selección</i> | <i>No de Documentos descartados</i> |
|---|---------------------------|--|---|-------------------------------------|
| | Scielo | Artículo de revista (47) | | Artículo de revista (42) |
| | Dialnet | Artículo de revista (44) (1) Artículo de libro (1) Tesis | | Artículo de revista (38) |
| | ScienceDirect | Artículo de revisión (28) Artículos de investigación (110) Enciclopedia Capítulos de libro | Sacha Inchi propiedades Sacha Inchi composición | Artículo (158) |
| Sacha Inchi | | Info conferencia (2) (23) (1) (1) (1) Discusión (5) Noticias Comunicaciones cortas (15) Otro | Plukenetia volubilis actividad Sacha Inchi actividad biológica | |
| | American Chemical society | Artículo de revista (3) | | Artículo de revista (1) |
| | Redalyc | Artículos de revisión (180) | | Artículo de revisión (162) |
| | Scielo | Artículo de revista (8) | | Artículo de revista (4) |
| | Dialnet | Artículo de revista (34) (1) Tesis | | Artículo de revista (28) |
| | ScienceDirect | Artículo de revisión (8) Artículo de investigación | | Artículo 80 |
| Sacha Inchi, Plukenetia volubilis | | Enciclopedia (63) Capítulos de libro Comunicaciones cortas (2) (11) (4) | Plukenetia volubilis subproductos Sacha Inchi subproductos | |

| | Otro | | Sacha Inchi torta | |
|---------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|
| | | (3) | | |
| American Chemical society | Artículo de revista | (3) | | Artículo de revista (1) |
| Redalyc | Artículo de revisión | (121) | | Artículo de revisión (101) |
| Scielo | Artículo de revista | (30) | | Artículo de revista (30) |
| Dialnet | Artículo de revista | (39) | | Artículo (31) |
| | Tesis | (1) | Plukenetia volubilis | |
| Science Direct | Artículo de revisión | (13) | compuestos | Artículo (91) |
| | Artículo de investigación | | Sacha Inchi | |
| | Enciclopedia | (91) | compuestos | |
| | Capítulos de libro | | Plukenetia volubilis | |
| Plukenetia volubilis | Mini reseñas | (2) (18) (1) (1) (5) | biocompuestos | |
| | Noticias | | Sacha Inchi | |
| | Comunicaciones cortas | (6) | biocompuestos | |
| | Otro | | | |
| Redalyc | Artículo de revisión | (137) | | Artículo (129) |

Fuente: Elaboración propia

Organización de la información

A fin de organizar de manera sistemática la documentación encontrada para facilitar su identificación y localización, una vez que se tuvo reunida una colección de referencias se utilizó el gestor de referencias bibliográficas Mendeley para facilitar las operaciones de edición, clasificación y búsqueda de la bibliografía.

Análisis de la información

Para el desarrollo de esta tercera fase el análisis de la información ya organizada, y la selección de los documentos más útiles para la temática en estudio; estuvo directamente relacionada con la formulación del problema, y los objetivos propuestos en esta monografía a fin de lograr su alcance.

Resultados y discusión

7.1 Objetivo 1. Realizar una revisión bibliográfica de los últimos 10 años sobre el panorama mundial, nacional y regional de los compuestos bioactivos, determinación de sus propiedades nutricionales y antinutricionales, la actividad biológica en la planta y fruto de Sacha Inchi.

De acuerdo con la revisión realizada en términos de los compuestos bioactivos, y la determinación de las propiedades nutricionales y antinutricionales de Sacha Inchi, se pueden establecer los siguientes aspectos que se relacionan en la tabla 15

Tabla 15.

Relación de compuestos bioactivos de Sacha Inchi.

| <i>Compuesto bioactivo</i> | <i>Actividad biológica</i> | <i>Determinación</i> |
|---|--|--|
| Compuestos fenólicos | Previenen enfermedades gracias a sus efectos antibacterianos, antioxidantes, anti-inflamatorios, anti-alérgicos, y vasodiladores (disminuyen la permeabilidad de los vasos capilares y mejoran así la circulación sanguínea) (Rice-Evans et al., 1997). | Método de Folin-Ciocalteu recomendado por Singleton y Rossi (1965). Condiciones del análisis por HPLC descritas por Muñoz et al. (2007) |
| Tocoferoles | Huang et al. (2007) afirma que los compuestos fenólicos pueden ser usados en la prevención de enfermedades cardiovasculares y otras enfermedades crónicas. Se ha señalado que la función más importante de la vitamina E en el cuerpo es su actividad antioxidante y el mantenimiento de la integridad de las membranas celulares | Cromatógrafo de gas acoplado a un espectrómetro de masa (GC/MS) siguiendo la metodología de utilizada por SLOVER et al (1983). Utilizando un equipo HPLC según la metodología de American Oil Chemists' Society (AOCS), Ce 8-89 (1993). |
| Ácidos grasos omega-3 (ω -3) y omega-6 (ω -6) | Los ácidos grasos esenciales son el ácido linoleico omega-6 (ω -6) y el ácido α -linolénico omega-3 (ω -3), que cumplen funciones importantes en el organismo (Pariona, 2008); tales como como las involucradas en la regulación de la presión arterial y las respuestas inflamatorias. | El método reportado por Michotte (2009): metilación, extracción y cuantificación por cromatografía gaseosa. |
| | Es importante mantener un adecuado equilibrio entre los ácidos grasos omega-3 (ω -3) y omega-6 (ω -6), ya que ambos contribuyen en la preservación de la salud (Jones, 2002). | Procedimiento AOCS Ce 1B-89 por cromatografía de gases |

| | | |
|----------------------|---|---|
| | <p>Pueden ser importantes en la prevención de diferentes tipos de cáncer, y el consumo de una dieta rica en carotenoides después de un diagnóstico de cáncer ha devenido en un pronóstico favorable (Rock et al., 1996)</p> | <p>Método espectrofotométrico a 470 nm, recomendado por Talcott y Howard (1999) descrito por Campos D. et. al.</p> |
| <p>Carotenoides</p> | <p>El licopeno previene la oxidación de las LDL o lipoproteínas de baja densidad, reduciendo el riesgo de desarrollar aterosclerosis y patologías relacionadas con el corazón (Zeb y Mehmood, 2004). Los fitoesteroles compiten con el colesterol para formar micelas en el lumen intestinal e inhiben la absorción del colesterol (Nissinen et al., 2002).</p> | |
| <p>Fitoesteroles</p> | <p>Bouic (2001) menciona que además de la disminución del colesterol, los esteroides de plantas tienen otros efectos positivos como: anti-inflamatorios, anti-oxidativos (Homma et al., 2003) y antiaterosclerótico. Los fitoesteroles también demostraron tener un efecto protector contra úlceras (Jayaraj et al., 2003) y además tener actividad anti-fúngica (Li et al., 2005). Así mismo, Award et al. (2003) sostiene que el consumo de esteroides de plantas es benéfico para prevenir o tratar diferentes tipos de cáncer, incluyendo el de mama, próstata (Bennani et al., 2007), pulmón (Schabath et al., 2005), estómago (De Stefani et al., 2000a), esófago (De Stefani et al., 2000b), endometrio (McCann et al., 2000), y de ovario (McCann et al., 2003)</p> | <p>Método descrito por Fierro et al., usando TLC la presencia de fitoesteroides en Sacha inchi. Métodos analíticos de cromatografía de gases (GC) y de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) TLC; mediante el método descrito por Fierro et al., (2004)</p> |

Fuente: Elaboración propia, adaptado de: “Compuestos fenólicos, tocoferoles, ácidos grasos, carotenoides, fitoesteroides y capacidad antioxidante de 16 cultivares de semillas de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.)” 2014

Los postulados y referentes teóricos analizados en este trabajo permiten determinar que Sacha Inchi podría ser una especie vegetal promisoría para ser utilizada como fuente oleaginosa por los altos rendimientos de su aceite; la semilla de la planta como la principal fuente oleífera, y en términos generales por el impacto de sus componentes grasos en la nutrición y/o en farmacología.

Análisis de las propiedades nutricionales de Sacha Inchi

La materia prima oleaginosa que es la semilla de Sacha Inchi contiene altas cantidades de aceite (54 %) y relativamente alto contenido proteico (27 %) (Hamaker, E. et al., 1992).

El alto contenido de proteínas de *P. volubilis*, facilitaría su extracción o elaboración de hidrolizados proteicos a partir de semillas o tortas de esta especie. Sus propiedades nutricionales se especifican en la *tabla 16*

Tabla 16.*Propiedades nutricionales de Sacha Inchi*

| Composición química | Valor |
|---------------------------------------|--------------|
| Proteína | 24.22%, |
| Humedad | 5.63% |
| Grasa | 43.10% |
| Carbohidratos | 7.72% |
| Ceniza | 2.80%. |
| Ácidos grasos | |
| Alfa linoleico omega-3 (ω -3) | 48,60 %, |
| Linoleico omega-6 (ω -6) | 36,80% |
| Oleico omega-9 (ω -9) | 8,28%. |
| Aminoácidos esenciales | |
| Isoleucina | (50 mg/g) |
| Leucina | (79 mg/g) |
| Lisina | (72mg/g) |
| Tirosina | (58 mg/g) |
| Treonina | (57 mg/g) |
| Valina | (62 mg/g) |
| Metionina mas cisteína | (57g/g) |
| y finalanina mas tirosina | (67g/g) |

Fuente: Gutiérrez et al., 2011; Sathe et al., 2002; citado por Ramos, 2014. Agroindustrias Amazónicas, 2009

El fruto de la *Plukenetia volubilis* (Sacha Inchi) o maní del inca, es beneficioso para la salud, y es aconsejable incluirlo en las comidas ya que favorece el correcto desarrollo y funcionamiento, tanto del sistema nervioso como del cerebro pues es rico en ácidos grasos esenciales, como lo son los omega-3 (ω -3), 6 (ω -6), 9 (ω -9) (IncaInchi, 2009).

Según la investigación científica actual, Sacha Inchi es la mejor semilla oleaginosa en comparación con algunas de las semillas clásicas utilizadas (maní, palma, soja, maíz, colza, girasol) debido a su composición y alta calidad. Contenido de otros compuestos como proteínas (33%) y antioxidantes (50%). Muestra su potencial para mejorar la nutrición incorporándola a la alimentación humana. Estudios recientes realizados con aceites omega y vitamina E muestran la importancia nutricional y terapéutica de tomarlos para el control de los radicales libres y diversas enfermedades provocadas por el cuerpo humano. (Manco, C. 2006).

Análisis de la Composición lipídica

Un aspecto relacionado con la variación en la composición lipídica de las semillas de Sacha Inchi es que depende de varios factores relacionados con la genética y las condiciones de crecimiento, procesamiento y extracción. (Cai et al., 2012; Chandrasekaran y Liu, 2015; Zanqui, da Silva, de Morais, Santos y Ribeiro, 2016).

Por otro lado, tras la extracción del aceite de Sacha Inchi quedan subproductos, de los que se pueden obtener distintas fracciones proteicas como las globulinas. Se puede vender como proteína aislada para agregar a los alimentos. (Lambert & Yarwood 1992, Fukushima 1994)

La albúmina está formada por las proteínas de reserva, gliadina y glutelina, que están en baja proporción y tienen propiedades reológicas tales como impartir viscosidad y elasticidad a los alimentos (Herrera et al. 2003), estas, podrían ser utilizadas en la preparación de alimentos. Es importante destacar que la albúmina puede ser

biológicamente activa como inhibidor de proteasa y proteína protectora (Svendsen et al. 1994, Genov et al. 1998)

Las semillas de Sacha inchi, comparado con otras semillas oleaginosas como el maní, el girasol, etc., presenta un mayor rendimiento de aceite y un alto contenido de ácido linolénico, como se observa en la Tabla 2.

Los altos niveles de ácido linolénico pueden provocar rancidez debido a la oxidación del aceite, pero algunos estudios han demostrado que el aceite de sachá Inchi tiene cierta estabilidad. Esto puede explicarse por la presencia de alfa tocoferoles y caroteno. (Hamaker et al., 1992).

Análisis de la composición mineral

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada para indagar sobre la composición nutricional de Sacha Inchi (*Plukenetia Volubilis* L.), se pudo comprobar que en las composiciones minerales de Sacha Inchi en crudo, asado y hervido se detectaron 9 minerales diferentes en las muestras crudas de Sacha Inchi, siendo el fósforo (P) el mineral más abundante con un contenido medio de 5196.7 mg / L (rango de 5180.7 ~ 5228.7mg / L), seguido de K, Mg, Ca, Zn, Fe, Mn, Cu y Na.

Análisis de las propiedades antinutricionales de Sacha Inchi

Los metabolitos secundarios (SM) son compuestos derivados de la vía biosintética del metabolismo del carbono vegetal primario y se encuentran en el citoplasma de la mayoría de las células vegetales. (Augustin et al., 2011).

(Obregón, 1997), Sacha Inchi contiene factores antinutricionales, en particular taninos de metabolitos secundarios, cuya función principal es proteger contra patógenos, herbívoros y condiciones ambientales hostiles o nocivas. Provoca una respuesta inmediata (convergente) o retardada (efectos tóxicos y / o antinutricionales) al consumo.

Los estudios sobre el contenido de antinutrientes llamados saponinas y taninos en semillas y productos horneados han demostrado que estos compuestos están presentes en las partes insaponificables del aceite de Sacha Inchi, como potente antioxidante para niveles elevados de oxígeno. Su contribución está asociada a un menor riesgo de enfermedad cardiovascular (Murray et al., 2001).

Los carotenoides son antioxidantes efectivos con bajo contenido de oxígeno. Su contribución está relacionada con la prevención del cáncer y las enfermedades cardíacas (Britton, 1995).

Los compuestos fenólicos están presentes en la mayoría de los alimentos vegetales y juegan un papel importante como antioxidantes, antimicrobianos y captadores de radicales libres (Bravo, 1998). Por otro lado, los esteroides vegetales (Muñoz et al., 2011) actúan reduciendo los niveles de colesterol total y LDL.

Los compuestos mencionados tales como los tocoferoles, compuestos fenólicos y carotenoides en general presentan acciones importantes como antioxidantes naturales, los cuales contribuyen al refuerzo de las defensas naturales del organismo y previenen enfermedades que están asociadas con el estrés oxidativo (Lampe 1999; Prior 2003).

Objetivo 2. Analizar las plataformas analíticas existentes para la extracción, análisis y determinación de compuestos bioactivos de la planta de Sacha Inchi y cómo estos influyen en las propiedades nutricionales de los productos obtenidos a partir de Sacha Inchi.

Métodos de extracción de Sacha Inchi:

Existen diferentes métodos de extracción de aceite a partir de estas semillas tal como se muestra en la *tabla 17*, el uso de estos provocan, variaciones en el rendimiento de aceite, calidad y contenido de ácidos grasos, fibras dietéticas totales y también contenido de antioxidantes. Entre los métodos más conocidos se puede mencionar: (Ali N, 2012)

Métodos mecánicos: prensado de la semilla

Métodos químicos: a través del uso de solventes y fluidos supercríticos

Tabla 17.*Características de los métodos de extracción de Sacha Inchi*

| <i>Método de extracción</i> | <i>Técnica de extracción</i> | <i>Ventajas</i> | <i>Desventajas</i> |
|-----------------------------|---|---|---|
| Compresión de la semilla | Prensado en frío y almacenamiento a baja temperatura (método discontinuo) Prensa de tornillo (método continuo) | Mejor conservación de los componentes antioxidantes(quercetin a y miricetina) | Rendimiento bajo de extracción |
| Solvente | Método Soxhlet, usando como solvente el Hexano | Favorece las características funcionales del aceite, tales como la retención de agua y la estabilidad de emulsión | Pérdidas de antioxidantes, también presenta un riesgo potencial de contaminación y afectación en la salud del personal por el uso de hexano |
| Líquido supercrítico | Utilización del CO ₂ en estado supercrítico | Altos rendimientos de extracción y no requiere retirar los solventes del aceite ni de la torta residual | Las instalaciones y los equipos para este tipo de instalaciones resultan más complejas y costosas |
| Pre-tratamiento enzimático | Modificar la capa exterior de la semilla y las paredes celulares para aumentar el rendimiento de obtención del aceite | Utilizan diferentes enzimas de tipo carbohidrasas: β -glucanasa, pectinasa, hemicelulasa, celulasa, o preparaciones mixtas de enzimas | Depende fuertemente de la temperatura del proceso y las condiciones de pH para la hidrólisis |

El prensado en frío. Es un proceso mecánico libre de químicos para extraer aceite de semillas y nueces. Este método de extracción es una alternativa viable para pequeños y medianos productores a la técnica con hexano, que es un proceso utilizado para muchos aceites convencionales y que generalmente se usa para lograr altos volúmenes de producción y productividad (Lafont J., et al, 2011).

Nota: Adoptado de “Diseño y construcción de un prototipo para la extracción continua de aceite de la semilla Sacha Inchi con un proceso de prensado en frío” N. Gutiérrez; I. Saá; A. Vinueza 2017, Enfoque UTE, 8(17).

El proceso de extracción de aceite es óptimo cuando los rendimientos obtenidos de las semillas son mayores. Dado que la temperatura es un parámetro importante, es importante que el proceso no supere los 50 °C para mantener un equilibrio de ácidos grasos, antioxidantes específicos del aceite y propiedades fisicoquímicas del aceite (Hurtado, 2013).

De este tipo de ácidos grasos, el linolénico o (ω -6) y el α -linolénico (ω -3) son los más importantes para la salud porque son cruciales en las funciones del cerebro y, también, en el crecimiento y desarrollo del ser humano (Adrianzén N, 2011).

El método de extracción con solventes constituye el más eficaz para las semillas oleaginosas con bajo contenido de aceite (Bailey A., 2010).

El estudio realizado en la Universidad San Francisco de Quito en el año 2012 determinó que el rendimiento para la extracción con Hexano con la técnica de Soxhlet, es

del 43.96%, con un porcentaje de acidez del 0.7398 y un tiempo de extracción de 6 horas (Pantoja L, 2012).

Para el caso del método mediante fluidos supercríticos, se realizó un estudio utilizando como fluido el CO₂, en condiciones de presión a 450 BAR, temperatura de 50 C y flujo de 8 ml/s con un tiempo de extracción de 4 horas, con un rendimiento promedio del 39.42%, obteniendo aceite libre de residuos de solventes y trazas de agua. (Dávila D, 2013)

El proceso de extracción todavía se realiza de forma manual en la mayoría de casos, tomando en cuenta que existen tareas previas a la extracción como son: el secado, la separación de la cáscara, y la selección de la semilla (que consiste en determinar si esta cruda, normal o quemada); se debe prevenir que la temperatura generada por la fricción no supere el límite permitido con el fin de asegurar su valor nutricional. (Hurtado, 2013).

Técnicas analíticas para el análisis y determinación de compuestos bioactivos de la planta de Sacha Inchi:

A continuación se relacionan las técnicas analíticas o métodos que se utilizan para determinar la concentración de Sacha Inchi:

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada, es posible determinar que los estudios asociados a Sacha Inchi relacionados con la identificación y cuantificación de los ácidos grasos en Colombia utilizan diferentes técnicas analíticas como cromatografía de gases (CG-FID) y cromatografía de gases acoplada a espectrometría masas (CG-EM) a fin de determinar el perfil lipídico y evaluar su potencial antioxidante (Castaño T,

Valencia G, Murillo P, Méndez A, Eras J 2012) Resulta de vital importancia la determinación de la autenticidad del aceite de Sacha Inchi como lo realciona la *tabla 18*

Tabla 18.

Descripción general de algunos métodos empleados para determinar la autenticidad del aceite de Sacha Inchi.

| <i>Asunto</i> | <i>Extracción del aceite</i> | <i>Analito</i> | <i>Técnica</i> | <i>Quimiometría</i> |
|---------------|------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| C | P | ácidos grasos | GC-FID | |
| A | P | ácido linoleico | IR ATR | PLSR |
| C | P | ácidos grasos | GC-FID | |
| C | SC-CO2 | ácidos grasos | GC-FID | |
| C | S | ácidos grasos | GC-FID | |
| C | S | ácidos grasos | GC-FID/MS | |
| C | No indica | ácidos grasos | GC-FID | ANOVA |
| C | No indica | ácidos grasos | GC-FID | ANOVA |
| C | P | ácidos grasos | FTIR y 1H NMR | |
| C | P | ácidos grasos | GC-FID | |
| C | S | ácidos grasos | GC-FID | ANOVA |
| C | P | triglicéridos | HPLC/APCI-MS | |
| C | P | tocoferoles | HPLC-FD | |
| C | SC-CO2 | tocoferoles | HPLC-FD | |
| C | P | tocoferoles | HPLC-FD | |
| C | P | esteroles | HPLC | |
| C | P | polifenoles | HPLC-DAD/ESI-MS | |

Nota: A, autenticación; C, caracterización; P, prensado; S, solvente; SC-CO2, dióxido de carbono supercrítico; Regresión de mínimos cuadrados parciales (PLSR), cromatografía de gases-detector de ionización de llama (GC-FID); Espectroscopia infrarroja con reflectancia total atenuada (IR ATR); espectrofotometría de masas (MS); espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR); espectroscopia de resonancia magnética nuclear de protón (1H NMR); cromatografía líquida de alta resolución-detector de matriz de diodos (HPLC-DAD); detector de fluorescencia (FD); ionización química a presión atmosférica (APCI); ionización por electrospray (ESI).

Fuente: Maurer et al, 2012; Fanali et al, 2011; Follegatti-Romero et al, 2009; Gutiérrez et al, 2011; Castaño et al, 2012; Merino-Zegarra et al, 2008; Guillén et al, 2003; Bondioli et al, 2006, Cai et al, 2012, Chirinos et al, 2013.

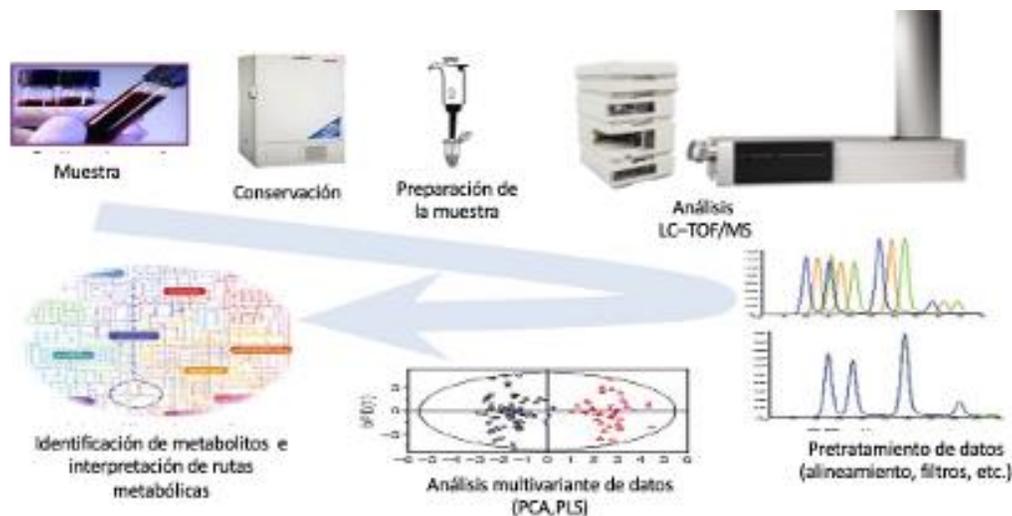
El análisis puede ser llevado a cabo por HPLC o por cromatografía gas-líquido a alta temperatura (aproximadamente 350°C), aunque el HPLC está siendo ampliamente aceptado en el análisis de triglicéridos. Los detectores utilizados son el ultravioleta (UV) y el de índice de refracción (RID), siendo el primero el más sensible (Aparicio y Aparicio-Ruíz, 2000).

El α -, β -, γ -, δ -tocoferol y los tocotrienoles son compuestos antioxidantes naturales, que dan estabilidad a los aceites. Los tocoferoles individuales pueden ser analizados por inyección directa de las muestras diluidas en un sistema de HPLC con detector de fluorescencia (FD).

Por otro lado, para la identificación de compuestos fenólicos el HPLC y CE se pueden utilizar con diferentes analizadores MS, es decir, triple cuadrupolo (TQ), trampa de iones (IT), tiempo de vuelo (TOF), etc. y el uso de varios métodos de ionización APCI, ESI, Desorción/ionización por láser asistida por matriz (MALDI), etc. (Carrasco- Pancorbo et al., 2007). Esta información se presenta en la *ilustración 14*.

Ilustración 14.

Plataforma analítica para la determinación de compuestos bioactivos de la planta de Sacha Inchi



Adaptado de M. Orozco-Solano, J. Ruiz-Jiménez, M.D. Luque de Castro (2010). Ultrasound-assisted extraction and derivatization of sterols and fatty alcohols from olive leaves and drupes prior to determination by gas chromatography–tandem mass spectrometry, *Journal of Chromatography A*, Volume 1217, Issue 8. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.12.040> .

Determinación de carotenoides

Los carotenoides se encuentran únicamente en los aceites vírgenes, dando lugar a la parte amarilla e influyen en el color del aceite (Shahidi, 2005). Los carotenoides juegan un papel importante en la salud humana, actuando como antioxidantes biológicos y protegiendo las células y tejidos de los efectos dañinos de los radicales libres (Rao & Rao, 2007).

Determinación de fitosteroles por cromatografía de gases (CG)

Las mediciones de esteroides vegetales fueron realizadas por Duchateau et al. , 2002. La técnica de extraer esteroides vegetales del aceite por saponificación (descomposición por álcali con potasio a una temperatura y tiempo adecuados) es ampliamente utilizada. Libera sustancias insaponificables de sustratos aceitosos (triglicéridos), incluidos compuestos importantes como tocoferoles, fitosteroides, fitostanoles y sus ésteres.

Determinación de tocoferoles por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC)

La determinación de tocoferoles, fue realizado por el protocolo descrito por Amaral et al., 2005.

Primero se realiza la preparación de los estándares alfa tocoferol, beta tocoferol, gamma tocoferol y delta tocoferol, para ello de cada uno de los estándares independientemente, se prepara una solución madre, almacenadas a -70°C.

Determinación del perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases (cg)

Este estudio se realizó en el Institut des Sciences de la vie & Faculté d'ingénierie biologique, agronomique et environnementale. Biologie de la nutrition et toxicologie environnementale (BNTE) – Bélgica.

La determinación de los ácidos grasos, fue realizado de acuerdo al método descrito por Michotte, 2009. Método que requiere de un proceso de premetilado, ya que se sabe que la metilación rompe los enlaces éster de los triglicéridos y añade un grupo

metilo a los ácidos grasos, por tanto, los ácidos grasos metilados son más volátiles y menos polares, lo que permite su buena elución en la cromatografía de gases.

Objetivo 3. Revisar las propiedades fisicoquímicas de Sacha Inchi que lo hacen una fuente potencial y diversa de utilización de la planta entera en la industria de alimentos y farmacológica.

Considerando la información relevante de los capítulos precursores a este en la monografía, se hablará de las potencialidades que presentan los biocompuestos del cultivo de sachá Inchi que favorablemente pueden ser aprovechados en la industria de alimentos y fármacos. La revisión de este capítulo estará enmarcada en los siguientes aspectos:

1. Introducción de la bioprospección aplicada al cultivo de sachá Inchi
2. Comparativo con otros aceites que contienen un alto porcentaje de ácidos grasos insaturados.
3. Tendencias globales en diferentes industrias

Introducción de la Bioprospección de Sacha Inchi

La bioprospección del Sacha Inchi permite explorar compuestos con alto potencial. Este cultivo es auto sostenible, orgánico, rentable y económico; precede la creación de nuevas alternativas de nutrición y económicas en las regiones y en el país de acuerdo a comunicación oral del gerente de la Cooperativa sachatambo en el Departamento del Cauca, Colombia llamado Andrés Martínez, 2021. Sacha Inchi se cosecha en ocho meses máximo y contiene un alto valor nutricional, su parte comestible es la almendra, cuyo consumo está pasando de ser popular en las regiones rurales y ya se

está extendiendo en países orientales que han estudiado su calidad nutricional como superalimento. Comparando las proteínas de la semilla de sachá Inchi con los otros patrones recomendados por FAO/WHO/ONU (Reunión Consultiva de Expositores 1985 de FAO/WHO/ONU) para la alimentación de niños en edad pre-escolar de 2 a 5 años, podría resultar deficiente solamente en leucina y lisina, aspecto que lo hace un candidato único en suplir las necesidades proteicas de una población vulnerable. Con la utilización de proteínas alternativas libres de la huella del carbono como las derivadas de leguminosas, la semilla de sachá Inchi pasaría a ser otra alternativa de consumo de proteína libre de la huella de carbono; impactando el ODS 13-Cambio climático, así mismo, reduciría el problema de malnutrición, se potencia la producción de cultivos sostenibles que generen escalabilidad productiva y se fomenta la bioeconomía de las regiones. La bioprospección en el cultivo de sachá Inchi diversifica la matriz productiva porque permite dar valor agregado a los productos y subproductos obtenidos a partir de cada una de las partes del cultivo.

Se proyecta la necesidad de emplear procesos de bioprospección como parte de tecnología aplicada al cultivo de Sachá Inchi para formular alimentos y o suplementos alimentarios nutricionalmente completos que permitan mitigar en primera instancia el hambre (ODS 2- Hambre y seguridad alimentaria); dado que la semilla de Sachá Inchi es un alimento que inicialmente cubre las necesidades nutricionales de una persona sólo con el consumo de la semilla de forma natural y posteriormente, dará para el desarrollo de nuevos productos formulados con tecnologías innovadoras empleando herramientas

bioinformáticas donde se aproveche el alto contenido proteico y de ácidos grasos insaturados que este contiene.

Para 2030, poner fin al hambre y asegurar el acceso de todas las personas, en particular las personas en situaciones vulnerables, es una de las metas del ODS 2, así mismo, la soberanía alimentaria incita a la producción de sistemas alimentarios mundiales con alimentos sostenibles y nutritivos que impacten positivamente a las poblaciones rurales con el aumento económico y el reconocimiento de sus cadenas agroindustriales. En este sentido, y dada la alta necesidad de apoyar el cumplimiento de esta meta, se hace necesario dar una mirada a aquellos cultivos sostenibles como lo es el sacha Inchi, que aparte de ser económico, se genera en diferentes suelos y altitudes bajo condiciones orgánicas manejables, que articulado a tecnologías innovadoras como la bioprospección en sus cultivos podrán desarrollarse productos o suplementos alimenticios que cumplan con las demandas nutricionales de la población en general.

Comparativo de las características fisicoquímicas del aceite y semilla de sacha Inchi con respecto al aceite crudo de pescado.

En este sentido, en primer lugar con relación al análisis comparativo de las características fisicoquímicas del aceite de sacha Inchi, semilla de sacha Inchi, torta de sacha Inchi, con respecto al aceite crudo de pescado; la literatura científica y médica han demostrado que tanto el aceite de sacha Inchi como el aceite crudo de pescado son productos de alto valor nutricional por su contenido de ácidos grasos omega-3 que aportan importantes beneficios para la salud y la nutrición, en términos de la protección

contra las enfermedades cardiovasculares (Guillen et al., 2003) Estos ácidos grasos, particularmente el EPA y el DHA, resultan muy significativos por sus propiedades profilácticas y terapéuticas (Uauy et al., 2000; Sanhueza et al., 2004; Lee et al., 2008).

La tabla 19 se presentan los datos comparativos de las características fisicoquímicas del aceite de sacha Inchi con respecto al aceite crudo de pescado.

Tabla 19.

Características Fisicoquímicas del aceite de la planta Sacha Inchi, y Crudo de Pescado

| <i>Característica</i> | <i>Tipo de Aceite</i> | | |
|-----------------------|-----------------------|--|-------------------------|
| | <i>Sacha Inchi</i> | | <i>Crudo de Pescado</i> |
| | <i>Aceite</i> | <i>Semilla</i> | |
| Densidad relativa | 0,9183 ± 0,0016 c | 0,926 (<0,01) g/cm ³ | 0,9308 ± 0,0002 a |
| Índice de refracción | 1,475 ± 0,001 b | 1,478 (<0,01) (nD) | 1,481 ± 0,001 a |
| Índice de Acidez | 1,08 ± 0,029 c | 1,393 (0,05) mg KOH/g aceite | 1,561 ± 0,041 a |
| Índice de Iodo | 59,04 ± 0,04 b | 189,081 (0,04) g I ₂ /100 g de aceite | 64,45 ± 0,08 a |

Nota: Los valores en paréntesis corresponden a las desviaciones estándar

Fuente: Analytical report – POS Bio - Sciences. Project N° 905. Lab Number: AA37030. Sample.

Pascual & Mejía, 2000. Adaptado de Estudio comparativo de las características físico-químicas del aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.), aceite de oliva (*Olea europaea*) y aceite crudo de pescado. Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Santa, Ancash-Perú. Composición química, características físico-químicas, trazas metálicas y evaluación genotóxica del aceite de *Plukenetia volubilis* L. (sacha inchi). Artículo Original Revista Peruana de Medicina Integrativa- ISSN: 2415 – 2692

Aprovechamiento de subproductos de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Desarrollo de un producto alimenticio, empleando harina proveniente de torta residual en la extracción del aceite. (2016)

Industrialmente, esta comparación abre una mirada hacia el análisis de los costos de producción y/o comercialización de Sacha Inchi, los cuales se pueden enmarcar en los siguientes aspectos:

Las semillas de Sacha Inchi se están sembrando actualmente en Colombia, incluso en departamentos como Caquetá, Putumayo, Villavicencio, Antioquia, Quindío, Santander, Valle del Cauca; Sin embargo, aún no cuenta con un mayor reconocimiento en la capital del país (Fondo Biocomercio, 2014).

Actualmente existen más de 13 cooperativas en 19 departamentos del país los cuales promueven un crecimiento económico solidario en Colombia a través de proyectos de emprendimiento. De igual forma también se identifican los productores independientes de menor escala que no pertenecen a un gremio en específico y que por sus propios recursos y medios se encuentran desarrollando proyectos productivos a base de la semilla de Sacha Inchi (Cooperativa Sacha Colombia, 2019).

Dentro de la producción y la exportación de semillas oleaginosas, los países que lideran este mercado son Estados Unidos, Brasil y Argentina (este último solo en la producción) con mayor participación en el mercado.

Sacha Inchi produce una semilla con alto contenido de aceite (del 41 al 60 % de aceite según la especie y variedad que oscila entre el 20,8 al 54% Omega 3, del 40 al 28% Omega 6 y del 19 al 9,9% de Omega 9 respectivamente (Muñoz, y otros, 2013) lo que la convierte en una de las principales oleaginosas.

Sacha Inchi es una especie de ciclo corto, su desarrollo vegetativo tarda 5 meses, inicia su producción de 5 a 7 meses de germinada la semilla, esto aplica para variedades de

clima cálido y de 10 a 14 meses para variedades de clima frío. En un año de cosecha (entre el mes 7 y mes 19) se producen en media 3.090 kilos de grano, teniendo producciones en el país que oscilan entre 1.600 hasta 5.800 kilos por hectárea año.

Los costos de establecimiento de una hectárea pueden oscilar entre los 6 y 14 millones de pesos por hectárea, dependiendo en gran medida de las condiciones de domesticación del suelo y el tipo de tutorado que implemente. Logrando producciones medias de 3 Toneladas de grano por Hectárea año, con ventas medias de \$5.300 por kilo de grano, por lo que una hectárea está arrojando ventas brutas del orden de \$15.900.000, con un proyecto planificado a 4 años, llevando al flujo de caja el costo de producción y el de sostenimiento anual, el costo de sostenimiento por año está por el orden de los \$5.000.000, contra las ventas antes expuestas, estaría dando utilidades cercanas a los \$ 9.150.000 por hectárea año. Este cultivo se desarrolla bien en suelos donde se da la yuca, lo cual permite ser un fácil indicador para agricultores que quieren incursionar en él. (Fondo Biocomercio, 2014).

Tendencias e innovaciones del aprovechamiento de biocompuestos presentes en

Sacha Inchi.

La ciencia de los materiales alimentarios propende por el diseño de estructuras que sean apetecibles, saludables, dispensen nutrientes y compuestos bioactivos de manera efectiva durante la digestión. (Aguilera, J. 2007). El interés del consumidor por la relación entre la dieta y la salud ha aumentado la demanda de información acerca de los alimentos funcionales.

Se denominan “Alimentos Funcionales” (AF) aquellos que son elaborados no solo por sus propiedades nutritivas, sino también para cumplir una función específica como puede ser el mejorar la salud y reducir el riesgo de contraer enfermedades. Los componentes más destacables de los alimentos funcionales son: la fibra dietética, los azúcares alcoholes o azúcares de baja energía, los aminoácidos, los ácidos grasos insaturados, los fitoesteroles, las vitaminas y los minerales, los antioxidantes, las bacterias ácido lácticas y otras sustancias excitantes o tranquilizantes (Salud, 2009).

En este sentido, es importante destacar que el fruto de la *Plukenetia volubilis* (Sacha Inchi) es beneficioso para la salud ya que favorece el correcto desarrollo y funcionamiento del sistema nervioso pues es rico en ácidos grasos esenciales, como lo son los omega 3, omega 6 y omega 9 (IncaInchi, 2009). Por su parte la semilla de Sacha Inchi contiene altas cantidades de aceite y contenido proteico (Hamaker, E. et al., 1992). El aceite es rico en ácidos grasos esenciales y contiene una elevada proporción de antioxidantes, vitamina A y vitamina E (Agroindustrias Amazónicas, 2009). El contenido de otros compuestos como proteínas y antioxidantes demuestra sus posibilidades de mejorar la alimentación al ser incluido en la dieta humana. Investigaciones recientes realizadas con aceites omegas y vitamina E indican la importancia nutricional y terapéutica de su consumo para el control de radicales libres y una serie de enfermedades que estos originan en el organismo humano (Manco, C. 2006).

Con respecto a los biomateriales o bioplásticos; hacen referencia materiales biodegradables obtenidos a partir de Sacha Inchi; que sin lugar a dudas constituye una

nueva tendencia con relación a la generación de biopolímeros extraídos de tortas residuales para la elaboración de películas biodegradables.

El desarrollo de películas de origen orgánico empleando biopolímeros obtenidos de las tortas residuales de las semillas oleaginosas; son un subproducto de la extracción de aceites vegetales para lo cual se utiliza el método “casting” o moldeo, en el cual la colada disuelve el polímero, se recubre sobre un sustrato de soporte, y luego el agua o el disolvente se elimina por secado para crear una capa sólida sobre el soporte

Las proteínas extraídas de la torta de Sacha Inchi tienen gran potencial como material formador de bioplásticos biodegradables/comestibles con propiedades adecuadas para su uso como envases y/o embalaje.

Capacidades científicas, tecnológicas y comerciales de la planta Sacha Inchi

Investigaciones en biocompuestos en Colombia

Es importante reconocer el impacto de las antocianinas presentes en las hojas de Sacha Inchi a fin de analizar su impacto sobre las características sensoriales de los alimentos, las cuales pueden influenciar su comportamiento tecnológico durante el procesamiento de alimentos, y por su implicación en la salud humana a través de diferentes vías (De Pascual-Teresa y Sánchez-Ballesta, 2008).

Las antocianinas son un grupo de pigmentos de color rojo, hidrosolubles, ampliamente distribuidos en el reino vegetal (Fennema, 1993). Desde el punto de vista químico, las antocianinas pertenecen al grupo de los flavonoides y son glicósidos de las antocianinas, es decir, están constituidas por una molécula de antocianina, que es la aglicona, a la que se le une un azúcar por medio de un enlace glucosídico.

La incorporación de antocianinas como colorantes alimenticios, además de mejorar la apariencia total, son muy benéficas para nuestra salud. Diversos estudios presentan evidencia científica que los extractos ricos en antocianinas pueden mejorar la agudeza visual, mostrar actividad antioxidante, atrapar radicales y actuar como agentes quimioprotectores. Las antocianinas también juegan un papel en las propiedades antidiabéticas tales como control de lípidos, secreción de insulina y efectos vasoprotectores (Shipp y Abdel-Aal, 2010).

Las características nutritivas de los diferentes productos derivados de Sacha Inchi por sus diversas potencialidades, sobresaltando el alto porcentaje de ácidos grasos insaturados como el Omega 3, han motivado a que productores y algunas empresas, así como la academia, inicien la transformación y producción con innovación de la semilla, cáscara, cascarilla, hojas, que diversifiquen la cadena de valor del cultivo y que apunte a la exportación de los diferentes productos que se deriven en el futuro. Sin embargo, la tecnificación de sus procesos es aún fuente de estudio y está en crecimiento, aún se hablan de procesos artesanales en algunas cooperativas productoras de sachá inchi y, en el caso de las exportaciones, se requiere más respaldo de análisis técnico del mercado externo, todo esto, está siendo estudiado por el ministerio de agricultura en Colombia, quienes en el año 2021, han reunido los diferentes gremios de productores, comercializadores, investigadores del cultivo de sachá Inchi a nivel nacional, para formalizar y proclamar a la producción de sachá Inchi como una cadena agroindustrial reconocida en Colombia, aspecto que mejorará todo lo requerido en su producción.

Finalmente, se observa que la tendencia mundial de consumo de aceites vegetales como el aceite de oliva e incluso aceite de sacha Inchi, se ha incrementado en los últimos años. Europa, Asia y América del norte, son cada vez más conscientes de la necesidad de una alimentación sana para la prevención de enfermedades o incluso para el aporte nutricional requerido por la población. Esta es una razón fundamental por la cual, el mercado de sacha Inchi y sus aplicaciones, abren un horizonte de aprovechamiento y posicionamiento del cultivo que permita favorecer a los productores primarios, secundarios y a la población en general dado que podrá ser reemplazado el aceite de oliva virgen (de alto coste por la importación) por un aceite vegetal más nutritivo y de origen nacional.

Objetivo 4. Identificar los compuestos minoritarios de la fracción no saponificable del aceite de sacha Inchi, su importancia y determinación, como parte introductoria al estudio de la metabolómica del Sacha Inchi.

El presente documento proporciona la información introductoria y actualizada sobre la composición insaponificable del aceite de sacha Inchi: métodos tradicionales y recientes para la determinación y cuantificación de las diferentes familias de metabolitos que constituyen esta fracción, y los resultados de estudios recientes sobre sus propiedades biológicas, características organolépticas y efectos sobre la salud humana.

Compuestos grasos del Sacha Inchi

Considerando la importancia de los compuestos grasos como biocompuestos esenciales para la salud y la nutrición del ser vivo, es importante resaltar la ruta de biosíntesis y degradación que sufren los compuestos grasos como los TAG, principal nutriente encontrado en el fruto de Sacha Inchi.

Dentro de los compuestos grasos, se hace referencia a la presencia de lípidos, los cuales tienen una estructura química hidrófoba cuya función es servir como moléculas que almacenan la energía de forma compacta (TAG), así como también hacen parte esencial de la membrana biológica; formando fosfolípidos, colesterol y esfingolípidos. Y finalmente, cumplen en el organismo funciones de señalización (como son las prostaglandinas), ó de protección como es el caso de tocoferoles.

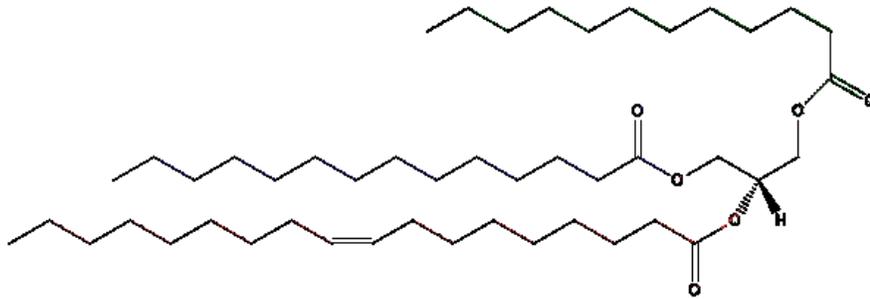
Al abordar los compuestos minoritarios de la fracción oleaginosa del aceite de sacha Inchi, su importancia y actividad, se permite dar un primer paso en la introducción del metaboloma del sacha Inchi y cómo este conocimiento puede interferir en la

prevención y mejora de las condiciones metabólicas del ser vivo. El metaboloma hace parte de un conjunto dinámico de moléculas de bajo peso molecular conocidos como metabolitos; dentro de ellos están los metabolitos secundarios, hormonas e intermediarios metabólicos presentes en el organismo vivo, que generalmente son incorporados en la dieta o sintetizados. El metaboloma hace parte del estudio metabólico, actualmente estudiada y empleada como herramienta diagnóstica que permite generar el planteamiento de alternativas de tratamiento médico.

Para introducir los diferentes compuestos minoritarios de la fracción oleaginosa del sacha Inchi, se debe empezar por sus compuestos mayoritarios y conocer cómo es su ruta de biosíntesis y su degradación. Los lípidos generalmente provienen de la acetilcoenzima A (acetil-CoA), siendo este el sustrato en la síntesis de ácidos grasos, los terpenos y los esteroides (colesterol). Cuando las células requieren energía, los ácidos grasos se degradan para producir acetil-CoA, que luego es dirigida al ciclo del ácido cítrico. Dentro de los lípidos, se encuentran los TAGs son acilgliceroles con un número definido de tres (3) moléculas de ácidos grasos que en algunos casos son iguales (TAG simples) o mixtos (TAG mixtos), tal como se presenta en la *ilustración 15*.

Ilustración 15.

Ejemplo de un triacilglicérido mixto con 3 diferentes tipos de ácidos.

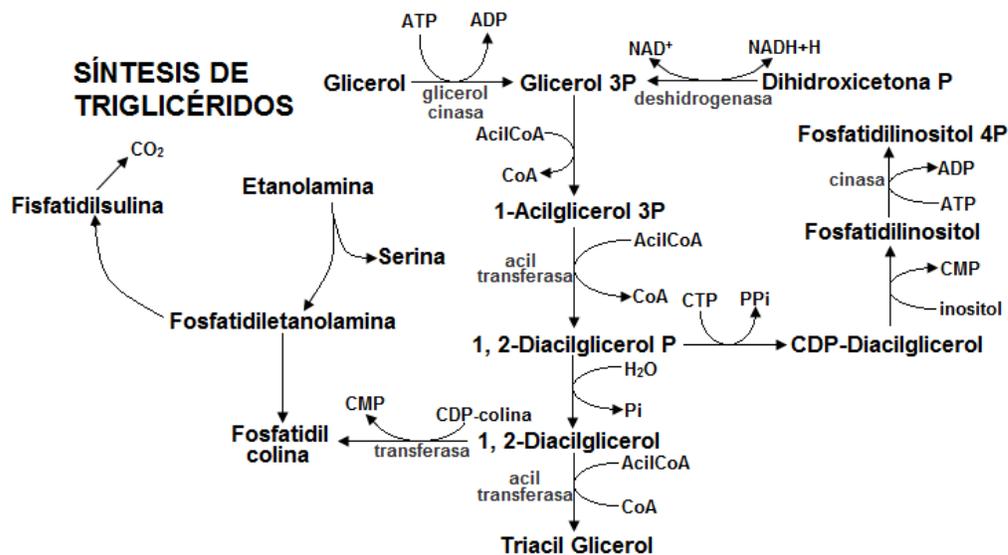


Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la industria de alimentos, los triacilglicerolos se encuentran haciendo parte de las grasas y aceites vegetales y animales, como es el caso de los aceites de girasol, soya o maíz, como las mantequillas o cebos, respectivamente. Sin embargo, ¿cómo se sintetizan en el organismo los TAG y a su vez cómo es su degradación y asimilación? En la *ilustración 16* se presenta esta ruta metabólica

Ilustración 16.

Ruta metabólica de un triacilglicerol.



Nota: Adaptado de Ruta metabólica de un triacilglicerol. Autor desconocido, *Fuente:* <https://www.emaze.com/@AWZOLIIC>. Tipo de licencia CC BY-NC

De la síntesis de los TAG (Figura 16), se puede resumir que comprende una ruta metabólica diferente a la de los otros tipos de compuestos lipídicos a excepción de los fosfoacilgliceroles. Los TAG y fosfoacilgliceroles utilizan como metabolito intermediario común la molécula de fosfatidato, y finalmente se dividen en rutas distintas que dan lugar a cada molécula en mención (referencia libro bioquímica).

La síntesis del metabolito fosfatidato empieza con la molécula de glicerol-3-fosfato, la cual incorpora moléculas activadas de ácido graso en forma de acil-CoA, normalmente el ácido graso que se une al carbono 1 es un ácido graso saturado, mientras que el que se sitúa unido al carbono 2 es insaturado. La molécula resultante es el ácido fosfatídico o fosfatidato. A partir de aquí, para la síntesis de triacilgliceroles se hidroliza

aparición de una resina que sirve como cubierta con características duras cuando se seca o se oxida. Dicha autooxidación de una grasa insaturada no ocurre normalmente en las células debido a que existen otras sustancias inhibitorias dentro de la célula que pueden proteger la oxidación.

La presencia de AG insaturados en los aceites vegetales les brinda a los TAG propiedades físicas como puntos de fusión bajos y una estabilidad a temperatura ambiente como líquidos. Caso contrario se da con los TAG de los animales, los cuales presentan AG saturados, dando la característica de ser sólidos o semisólidos a temperatura ambiente.

Junto a los TAG se encuentra una serie de componentes menores que hacen parte de la fracción no saponificable, que son de igual importancia y que hacen parte del estudio inicial de la metabolómica dirigida que se puede iniciar para el cultivo de Sacha Inchi.

Compuestos minoritarios de la fracción insaponificable

Los componentes menores de la fracción no saponificable incluyen una serie de compuestos heterogéneos (más de 230) (Diario Oficial de la Unión Europea L161, 2007). Estos componentes se dividen en dos grupos: los no relacionados químicamente con los AG, como los hidrocarburos, los alcoholes, los esteroides, los compuestos volátiles y los antioxidantes, y los derivados de los AG, como los fosfolípidos, las ceras y los ésteres de esteroides, como los más importantes Segura (Carretero A, E. et al., 2008).

A pesar de la pequeña concentración de componentes menores en aceite vegetales como el aceite de sachá Inchi, el cual presenta una alta cantidad de AG insaturados

(mayor al 90%), éstos desempeñan un papel clave en la calidad y el comportamiento de los diferentes aceites vegetales y en su caracterización (Hughes, 2009), Sathe et al., 2002; citado por Ramos, 2014). Los ácidos grasos más predominantes del aceite de Sacha Inchi se encuentran alfa linoleico (omega 3) con un 48,60 %, el linoleico (omega 6) con un 36,80% y el oleico (omega 9), 8,28% Esta composición se presenta en la *ilustración 18*.

Ilustración 18.

Esquema de la composición química del sachá Inchi (fracciones saponificables y no saponificables)



Nota: Adaptado de M. Orozco-Solano, J. Ruiz-Jiménez, M.D. Luque de Castro (2010). Ultrasound-assisted extraction and derivatization of sterols and fatty alcohols from olive leaves and drupes prior to determination by gas chromatography–tandem mass spectrometry, *Journal of Chromatography A*, Volume 1217, Issue 8. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.12.040>.

Se han publicado diferentes revisiones sobre la capacidad antioxidante, la estabilidad y la salubridad de los aceites vegetales describiendo sus beneficios y los métodos analíticos para su caracterización pero ninguna se ha dedicado o ha enfatizado el papel de la fracción insaponificable, su determinación empleando metodologías alternativas dotadas de características analíticas similares a los métodos convencionales que se han utilizado en tiempo operativo más cortos y menos dispendiosos obteniendo mejores resultados que con los métodos convencionales. Lerker et al. describieron el uso de metodologías convencionales para el análisis y posterior identificación de cada familia de compuestos mediante cromatografía de gases con detección por ionización de llama (GC-FID) o espectrometría de masas. (Lagarda MJ et al. 2006). Estas técnicas se han desarrollado y utilizado ampliamente en los últimos años con algunas modificaciones tanto en el paso de preparación de la muestra como en el número de familias de compuestos analizadas y que pueden hacer parte de la introducción al metaboloma de la fracción insaponificable de sachá Inchi.

Fracción insaponificable del Sachá Inchi

En cuanto a los beneficios de la fracción insaponificable del aceite de sachá inchi sobre la salud humana, el papel clave de los compuestos menores se atribuye principalmente a los esteroides, los constituyentes más abundantes de esta fracción, que se sabe que tienen una amplia gama de actividades biológicas. Los estudios clínicos han demostrado que los esteroides vegetales —también conocidos como fitoesteroides— ingeridos en la dieta normal o como suplementos dietéticos disminuyen los niveles de

colesterol en sangre, inhibiendo su absorción en el intestino delgado. (Giacomelli L et al. 2006).

Esteroles

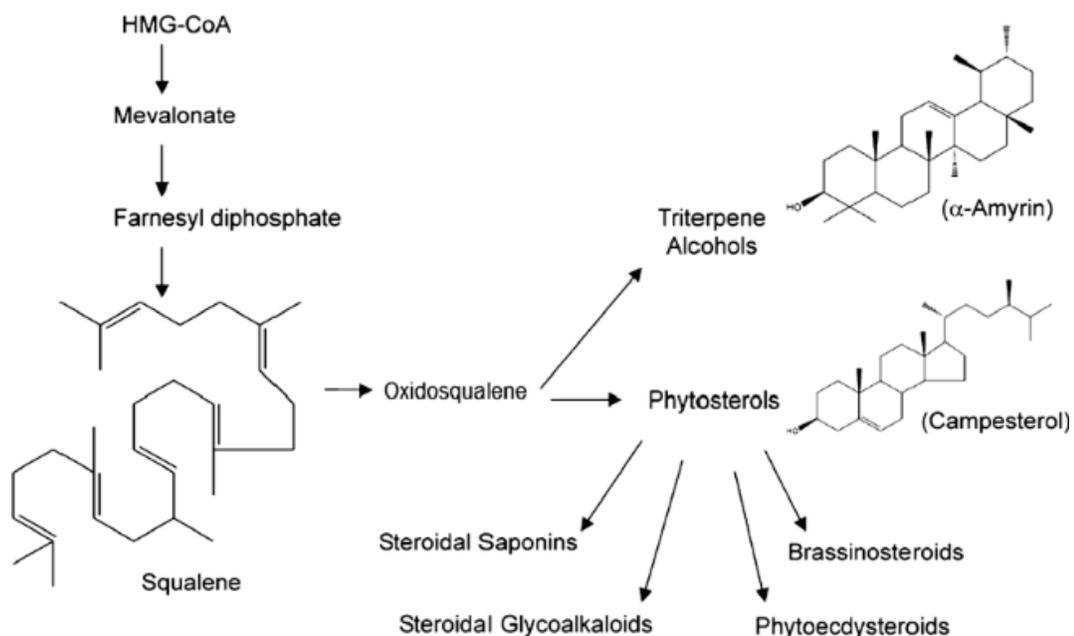
Los esteroides son sustancias naturales ampliamente presentes y constituyen la mayor proporción de la fracción insaponificable de los lípidos (100-220 mg/100 g de VOO8). Las fuentes naturales más importantes de esteroides vegetales en la dieta humana son los aceites y las margarinas, aunque estos metabolitos también se encuentran en una serie de semillas, legumbres, verduras y aceites vegetales no refinados. (Hargrove JL, et al., 2004). Su composición depende de la especie vegetal (Carretero A, E. et al., 2008) y, en los aceites, puede variar según las condiciones agronómicas y climáticas, la calidad de los frutos o semillas, los procedimientos de extracción y refinado y las condiciones de almacenamiento. El fitosterol predominante en los aceites vegetales con alto contenido de grasas insaturadas es el β -sitosterol y estigmasterol (74,56 y 75,49 mg/100g, respectivamente), siendo componentes menores el campesterol, el estigmasterol, el 5-avenasterol, el 7-avenasterol y el brasicasterol (Muñoz A.M, et al, 2010). Los esteroides, incluidos los precursores del colesterol y sus metabolitos, parecen ser biológicamente activos, aunque muchos de sus efectos biológicos deben ser aclarados y evaluados (Orozco M.I, 2012).

El potencial de los esteroides para unirse a los receptores nucleares y activar la transcripción de los genes diana ha sido una de las propiedades interesantes de estos metabolitos que ha fomentado muchas nuevas investigaciones en este ámbito. (Diario Oficial de la Unión Europea L161, 2007). Los esteroides son componentes de la

membrana y, como tales, regulan su fluidez y permeabilidad. En las plantas, donde siempre están presentes en mezclas, los esteroides actúan como sustratos para la producción de una amplia variedad de metabolitos secundarios, como los cardenolides, los glicoalcaloides, los derivados del pregnano y las saponinas (véase la *ilustración 19*).

Ilustración 19.

Biosíntesis de esteroides y triterpenoides a través de la vía del acetato-mevalonato.



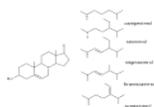
Adaptado de M. Orozco-Solano, J. Ruiz-Jiménez, M.D. Luque de Castro (2010). Ultrasound-assisted extraction and derivatization of sterols and fatty alcohols from olive leaves and drupes prior to determination by gas chromatography–tandem mass spectrometry, *Journal of Chromatography A*, Volume 1217, Issue 8. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.12.040>

La estructura similar de los esteroides vegetales y el colesterol llevó a una identificación errónea de los esteroides como colesterol en los guisantes por parte de Beneke. (Cercaci L; et al, 2010). Este error fue ampliamente demostrado como tal por

las investigaciones desarrolladas sobre el tema desde principios de los años cincuenta del siglo pasado. La similitud de los esteroides y el colesterol puede visualizarse en la *ilustración 20*. El interés nutricional deriva del hecho de que los esteroides tienen una estructura similar a la del colesterol, y tienen la capacidad de reducir el colesterol plasmático y el colesterol LDL.

Ilustración 20.

Estructura química de los principales esteroides vegetales.



Adaptado de M. Orozco-Solano, J. Ruiz-Jiménez, M.D. Luque de Castro (2010). Ultrasound-assisted extraction and derivatization of sterols and fatty alcohols from olive leaves and drupes prior to determination by gas chromatography–tandem mass spectrometry, *Journal of Chromatography A*, Volume 1217, Issue 8. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.12.040> .

Su estructura química es muy similar a la del colesterol con un doble enlace 5 y un grupo 3 β -hidroxilo, pero con modificaciones estructurales de la cadena lateral. El campesterol y el sitosterol, análogos del colesterol 24-metilo y 24-etilo, son los fitosteroides más abundantes que se encuentran en bajas concentraciones en el plasma humano. Aunque la ingesta dietética de esteroides vegetales es comparable a la del

colesterol plasmático, los niveles de esteroides vegetales en el plasma suelen ser inferiores a 10^{-3} mg/l. Las razones de las bajas concentraciones plasmáticas de esteroides son las pobres tasas de absorción intestinal y las altas tasas de eliminación biliar en comparación con el colesterol. (Sathe, S.K, et al 2012) Algunos de los principales esteroides presentes en las plantas y en los alimentos se enumeran en la Tabla 20.

Tabla 20.

Principales esteroides presentes en los alimentos analizados por GC

| <i>Esteroides</i> | <i>Alimentos</i> | <i>Estándares internos</i> |
|--|--|----------------------------|
| Brassicasterol, campesterol, stigmasterol, β -sitosterol, \square -5 avenasterol | Leche, margarina | Betulin |
| Brassicasterol, campesterol, stigmasterol, β -sitosterol, Δ^7 avenasterol | Aceites vegetales | Cholesteryl heptadecanoate |
| Cholesterol, brassicasterol, campesterol, stigmasterol, sitosterol, Δ -5-avenasterol, others (stanols: campestanol, sitostanol) | Harina de trigo integral y compuesto dietético | |
| Cholesterol, 24-norderhydrocholesterol, trans-22-dehydrocholesterol, brassicasterol. | Aceites, vegetales, productos cereales, vegetales, frutas, bayas | |
| Brassicasterol, campesterol, stigmasterol, β -sitosterol, | Matrices de plantas | Dihydrocholesterol |
| Sitosterol, campesterol, stigmasterol, brassicasterol, \square -5-avenasterol, cholesterol, others (sitostanol, campestanol) | Aceites y grasas comestibles | Epicholesterol |
| B-sitosterol, campesterol, stigmasterol, Δ^5 -avenasterol, sitostanol, campesterol | Almendras y semillas | Epicholesterol |

Adaptado de M. Orozco-Solano, J. Ruiz-Jiménez, M.D. Luque de Castro (2010). Ultrasound-assisted extraction and derivatization of sterols and fatty alcohols from olive leaves and drupes prior to determination by gas chromatography–tandem mass spectrometry, *Journal of Chromatography A*, Volume 1217, Issue 8. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.12.040>.

Alcoholes alifáticos.

Los alcoholes grasos son compuestos alifáticos derivados de grasas y aceites naturales, originados en plantas, pero también sintetizados en animales y algas. Actualmente se reconoce su importancia, históricamente ignorada, en la nutrición y la salud, ya que están estrechamente relacionados con los ácidos grasos, incluido el bien documentado ácido graso omega-3.

Las moléculas de alcohol más pequeñas se utilizan en cosmética y alimentación, y como disolventes industriales. Algunas de las moléculas más grandes se consideran simplemente biocombustibles, pero hasta 2006 se había investigado poco sobre muchas de ellas, a pesar de que habían demostrado estar dotadas de propiedades anticancerígenas, antivirales, antifúngicas y contra el VIH, y por tanto, con potencial en medicina y también como suplementos para la salud. (Cercaci L, et al 2003).

Debido a su naturaleza anfipática, los alcoholes grasos se comportan como tensioactivos no iónicos. Se utilizan como emulsionantes, emolientes y espesantes en cosméticos y alimentos, y son componentes comunes de las ceras, principalmente como ésteres de ácidos grasos, pero también como alcoholes libres.

Los estudios sobre el metabolismo de los alcoholes grasos en los fibroblastos sugieren que los alcoholes grasos de cadena muy larga, los aldehídos grasos y los ácidos grasos se interconvierten de forma reversible mediante un ciclo de alcoholes grasos. (Kim YK, et al 2009).

Los principales alcoholes presentes en algunos aceites vegetales que contiene alta cantidad de ácidos grasos insaturados son el hexacosanol, el octacosanol, el tetracosanol

y el docosanol (siempre en mayor concentración en el aceite de oliva virgen de segunda prensada que en el aceite de oliva virgen). (Lerma-García MJ, et al 2009).

Triterpenos

Comúnmente, los compuestos triterpénicos son componentes de preparados naturales de hierbas utilizados para el tratamiento de enfermedades humanas. Desde el punto de vista químico, todos los triterpenos pentacíclicos se basan en un esqueleto de 30 carbonos compuesto por cinco anillos de seis miembros (ursanos y oleananos) o cuatro anillos de seis miembros y uno de cinco (lupanos), y como moléculas lipofílicas también pueden penetrar la barrera hematoencefálica, como ya se ha demostrado para algunos de ellos. (Hyötyläinen T and Riekkola M-L 2005), (Ruiz-Gutiérrez V and Pérez-Camino MC, 2000)

Los triterpenos son también importantes metabolitos secundarios bioactivos gracias a la amplia gama de sus actividades biológicas. Son constituyentes comunes de plantas, frutas y verduras para la dieta humana. Se encuentran ampliamente en el reino vegetal en forma de ácidos libres o agliconas de saponinas triterpenoides.

Sorprendentemente, la bibliografía contiene relativamente poca información sobre la distribución de los compuestos triterpénicos en el reino vegetal, a pesar de sus propiedades farmacológicas, que incluyen efectos antiinflamatorios, hepatoprotectores, antitumorales, antivirales, contra el VIH, antimicrobianos, antidiabéticos, gastroprotectores y antihiperlipidémicos, así como actividades antioxidantes e insecticidas. (Dinh TTN, et al 2008), (Phillips KM, et al 2002). De hecho, el ácido

oleanólico, así como el uvaol y el derivado del ácido maslínico, el maslinato de metilo, han demostrado poseer propiedades vasodpresoras, cardiotónicas y antiarrítmicas.

(Lechner M, et al 1999).

Métodos para la determinación de esteroides, fenoles y compuestos triterpénicos y alifáticos

La preparación de extractos crudos de plantas es un paso clave previo al análisis cualitativo y/o cuantitativo de los constituyentes químicos presentes en los tejidos vegetales. Las técnicas tradicionales de lixiviación de materiales vegetales se basan principalmente en el uso de calor y/o agitación para aumentar la tasa de transferencia de masa al lixiviante adecuado. Así, la extracción de esteroides, fenoles y alcoholes alifáticos y triterpénicos se realiza tradicionalmente por maceración, hidrodestilación o extracción Soxhlet. (López-Feria S, et al 2009), (Päivi L, 2005). En los últimos años, técnicas alternativas como la extracción asistida por ultrasonidos y microondas, la extracción con líquidos presurizados y la extracción con fluidos supercríticos (Diario Oficial de la Unión Europea L161 2007), (Hughes, K. 2009), han aumentado la eficiencia de los procesos de extracción y han acortado el volumen de lixiviación y el tiempo de procedimiento.

(Orozco M.I., 2013).

Secado

La muestra vegetal debe secarse a temperaturas no superiores a 40 °C para evitar la degradación de los compuestos termolábiles. A continuación, la muestra sólida, normalmente seca, se tritura hasta conseguir un tamaño de grano homogéneo y pequeño para facilitar la transferencia de los analitos a una fase líquida. Se pueden usar morteros

más pilones y molinos de diferentes tipos en función de la muestra y del tamaño de grano deseado.

Preparación.

La preparación de la muestra puede implicar una serie de pasos de diferente complejidad y dificultad según el tipo de binomio muestra-analito(s). Entre los pasos más comunes en la preparación de la muestra están la extracción sólido-líquido, para las muestras sólidas, la extracción en fase sólida o la extracción líquido-líquido y la derivatización selectiva para las muestras líquidas. (Riddle LA and Guiochon G, 2006).

La creciente implicación de los químicos analíticos en el desarrollo de plataformas analíticas para la metabolómica ha llevado a (i) evaluar la eficacia y las características aceptadas de los métodos convencionales de preparación de muestras; (ii) promover la aceleración de la preparación de muestras mediante el uso de energías auxiliares y la automatización mediante el diseño y la optimización de sistemas dinámicos (Orozco M.I., 2013).

(a) Separación de analitos de la matriz de la muestra.

La técnica de aislamiento a aplicar depende de la naturaleza de la matriz, de su estado físico (líquido o sólido), y también de la forma (libre, esterificada o glicosilada) en que los esteroides y alcoholes alifáticos, los alcoholes triterpénicos y algunos hidrocarburos se presentan en la matriz.

La lixiviación de la muestra es el paso más habitual para la extracción de analitos cuando se trata de muestras sólidas, suele llevarse a cabo mediante métodos tradicionales basados en la solubilidad de los esteroides, alcoholes alifáticos y triterpénicos en diferentes

disolventes orgánicos como el diclorometano, el cloroformo, el hexano o el benceno, sometidos a agitación para facilitar la transferencia de masa a la fase líquida y, en algunos casos, con la ayuda de dispositivos de calentamiento.

En la actualidad, el uso de energías alternativas para acelerar la lixiviación (o el paso de digestión menos común) es una tendencia creciente. La energía de ultrasonidos y las microondas han demostrado ser útiles en acortar el tiempo requerido para el paso en cuestión, a fin de utilizar una menor cantidad de muestra y poder disminuir los volúmenes de disolventes orgánicos, acercándose así a los métodos verdes. (Abidi S, et al 1999), (Dinh TTN, 2008).

La extracción en fase sólida (SPE) suele aplicarse para la separación de analitos de matrices líquidas. Cunha S. et al. desarrollaron este paso utilizando cartuchos de alúmina neutra para la extracción de esteroides y alcoholes grasos libres y esterificados de aceites y grasas. (Toivo J, et al 2001). Los tocoferoles y los hidrocarburos fueron previamente separados y limpiados por SPE antes de su determinación.

(b) Saponificación.

Los métodos de saponificación directa se han aplicado antes de la determinación de los esteroides vegetales en los alimentos. Las matrices como los aceites vegetales, las plantas y los alimentos grasos requieren una hidrólisis ácida o básica. Se han aplicado la hidrólisis ácida, la saponificación alcalina y la extracción de lípidos con tolueno, pero una combinación de ambas ha demostrado ser superior a la hidrólisis alcalina por sí sola. (Lechner M, et al 1999). Aunque el aislamiento del material insaponificable que contiene fitostanoles y fitoesteroides, entre otros, tras la saponificación mediante extracción con

disolventes orgánicos puede llevar bastante tiempo, la mayoría de los métodos utilizan extracciones múltiples en un embudo separador con un disolvente orgánico como el éter dietílico, el éter, el éter de petróleo o el heptano, seguido de la evaporación del extractor hasta la sequedad.

(c) Limpieza del extracto.

La mayoría de las veces es obligatorio un paso de limpieza tras la extracción, especialmente cuando el paso de identificación-detección es diferente al de la espectrometría de masas (para eliminar los compuestos interferentes co-extraídos), pero también en la detección por espectrometría de masas debido a la supresión iónica, que a veces puede ser muy fuerte en ausencia de este paso. Por esta razón, la limpieza ha experimentado un desarrollo sustancial en los últimos años. (Kundu MK and Deb AT, 1981)

(d) Derivatización.

Aunque es posible separar los esteroides y los alcoholes grasos como tales sin derivatizarlos, la resolución entre los picos no es lo suficientemente buena para la cuantificación individual de los analitos. La derivatización de los analitos objetivos mejora la forma de los picos, la resolución y la sensibilidad, y promueve una mayor estabilidad para los esteroides insaturados térmicamente lábiles en el análisis GC posterior. (Clifton P, et al 2002), (Fu X, et al 2005): Los esteroides se analizan comúnmente como sus derivados de TMS o acetato, siendo los primeros más adecuados para la caracterización y cuantificación GC-MS. Los agentes de derivación habituales son la N-metil-N-trimetilsililtrifluoroacetamida (MSTFA) en piridina anhidra y la bis(trimetil-

silil)-trifluoroacetamida (BSTFA) que contiene un 1% de trimetilclorosilano (TMCS) (1:1, v/v) añadido a una muestra seca.

Detección-cuantificación individual de los compuestos minoritarios

La gran diversidad de los "componentes menores" de la fracción insaponificable dificulta el análisis de esta fracción. Una vez realizada la saponificación, la materia insaponificable puede fraccionarse en varias clases de compuestos mediante cualquier tipo de cromatografía -por ejemplo, cromatografía de capa fina-CCF (métodos oficiales de la AOCS, 1991) o cromatografía líquida (HPLC)-; o las familias de compuestos pueden separarse individualmente con fines de identificación/cuantificación mediante electroforesis de zona capilar (ECZC) o electrocromatografía capilar (ECC), (Azadmard-Damirchi S and Dutta PC, 2006); o derivarse a derivados del trimetilsiloxano -TMS para su posterior separación por GC con detección FID o MS. (Lin L-J, et al 2002). Las principales desventajas de la GC para esta tarea son el requisito de columnas estables y la derivatización química antes de los análisis; por lo tanto, en los últimos años se han reportado métodos para estos compuestos basados en LC o nano-LC con detección MS.(Lin L-J, et al 2002), (Toivo J,et al 2001). Los métodos existentes se aplican en función de la familia de insaponificables estudiada.

Los alcoholes grasos son más polares que los tocoferoles y a menudo se separan mal en CCF de sílice -sin embargo, no se observan problemas analíticos para su determinación por CG con detección FID o MS. (Azadmard-Damirchi S and Dutta PC, 2006). Los esteroides, la fracción de insaponificables más estudiada en el aceite de sacha

inchi, se han analizado habitualmente por GC con columnas empaquetadas, así como con columnas capilares cortas y largas [grasas y aceites]. Además, los esteroides se separan tan eficazmente en una columna polar de GC (65% fenil-35% dimetilpolisiloxano) que es posible detectar una serie de ellos que no pueden ser separados por otras columnas de GC. (Fu X, et al 2005) Los esteroides están presentes principalmente en forma libre y esterificada, y la determinación combinada de ambas proporciona una información muy útil para comprobar la autenticidad del aceite de oliva (Clifton P, et al 2002). Grob et al. describieron un método de LC-GC para la determinación rápida de esteroides libres, esterificados y ésteres de cera en los aceites, evitando así la saponificación de los triglicéridos, ya que son eliminados por LC junto con otros interferentes.

Conclusiones

La revisión bibliográfica realizada para el presente trabajo; contribuye significativamente para establecer las siguientes conclusiones en términos de los compuestos bioactivos, y la determinación de las propiedades nutricionales y antinutricionales de Sacha Inchi:

1. Los compuestos fenólicos, tocoferoles, ácidos grasos omega-3 (ω -3) y omega-6 (ω -6) y carotenoides y fitoesteroles presentes en la planta de Sacha Inchi, destacan su actividad biológica principalmente por la prevención de enfermedades gracias a sus efectos antibacterianos, antioxidantes, anti-inflamatorios, anti-alérgicos, y vasodiladores; siendo la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) uno de los métodos analíticos más usados en la determinación de estos compuestos bioactivos; no obstante es posible concluir que los estudios asociados a Sacha Inchi relacionados con la identificación y cuantificación de los ácidos grasos en Colombia utilizan diferentes técnicas analíticas como cromatografía de gases (CG-FID) y cromatografía de gases acoplada a espectrometría masas (CG-EM) a fin de determinar el perfil lipídico y evaluar su potencial antioxidante.

2. Según la investigación científica actual, Sacha Inchi es una semilla que presenta una variación en la composición lipídica y proteica, en esta última se consideran importantes por su funcionalidad las globulinas y la albúmina que contiene gliadina y glutelina, que, aunque están en baja proporción, tienen propiedades reológicas tales como impartir viscosidad y elasticidad a los alimentos. Micro y macro nutrientes requeridos en el aprovechamiento de la industria de alimentos.

3. El cultivo de Sacha Inchi es auto sostenible, orgánico, rentable y económico de mantener, se genera en diferentes suelos y altitudes bajo condiciones orgánicas manejables, que articulado a tecnologías innovadoras como la bioprospección en sus cultivos podrán desarrollarse productos o suplementos alimenticios que cumplan con las demandas nutricionales de la población en general.

4. Con respecto a los biomateriales o bioplásticos obtenidos a partir de Sacha Inchi; constituyen una nueva tendencia con relación a la generación de biopolímeros extraídos de tortas residuales para la elaboración de películas biodegradables.

5. Los componentes menores de la fracción no saponificable del aceite de sachá inchi incluyen los no relacionados químicamente con los AG, como los hidrocarburos, los alcoholes, los esteroides, tocoferoles, e incluso los polifenoles, algunos ellos son los compuestos volátiles y los derivados de los AG, como los fosfolípidos, las ceras y los ésteres de esteroides, pese a que corresponden a menos del 5% del aceite, son los más importantes desde el punto de vista gastronómico, debido a que son los responsables del color, el sabor y el aroma; así como también les corresponde un gran número de propiedades antioxidantes y antiinflamatorias que contribuyen a la salud de todo ser vivo.

Recomendaciones

Promover estudios enfocados a profundizar en las técnicas que permitan conocer el contenido de todos los compuestos bioactivos de Sacha Inchi, su síntesis y aplicación en la prevención de enfermedades mediante su consumo por ejemplo de las dietas personalizadas o nutrimetabólica.

Plantear nuevas investigaciones relacionadas con los tipos de compuestos fenólicos presentes en el aceite de Sacha Inchi, a fin de identificar los que posiblemente podrían estar asociados a la acción antioxidante que realizan los compuestos fenólicos.

Anexos



Ilustración 21. Fruto de Sacha Inchi

Nota. Adaptado de Fruit of *Plukenetia volubilis*, 2008, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>. CC BY-SA 3.0_



Ilustración 22. *Plukenetia volubilis*

Nota. Adaptado de Sacha Inchi, fruits and seeds, 2014, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.CC BY-SA 3.0



Ilustración 23. Planta de Sacha Inchi

Nota. Adaptado de Sacha Inchi is an indigenous species from the Amazon that produces edible seeds with a high content of Omega fatty acids. Location: Pucallpa, Ucayali, Peru., 2006, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.CC BY-SA 3.0



Ilustración 24. Fruto y semilla de Sacha Inchi

Nota. Adaptado de *Plukenetia volubilis* (Euphorbiaceae), vernacular name: sachá inchi. Amazonian species with edible seeds, location: Pucallpa, Ucayali, Peru. Fruits from experimental cultivation at INIA station, Pucallpa., 2006, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.CC BY-SA 3.0

Tabla 21.

Taxonomía de Plukenetia volubilis

| | |
|------------------|---|
| Reino: | Plantae |
| Subreino: | Tracheobionta |
| División: | Magnoliophyta |
| Clase: | Magnoliopsida |
| Subclase: | Rosidae |
| Orden: | Malpighiales |
| Familia: | Euphorbiaceae |
| Subfamilia: | Acalyphoideae |
| Tribu: | Plukenetieae |
| Subtribu: | Plukenetiinae |
| Género: | Plukenetia |
| Especie: | <i>P. volubilis</i> L |
| Sinónimos: | <i>Plukenetia perviana</i> Muel |
| Nombres locales: | Sachá Inchi, Sachá Peanut, Inca Peanut, Maní del Inca |

Fuente: USDA, GRIN Taxonomy for Plants and J.E. Correa & Henry Yesid Bernal, 1992

BIBLIOGRAFÍA

Abidi S, List G and Rennick K, (1999). Effect of genetic modification on the distribution of minor constituents in canola oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 76:463-467

Arce, A. (2018). Un emprendimiento que une a la tierra: El sachá inchi. *Periodico la campana.com*. Mayo 14. <http://www.periodicolacampana.com/un-emprendimiento-que-une-a-la-tierra-el-sacha-inchi/>

Ayala Guillermo (2016). Análisis de crecimiento y producción de 3 variedades de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), en el municipio de tena Cundinamarca. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Bogotá-Colombia. Disponible en: <https://repository.udca.edu.co/bitstream/11158/487/1/TESIS%20SACHA%20INCHI.pdf>

Benítez B., R., & Coronel T., C., & Hurtado Ordoñez, Z., & Martín F., J. (2015). Composición química de la cáscara de Sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) y alternativas para su aprovechamiento como subproducto agroindustrial. *El Hombre y la Máquina*, (46), 28-32. <https://www.redalyc.org/pdf/478/47843368004.pdf>

Azadmard-Damirchi, S. and Dutta, P. (2006) Novel solid-phase extraction method to separate 4-desmethyl-, 4-monomethyl-, and 4,4'-dimethylsterols in vegetable oils. *Journal of Chromatography A* 1108:183-187.

Betancourth, Cristhian (2013). Aprovechamiento de la torta residual de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) mediante extracción por solventes de su aceite. Universidad de Manizales, Manizales-Colombia. Disponible en:

http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/970/Betancourth_López_Cristhian_Fernando_2013.pdf?sequence=2

Benítez, Ricardo, Coronel Carolina, Hurtado Zully y Martín Jaime, (2015). Composición química de la cáscara de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) y alternativas para su aprovechamiento como subproducto agroindustrial. *El Hombre y la Máquina* (46). Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47843368004>

Brajesh Kumar, Kumari, Cumbal, Alexis Debut, (2017). Sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) shell biomass for synthesis of silver nanocatalyst, *Journal of Saudi Chemical Society*, Volume 21, Supplement 1, Pages S293-S298. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319610314000519>

Brajesh Kumar, Kumari Smita, Erika Sánchez, Carina Stael, Luis Cumbal, (2016). Andean Sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) shell biomass as new biosorbents for Pb²⁺ and Cu²⁺ ions, *Ecological Engineering*, Volume 93, Pages 152-158. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857416302610>

Castaño T., Diego, Valencia G., María del Pilar, Murillo P., Elizabeth, Mendez A., Jonh, Eras Joli, Jordi, (2012). Composición de ácidos grasos de sachá inchi (*Plukenetia Volúbilis* Linneo) y su relación con la bioactividad del vegetal. *Revista Chilena de Nutrición*, 39. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46922456005>

Careri M, Elviri L and Mangia A, (2001) Liquid chromatography-UV determination and liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionization mass

- spectrometric characterization of sitosterol and stigmasterol in soybean oil. *Journal of Chromatography A* 935:249-257.
- Cercaci L, Rodriguez-Estrada MT and Lercker G, Solid-phase extraction-thin-layer chromatography-gas chromatography method for the detection of hazelnut oil in olive oils by determination of esterified sterols. *Journal of Chromatography A* 985:211-220 (2003).
- Clavijo, Daniela Baldeón, Rodríguez, Francisco Velázquez, & Estupiñán, Jesús Eligio Castellanos. (2015). Utilización de plukenetia volubilis (sacha inchi) para mejorar los componentes nutricionales de la hamburguesa. *Enfoque UTE*, 6(2), 59-76. <https://dx.doi.org/10.29019/enfoqueute.v6n2.60>
- Clifton P, Plant sterol and stanols-comparison and contrasts. (2002). *Sterols versus stanols in cholesterol-lowering: is there a difference? Atherosclerosis Supplements* 3:5-9
- Dinh TTN, Blanton Jr JR, Brooks JC, Miller MF and Thompson LD, A (2008). Simplified method for cholesterol determination in meat and meat products. *Journal of Food Composition and Analysis* 21:306-314.
- Escué A., (2006). Determinació d' àcids grassos funcionalitzats amb grups que contenen oxigen i amb grups ciclopropènics mitjançant cromatografia de gasos-masses. Escola tècnica superior d' enginyeria agrària de Lleida., España.
- Fanali, Chiara & Dugo, Laura & Cacciola, Francesco & Beccaria, Marco & Grasso, Simone & Dachà, Marina & Dugo, Paola & Mondello, Luigi. (2011). Chemical Characterization of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Oil. *Journal of agricultural*

and food chemistry. 59. Disponible en:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22053706>

Faruk Ian (2018). Sacha inchi es uno de los cultivos más fuertes y con potencial de explotación en la región amazónica. Agro negocios: agricultura. Julio de 2018. Disponible en: <https://www.agronegocios.co/agricultura/cual-es-el-potencial-de-sacha-inchi-en-colombia-2746870>

Fu X, Liao Y and Liu H, (2005) Sample preparation for pharmaceutical analysis. Analytical and Bioanalytical Chemistry 381:75-77.

Giacomelli L, Mattea M and Ceballos C, Analysis and characterization of edible oils by chemometric methods. Journal of the American Oil Chemists' Society 83:303-308 (2006).

Gutiérrez, Luis Felipe; Rosada, Lina María; Jiménez, Álvaro, (2011). Chemical composition of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and characteristics of their lipid fraction. Grasas y Aceites, [S.l.], v. 62, n. 1, p. 76-83. Disponible en: <http://grasasyaceites.revistas.csic.es/index.php/grasasyaceites/article/view/1301/1300>

Gutiérrez A, del Río JC, González-Vila FJ and Martín F, (1998) Analysis of lipophilic extractives from wood and pitch deposits by solid-phase extraction and gas chromatography. Journal of Chromatography A 823:449-455.

Hargrove JL, Greenspan P and Hartle DK, Nutritional Significance and Metabolism of Very Long Chain Fatty Alcohols and Acids from Dietary Waxes. *Experimental Biology and Medicine* 229:215-226 (2004).

Hughes, K. 2009. Potencial del Camu camu y Sacha inchi en el mercado estadounidense. Comisión para la Promoción de Exportaciones – PROMPEX; Perú Biocomercio. Lima, Perú. Pp. 1-36.

Hurtado Zully Adriana (2013). Análisis composicional de la torta y aceite de semillas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) cultivada en Colombia. Universidad nacional de Colombia, Palmira-Colombia. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/12689/1/7609501.2013.pdf>

Hyötyläinen, T and Riekkola, M-L, (2005). Solid-phase extraction or liquid chromatography coupled on-line with gas chromatography in the analysis of biological samples. *Journal of Chromatography B* 817:13-21.

Innis S., (2008). Dietary omega 3 fatty acids and the developing brain. *Brain Res*; 1237: 35-43.

Jáuregui, Ana & Ramos-Escudero, Fernando & Ortiz-Ureta, Carlos & Castaneda, Benjamín & Mendoza, Edy & Yáñez, Jaime & Asencios, Delia. (2010). Evaluación del contenido de fitoesteroles, compuestos fenólicos y métodos químicos para determinar la actividad antioxidante en semilla de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 76. 234.

- Kim YK, Dohnalek Z, Kay BD and Rousseau R, Competitive Oxidation and Reduction of Aliphatic Alcohols over $(\text{WO}_3)_3$ Clusters. *The Journal of Physical Chemistry* 113:9721-9730 (2009).
- Kundu MK and Deb AT, (1981). Column Chromatographic Determination of Unsaponifiable Matter in Fats and Oils. *Fette, Seifen, Anstrichmittel* 83:73-76.
- Lagarda MJ, García-Llatas G and Farré R, (2006) Analysis of phytosterols in foods. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 41:1486-1496.
- Lechner M, Reiter B and Lorbeer E, (1999). Determination of tocopherols and sterols in vegetable oils by solid-phase extraction and subsequent capillary gas chromatographic analysis. *Journal of Chromatography A* 857:231-238
- Lerma-García MJ, Simo-Alfonso EF, Ramis-Ramos G and Herrero-Martínez JM, (2007). Determination of tocopherols in vegetable oils by CEC using methacrylate ester-based monolithic columns. *Electrophoresis* 28:4128-4135.
- Lerma-García MJ, Simo-Alfonso EF, Ramis-Ramos G and Herrero-Martínez JM, (2008) Rapid determination of sterols in vegetable oils by CEC using methacrylate ester-based monolithic columns. *Electrophoresis* 29:4603-4611.
- Lerma-García MJ, Ramis-Ramos G, Herrero-Martínez JM, Gimeno-Adelantado JV and Simó-Alfonso EF, (2009). Characterization of the alcoholic fraction of vegetable oils by derivatization with diphenic anhydride followed by high-performance liquid

- chromatography with spectrophotometric and mass spectrometric detection. *Journal of Chromatography A* 1216:230-236.
- Lin L-J, Tai SSK, Peng C-C and Tzen JTC, Steroleosin, a Sterol-Binding (2002). Dehydrogenase in Seed Oil Bodies, *Plant Physiology* 128:1200-1211.
- López-Feria S, Cárdenas S and Valcárcel M, (2009) One step carbon nanotubes-based solid-phase extraction for the gas chromatographic–mass spectrometric multiclass pesticide control in virgin olive oils. *Journal of Chromatography A* In Press, Corrected Proof, doi:10.1016/j.chroma.02.060.
- Lotero Echeverri, G. (2017). Innovación técnico-social Higuera y Sacha Inchi: cultivos promisorios para el Bajo Cauca antioqueño. *Universitas Científica*, 20(1), 26-31. Recuperado de <https://revistas.upb.edu.co/index.php/universitas/article/view/7571>
- Lucas L., Juan, Icochea D., Eliana, Valdivia R, Ricardo, Carcelén C, Fernando, & Guzmán G., John. (2011). Efecto del aceite de sachá inchi (*plukenetia volubilis*) en la dieta de reproductoras de pollos de engorde sobre el desempeño productivo de su progenie. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 22(4), 283-289. Recuperado en 15 de agosto de 2019, de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172011000400001&lng=es&tlng=es.

Naengchomng W, Pinho PM, Kijjoa A, Sawangwong P, Gonzalez MJ, Silva AMS, Eaton G and Herz W, (2006). Clerodanes and other constituents of *Cleidion spiciflorum*. *Phytochemistry* 67:1029-1033.

Mecon, 2002. Sector oleaginoso. Ministerio de economía secretaria de hacienda. Subsecretaria de relaciones con provincias dirección nacional de programación económica regional.

Muñoz Jáuregui, Ana, Ramos Escudero, Fernando, Ortiz-Ureta, Carlos Alvarado, Castañeda Castañeda, Benjamín, Barnett Mendoza, Edy, Yáñez Farfán, Jaime, & Cajaleón Asencios, Delia. (2010). Evaluación del contenido de fitoesteroles, compuestos fenólicos y métodos químicos para determinar la actividad antioxidante en semilla de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 76(3), 234-241. Recuperado en 15 de agosto de 2019, de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2010000300005&lng=es&tlng=pt.

Muñoz Jáuregui, Ana María, Alvarado-Ortiz Ureta, Carlos, Castañeda Castañeda, Benjamín, Lizaraso Caparó, Frank, Barnett Mendoza, Edy, Cárdenas Lucero, Luis, & Manco Céspedes, Emma. (2013). Estudio nutricional de *Plukenetia huayllabambana* sp. nov. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 79(1), 47-56. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2013000100007&lng=es&tlng=es.

Paucar-Menacho, Luz María, Salvador-Reyes, Rebeca, Guillén-Sánchez, Jhoseline, Caparobles, Juan, & Moreno-Rojo, Cesar. (2015). Estudio comparativo de las

- características físico-químicas del aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), aceite de oliva (*Olea europaea*) y aceite crudo de pescado. *Scientia Agropecuaria*, 6(4), 279-290. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.04.05>
- Orozco-Solano, J. Ruiz-Jiménez, M.D. Luque de Castro, Ultrasound-assisted extraction and derivatization of sterols and fatty alcohols from olive leaves and drupes prior to determination by gas chromatography–tandem mass spectrometry, *Journal of Chromatography A*, Volume 1217, Issue 8. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.12.040>.
- Päivi L, (2005). Analysis of sterols from various food matrices, *European Journal of Lipid Science and Technology* 107:402-410.
- Paucar-Menacho, Luz María, Salvador-Reyes, Rebeca, Guillén-Sánchez, Jhoseline, Caparobles, Juan, & Moreno-Rojo, Cesar. (2015). Estudio comparativo de las características físico-químicas del aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), aceite de oliva (*Olea europaea*) y aceite crudo de pescado. *Scientia Agropecuaria*, 6(4), 279-290. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.04.05>
- Pereira de Souza, Aloisio Henrique, Kirie Gohara, Aline, Cláudia Rodrigues, Ângela, Evelázio de Souza, Nilson, Vergílio Visentainer, Jesuí, Matsushita, Makoto, (2013). Sachá inchi as potential source of essential fatty acids and tocopherols: multivariate study of nut and shell. *Acta Scientiarum. Technology*, 35. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303228848020>

- Phillips KM, Ruggio DM, Toivo JI, Swank MA and Simpkins AH, (2002). Free and esterified sterol composition of edible oils and fats. *Journal of Food Composition and Analysis* 15:123-142.
- Pörschmann J, Plugge J and Toth R, (2001). In situ derivatisation using pressurized liquid extraction to determine phenols, sterols and carboxylic acids in environmental samples and microbial biomasses. *Journal of Chromatography A* 909:95-109.
- Ramos, E.F. 2014. Caracterización y trazabilidad del aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.). Programa de Ciencias y Tecnología, Departamento de Química Analítica. Universidad de Sevilla.
- Riddle LA and Guiochon G, (2006) Separation of free sterols by high temperature liquid chromatography. *Journal of Chromatography A* 1137:173-179.
- Rozenberg R, Ruibal-Mendieta NL, Petitjean G, Cani P, Delacroix DL, Delzenne NM, Meurens M, Quetin-Leclercq J and Habib-Jiwan JL, (2003) Phytosterol analysis and characterization in spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) and wheat (*T. aestivum* L.) lipids by LC/APCI-MS. *Journal of Cereal Science* 38:189-197.
- Rodríguez, G., & Villanueva, E., & Glorio, P., & Baquerizo, M. (2015). Estabilidad oxidativa y estimación de la vida útil del aceite de Sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Scientia Agropecuaria*, 6 (3), 155-163.
- Rodríguez, Haroldo Silva, BORÉM, Aluizio, Valente, Mágnio Sávio Ferreira, Lopes, Maria Teresa Gomes, Cruz, Cosme Damião, Chaves, Francisco Célio Maia, & Bezerra,

- Caroline de Souza. (2018). Genetic diversity among accessions of sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) by phenotypic characteristics analysis. *Acta Amazonica*, 48(2), 93-97. <https://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201702591>
- Ruiz, Candy; Díaz, Camilo; Anaya, José, & Rojas, Rosario. (2013). Análisis proximal, antinutrientes, perfil de ácidos grasos y de aminoácidos de semillas y tortas de 2 especies de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* y *Plukenetia huayllabambana*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 79(1), 29-36. Recuperado en 15 de agosto de 2019, de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2013000100005&lng=es&tlng=es.
- Ruiz-Gutiérrez, V y Pérez-Camino, MC, (2000). Update on solid-phase extraction for the analysis of lipid classes and related compounds. *Journal of Chromatography A* 885:321-341.
- Sathe, S.K.; Hamaker, B.R.; Sze-Tao, K.W.C.; Venkatachalam, M. 2012. Handbook of analysis of active compounds in functional foods. Boca Raton; Taylor & Francis Group, LCC. Pp. 87-797
- Segura Carretero A, Carrasco-Pancorbo A., Cortacero S, Gori A, Cerretani L and Fernandez-Gutierrez A, (2008) A simplified method for HPLC-MS analysis of sterols in vegetable oil. *European Journal of Lipid Science and Technology* 110: 1142-1149.

Toivo J, Phillips K, Lampi A-M and Piironen V, (2001). Determination of sterols in foods: recovery of free, esterified, and glycosidic sterols. *Journal of Food Composition and Analysis* 14:631-643

Vásquez Diana (2016). Aprovechamiento de subproductos de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Desarrollo de un producto alimenticio, empleando harina proveniente de torta residual en la extracción del aceite. Corporación Universitaria Lasallista, Caldas-Colombia. Disponible en: http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1691/1/Aprovechamiento_subproductos_sacha_inchi.pdf

Vega, J. (2005). Efecto hipolipemiante de *Plukenetia volubilis* (Sachá Inchi) en modelo animal. Universidad San Martín de Porres – USMP, Facultad de Medicina, San Martín de Porres.

Volin P, (2001). Analysis of steroidal lipids by gas and liquid chromatography. *Journal of Chromatography A* 935:125-140.

Weissenberg M, Schaeffler I, Menagem E, Barzilai M and Levy A, (1997). Isocratic non-aqueous reversed-phase high-performance liquid chromatographic separation of capsanthin and capsorubin in red peppers (*Capsicum annum* L.), paprika and oleoresin. *Journal of Chromatography A* 757:89-95.

Whitaker, BD and Gapper, NE, (2008). Ripening-specific stigmasterol increase in tomato fruit is associated with increased sterol C-22 desaturase (CYP710A11) gene expression. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56:3828–3835.

Yan L, Zhang Q, Zhang J, Zhang L, Li T, Feng Y, Zhang L, Zhang W and Zhang Y, (2004). Hybrid organic-inorganic monolithic stationary phase for acidic compounds separation by capillary electrochromatography. *Journal of Chromatography A* 1046:255-261.

Zapata Acosta, K, Piedrahita, A. M, Alzate, A. F, Cortés, F. B, & Rojano, B. A. (2015). Estabilización oxidativa del aceite de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) con suspensiones de mortiño (*Vaccinium meridionale* SW). *Ciencia en Desarrollo*, 6(2), 141-153. Retrieved August 15, 2019, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-74882015000200003&lng=en&tlng=es.

