

Análisis del uso integral del Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) en la industria de alimentos

Autoras

Leidy Johanna García Chacua

María Camila Gallego Perea

Director

Juan Carlos Gómez Daza

Universidad del Valle
Facultad de Ingeniería
Ingeniería de Alimentos
Cali - Colombia

2022

Análisis del uso integral del Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) en la industria de alimentos

Autoras

Leidy Johanna García Chacua

María Camila Gallego Perea

Documento presentado como requisito para optar por el título de ingeniero de alimentos

Director

Juan Carlos Gómez Daza

Universidad del Valle
Facultad de Ingeniería
Ingeniería de Alimentos
Cali - Colombia

2022

Tabla de Contenido

Resumen	6
1. Introducción.....	7
2. Generalidades de la planta de Sacha inchi	7
2.1 Clasificación taxonómica (Familia, Género, Especie).....	8
2.2 Características morfológicas.....	9
2.3 Distribución geográfica.....	10
2.4 Características del cultivo	10
3. Principales compuestos semilla de Sacha inchi	12
3.1 Composición proximal.....	12
3.2 Proteínas	13
3.3 Minerales	15
3.4 Carbohidratos	16
3.5 Compuestos fenólicos	17
3.6 Tocoferoles	18
3.7 Anti nutrientes	18
3.8 Fitoesteroles	19
3.9 Capacidad antioxidante	20
4. Lípidos y aceite de Sacha inchi	21
4.1 Propiedades fisicoquímicas de aceite de sachá inchi.....	22
4.2 Perfil de ácidos grasos.....	24
4.3 Otros compuestos identificados	28
4.3.1 Capacidad antioxidante	30
4.4 Métodos de extracción	31
4.4.1 Prensado en frío	31
4.4.2 Extracción con solventes	33
4.4.3 Extracción con fluidos supercríticos	34
5. Subproductos agroindustriales del Sacha inchi y sus principales compuestos	36
5.1 Cáscara.....	37
5.2 Torta	39

5.2.1	Composición proximal.....	39
5.2.2	Aminoácidos	41
5.2.3	Otros compuestos	42
5.3	Hojas.....	43
6.	Aprovechamiento del Sacha inchi y sus compuestos bioactivos en alimentos	44
6.1	Proteína como compuesto de valor agregado.....	46
6.2	Ácidos grasos como compuestos de valor agregado.....	47
6.3	Fitoesteroles como compuestos de valor agregado	49
6.4	Fenoles como compuestos de valor agregado	50
6.5	Tocoferoles como compuestos de valor agregado	53
7.	Usos del Sacha inchi en los alimentos	54
7.1	Aceite de Sacha inchi.....	55
7.2	Torta de Sacha inchi	56
8.	Vigilancia tecnológica	62
8.1	Sistematización de la información.....	66
	Conclusiones	97
	Bibliografía	98

Listado de Figuras

Figura 1 <i>Semillas mencionadas</i>	8
Figura 2 <i>Planta de Sacha inchi</i>	9
Figura 3 <i>Aceite de semillas de Sacha inchi crudas y tostadas</i>	23
Figura 4 <i>Subproductos tras la obtención de aceite de Sacha inchi por prensado</i>	37
Figura 5 <i>Fruto, granos, aceite y torta prensada (subproducto) del Sacha inchi</i>	54
Figura 6 <i>Subproductos de la torta de Sacha inchi</i>	57
Figura 7 <i>Proceso de obtención de concentrado de proteína a partir de la torta de Sacha inchi</i> ..	58
Figura 8 <i>Etiquetado del concentrado proteico de Sacha inchi producido en Colombia</i>	59
Figura 9 <i>Número de publicaciones por año sobre Sacha inchi</i>	64
Figura 10 <i>Principales revistas con publicaciones sobre Sacha inchi</i>	64
Figura 11 <i>Autores con mayor número de publicaciones sobre Sacha inchi</i>	64
Figura 12 <i>Países con mayor número de publicaciones sobre Sacha inchi</i>	65
Figura 13 <i>Tipos de publicaciones sobre Sacha inchi</i>	65

Listado de Tablas

Tabla 1 <i>Características del cultivo de Sacha inchi</i>	11
Tabla 2 <i>Composición de la semilla de Sacha inchi según la procedencia de su cultivo</i>	12
Tabla 3 <i>Perfil de ácidos grasos en aceites de Sacha inchi de diferente procedencia y diferentes métodos de extracción</i>	26
Tabla 4 <i>Tabla comparativa de ácidos grasos en distintos tipos de aceite</i>	27
Tabla 5 <i>Otros compuestos identificados en el aceite de Sacha inchi</i>	29
Tabla 6 <i>Composición proximal de la torta prensada de Sacha inchi en base seca</i>	40

Resumen

En los últimos años se han dado a conocer las características nutritivas del Sacha Inchi, de sus semillas se logra extraer un aceite altamente rico en ácidos grasos poliinsaturados como lo son la omega 3 y 6. Debido a esto, se ha popularizado en el cultivo agrícola la explotación de la semilla, junto con el creciente mercado mundial de los aceites vegetales y la necesidad de la población en la búsqueda de alternativas a las grasas de origen animal con el ánimo de cuidar su salud. Sin embargo, diversos estudios han demostrado que la planta a través de sus semillas y subproductos generados, proporciona diferentes compuestos con importante aporte nutricional y compuestos bioactivos que se pueden aprovechar en la elaboración de alimentos, permitiendo así un aprovechamiento integral. Esta revisión se elaboró mediante la recopilación de información de base científica acerca de la composición del Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) y de las propuestas de su uso como materia prima para la elaboración de diversos productos alimenticios.

Palabras claves: Sacha inchi, *Plukenetia volubilis* L, omega 3 y 6, salud, aprovechamiento integral, subproductos, compuestos bioactivos, productos alimenticios.

Abstract

In recent years, the nutritional characteristics of Sacha Inchi have become known; from its seeds it is possible to extract an oil highly rich in polyunsaturated fatty acids such as omega 3 and 6. Due to this, the exploitation of the seed has become popular in the agricultural cultivation, together with the growing world market for vegetable oils and the need of the population in search of alternatives to animal fats in order to take care of their health. However, several studies have shown that the plant, through its seeds and by-products, provides different compounds with important nutritional contribution and bioactive compounds that can be used in the elaboration of food, thus allowing an integral use. This review was elaborated through the compilation of scientific information about the composition of Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) and the proposals for its use as raw material for the elaboration of different food products.

Keywords: Sacha inchi, *Plukenetia volubilis* L, omega 3 and 6, by-products, bioactive compounds, foodstuffs, food products.

1. Introducción

El Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.), es conocido también como “maní inca”, “maní silvestre”, “inca inchi” o “maní de montaña”, proviene de la familia de las euforbiáceas y es una planta oleaginosa que crece en las selvas tropicales del Perú, en latitudes de 200 y 1500m (Follegatti-Romero, Piantino, Grimaldi, & Cabral, 2009). Actualmente, su cultivo se da de forma amplia en el sur de Colombia, ya que ha sido considerado como un cultivo nuevo y prometedor. El gran interés en las semillas de Sacha inchi, está en su alto contenido de aceites entre 35-60% (Wang, Zhu, & Kakuda, 2018).

El uso de este fruto en preparaciones como sopas, alimentos para niños, galletas entre otros, se ha dado principalmente en el país de Perú. Debido a que, pueden obtener este aceite a través de diversos métodos y con la atomización de la harina se preparan comidas, bebidas y bocadillos como gran fuente de omegas 3 y 6 (Vásquez, Hincapié, Cardona, Jaramillo, & Vélez, 2017). La composición nutricional de las semillas de Sacha inchi es llamativa por sus altos niveles de ácidos grasos como el omega 3, 6 y 9, lo que lo hace tener un perfil lipídico destacable. Numerosos estudios documentan los efectos positivos sobre la salud humana en cuanto a la prevención de enfermedades coronarias, diabetes, hipertensión, artritis, enfermedades inflamatorias de la piel y déficit de atención e hiperactividad (Betancur, Urango, & Restrepo, 2016). De la extracción del aceite se obtiene una torta con aceite residual rica en proteínas, aproximadamente 59% (base seca) (González, Medina, Garay, & Mendieta, 2017), gracias a estos niveles altos de proteínas, se considera como un insumo de gran calidad.

La presente revisión de base científica tiene como objetivo analizar el uso potencial e integral del Sacha inchi en la industria de alimentos. Así, como también pretende sistematizar la información encontrada sobre los posibles usos del Sacha inchi para la elaboración de productos alimenticios.

2. Generalidades de la planta de Sacha inchi

Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) que en la lengua nativa significa falso (Sacha) maní (inchi) (Cárdenas, Rave, & Soto, 2021). Es una planta oleaginosa que pertenece a la familia Euphorbiaceae, llamada también como, “Sacha yuchi”, “Sacha yuchiqui”, “Maní del monte”, “Maní silvestre” o “inca peanut” en inglés (Flores & Lock, 2012). Es originaria de la selva tropical de la región amazónica de Suramérica, se distribuye a través de países como Brasil, Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia, Venezuela y Surinam. Se cree que fue descubierta en la época preincaica

desde hace más de 3000-5000 años (Goyal, Tanwar, Kumar Sihag, & Sharma, 2022). Hace parte de algunos platos tradicionales de la gastronomía indígena de la Amazonía peruana (Arévalo, Zegarra, Cabanillas, del Castillo, & Vargas-Arana, 2019). Presenta un fruto con forma similar a una estrella, con semillas ovaladas, que son de gran interés para diversas industrias, principalmente por su alto contenido de aceite, el cual representa hasta el 54,7% en la composición de la semilla, además de su calidad, haciendo referencia al ámbito nutricional, ya que se destaca su proporción de ácidos grasos insaturados (Goyal et al., 2022).

2.1 Clasificación taxonómica (Familia, Género, Especie)

Esta planta pertenece a la familia de las Euforbiáceas, su género es *Plukenetia* y está compuesto por 19 especies (Flores & Lock, 2012). Algunas de las especies pertenecientes a este género son: *Plukenetia volubilis* Linneo, *Plukenetia brachybotrya*, *Plukenetia polyadenia*, *Plukenetia lorentensis* y *Plukenetia huayllabambana*, estas presentan diferencias en su morfología y propiedades fisicoquímicas en comparación con la especie *Plukenetia volubilis* L. (Wang et al., 2018). *P. volubilis* L, llamada Sacha inchi, y *P. huayllabambana*, originarias de la selva amazónica, son las más valoradas comercialmente (Cornelio-Santiago, Bodini, & de Oliveira, 2021). En la Figura 1, se ilustra las semillas de las especies mencionadas anteriormente, procedentes de la Amazonía peruana, en donde se evidencia diferencias en tamaño y forma.

Figura 1

Semillas mencionadas



Nota. Semillas de 6 especies del género *Plukenetia*: A = *P. brachybotrya*; B = *P. lorentensis*; C = *P. volubilis*; D = *P. volubilis*; E = *P. huayllabambana*; F = *P. polyadenia*

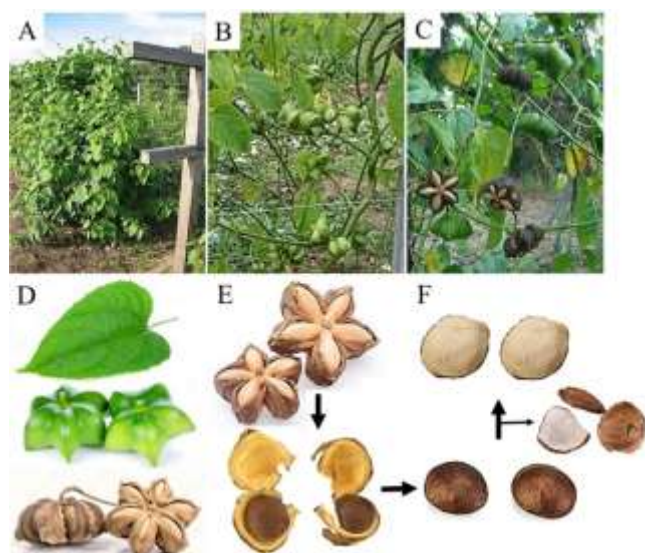
Fuente: (Rodríguez et al., 2011)

2.2 Características morfológicas

Es una planta liana o trepadora, perenne, que crece y se desarrolla rápidamente (Cornelio-Santiago et al., 2021). Es semileñosa y su altura es de aproximadamente 2 metros, con flores pequeñas que contienen 4 a 5 sépalos, de color amarillo con un tono verdoso y sin pétalos (Goyal et al., 2022). Su inflorescencia es racemosa, monóica, con un largo de 2-18 cm (Dostert et al., 2009). Sus hojas son opuestas y simples, con lámina aovada triangular, de medidas 6-3 cm de largo y 4-10 cm de ancho, de base truncada o cordada (Flores & Lock, 2012). En cuanto a su fruto, son cápsulas carinadas con forma de estrella con una medida 2,5 cm de diámetro, inicialmente es de color verde, pero a medida que va cambiando su grado de maduración se torna de un color marrón. La cápsula del fruto una vez seco contienen de 4 a 6 semillas, su peso es de 0,74-1,22 g /semilla, diámetro 1,5-2,0 cm, y 7,74-8,92 mm de longitud (Goyal et al., 2022), éstas son de marrón oscuro, son lenticulares, comprimidas lateralmente (Flores & Lock, 2012). En la Figura 2 se presentan imágenes de la planta de Sacha inchi, sus hojas, el fruto y las semillas.

Figura 2

Planta de Sacha inchi



Nota. A: planta de Sacha inchi, B: frutos inmaduros C: Frutos inmaduros y maduros D: Hojas y cápsulas inmaduras y maduras E: Cápsulas de 5 lóbulos F: F) Semillas con cáscara (arriba), almendras comestibles y cáscara de la semilla (abajo)

Fuente: (Goyal et al., 2022)

2.3 Distribución geográfica

Plukenetia volubilis Linneo se cultiva ampliamente en Perú y en Colombia (Gutiérrez, Rosada, & Jiménez, 2011). Su distribución a través de Colombia se ha registrado en los departamentos de Chocó, Amazonas, Caquetá (Pardo, Baldovino, & Oviedo, 2021), Antioquia (Triana-Maldonado, Torijano-Gutiérrez, & Giraldo-Estrada, 2017), Santander (González, 2021), Valle de Cauca, Cauca, Meta (Montero, 2019), Tolima y Putumayo que es considerado el mayor productor (Benítez, Coronell, & Martín, 2018). También se reporta su localización en países de América como Bolivia, Surinam, Antillas Menores, Venezuela, Ecuador y Brasil (Cárdenas et al., 2021). Esta especie también se está cultivando en el continente asiático, específicamente en el norte de Tailandia, al igual que en otros países pertenecientes a la Subregión del Gran Mekong, considerándose como un cultivo nuevo y de gran interés (Rawdkuen, Murdayanti, Ketnawa, & Phongthai, 2016).

2.4 Características del cultivo

Para el crecimiento de la planta se requieren altitudes que van desde 30 a 2000 msnm, clima tropical o subtropical, temperaturas de 10 a 26°C y humedad relativa del 78% (Alayón & Echeverri J., 2016).

La planta crece en altitudes que van desde los 200 hasta 1500 msnm, con clima cálido (Temperatura de 10-37 °C), suelos húmedos de textura media (margas arenosas o arcillosas) y precipitaciones de 850-1000 mm durante el año (Goyal et al., 2022). En Perú es considerada una planta silvestre, pero también se cultiva, y su crecimiento se da en altitudes que van desde los 100 msnm en la selva baja hasta los 2000 msnm en la selva alta amazónica (Flores & Lock, 2012).

Las semillas una vez sembradas bajo las condiciones adecuadas, tardan 2 semanas para germinar. Posterior a eso, la planta produce sus flores a los 6 meses y cápsulas de frutos a los 8 meses. Finalmente, se cosechan las cápsulas de frutos secos, dependiendo de factores como la temporada y condiciones del riego, se puede obtener un rendimiento promedio de 150-750 kg/ha (Goyal et al., 2022).

En la Tabla 1 se presenta algunas características con relación a las condiciones del cultivo de *P. volubilis* en Perú.

Tabla 1*Características del cultivo de Sacha inchi*

Factor	Descripción
Temperatura	Para su crecimiento y maduración la temperatura abarca un rango de 10-36°C.
Humedad relativa	Una humedad relativa del 78% y una temperatura media de 25°C son las condiciones óptimas para que la planta esté libre de enfermedades.
Agua	Es indispensable un suministro de agua constante para un óptimo crecimiento, siendo necesarias precipitaciones uniformes (850-1000 mm) durante todo el año. Durante los meses secos o en temporadas de sequía se debe usar riegos.
Suelo	Presenta adaptabilidad a diferentes tipos de suelos. Puede usarse terrenos planos, ondulados y en laderas con buen drenaje. Textura media (franco arcilloso arenosa, franco arcilloso y franco arenoso). Puede crecer en suelos ácidos (pH 5,5 - 7,8) y con alta concentración de aluminio
Siembra Directa	Cantidad de semillas: 1,0 – 1,5 kg/ha Distancia entre hileras: 2,5 – 3,0 m Distancia entre plantas: 3m Profundidad: 2cm
Siembra indirecta	Almácigos o semilleros: Se utiliza arena lavada de río, con hileras de 10 cm y profundidad de 2 cm. Primer trasplante: Se usan bolsas de polipropileno negro, sustrato preparado previamente con tierra negra de bosque, debe realizarse antes de la aparición del tercer par de hojas verdaderas en la plántula. Trasplante final: Debe hacerse aproximadamente a los 60 días del almácigo.

Cosecha	Después del trasplante final, la primera cosecha se realiza a 6,5-8 y posteriormente cada 20- 25 días.
	Se recogen solo las cápsulas de color marrón y que aún permanecen sujetas a la planta, para evitar cualquier tipo de contaminación.
	Rendimiento aproximado: 0,7—2,0 t/ha

Fuente: (Dostert et al., 2009)

3. Principales compuestos semilla de Sacha inchi

3.1 Composición proximal

Las semillas de Sacha inchi están compuestas principalmente por grasa y proteína, y en menor proporción por carbohidratos, minerales, vitaminas, esteroides, entre otros. Los valores reportados en diversas investigaciones presentan ciertas diferencias en el contenido de estos compuestos, son muchos los factores que influyen, como el origen de la semilla, el momento de cosecha, la metodología de extracción, análisis o métodos analíticos (Flores & Lock, 2012), el lugar de procedencia, condiciones de almacenamiento y tratamientos post cosechas (Ruiz, Díaz, Anaya, & Rojas, 2013).

La Tabla 2 muestra la composición reportada por algunos estudios realizados con semillas de Sacha inchi de distinta procedencia en cuanto a la localidad del cultivo, en el cual se evidencian las diferencias en los valores.

Tabla 2

Composición de la semilla de Sacha inchi según la procedencia de su cultivo

Estudio	Gutiérrez, Rosada, & Jiménez (2011)	Ruiz, Díaz, Anaya, & Rojas (2013)	Valdiviezo, Romero, & Bonilla (2019)	Benítez, Coronell, & Martín (2018)	Bueno - Borges et al. (2018)
Especificaciones	Semillas sin cáscara provenientes de Caquetá – Colombia	Semillas provenientes de Perú. Composición en base seca	Semillas sin cáscara provenientes de Ecuador. Composición en base seca	Semillas provenientes de Putumayo – Colombia	Semillas sin cáscara provenientes de Brasil. Composición en base seca
Componente (%)					
Humedad	3,3	-	6,72	5,00	5,54

Grasa	42,0	49,0	42,03	42,75	54,7
Proteína	24,7	29,6	29,78	29,85	29,2
Ceniza	4,0	2,7	2,9	3,06	2,90
Carbohidratos	30,9	12,1	-	-	6,59
Fibra	-	6,6	18,0	2,9	6,61

Debido a que contienen fitotoxinas, estas semillas al estar crudas presentan un sabor astringente, por lo tanto, no son comestibles. Los tratamientos empleados para su procesamiento incluyen el tostado, secado y hervido, con lo cual se logra mejorar el sabor en general, pero también alterar su composición nutricional, ya que puede generar lixiviación o degradación de algunos compuestos o al contrario podría aumentar su biodisponibilidad, es necesario la aplicación de tratamientos térmicos con temperaturas adecuadas (Goyal et al., 2022).

A continuación, se describen los componentes que han sido analizados en las semillas de Sacha inchi, partiendo desde el contenido de proteínas. Para el caso del contenido de la grasa o lípido, éste es el principal componente y el de mayor interés por parte de las distintas industrias, debido a su perfil de ácidos grasos, donde se destaca su contenido de omega 3 y 6. Por lo tanto, lo relacionado en este componente se especifica ampliamente en un apartado posterior, relacionado con el aceite.

3.2 Proteínas

Después del contenido de lípidos, las proteínas son el segundo componente mayoritario, también se han considerado de gran interés para su aprovechamiento en la industria de alimentos. Las semillas de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis L.*) crudas, contienen alrededor del 27% proteínas, es comparable con el contenido en otras semillas oleaginosas como la soya (28%), semillas de girasol (24%), de algodón (33%) y el maní (23%) (Wang et al., 2018), y algunos frutos secos como la almendra (19,48 %), la nuez (13,46 %), el pistacho (19,80), macadamia (8,40 %) y avellana (14,08 %) (Goyal et al., 2022). En una publicación reciente, se reportó un contenido promedio de 22,56% de proteínas, constituido mayoritariamente (16,37%) por albúminas 2S y globulinas 7S, seguido por glutelinas (5,87%) y prolaminas (0,33%) (Goyal et al., 2022).

En un estudio realizado con semillas de Sacha inchi crudas y sin cáscaras, cultivadas en Caquetá (Colombia), se obtuvo un contenido de proteína del 24,7%, mediante el método de

Kjeldahl y utilizando el factor 6,25, para hallar el contenido de proteína bruta (Gutiérrez et al., 2011). Ruiz et al. (2013), determinaron igualmente el contenido de proteínas por el método de Kjeldahl y utilizando el factor 6,25, en semillas *P. volubilis* cultivadas en Perú, el valor obtenido fue de 29,6%, difiere un poco con el valor mencionado anteriormente, a pesar de que se utilizaron muestras de la misma especie y el método de extracción fue el mismo. En el perfil de aminoácidos esenciales que evaluaron, se obtuvieron valores superiores a los recomendados por la FAO (exceptuando lactantes), pero en el caso de la Lisina y Leucina el resultado fue mucho menor.

En harina obtenida a partir de las semillas de Sacha inchi previamente desengrasadas, la albúmina es la proteína soluble en agua que predomina (43,7%), seguido de la glutelina (31,9%), globulina (27,3%) y prolamina (3,0%). Respecto a la albúmina, ésta es una proteína que contiene todos los aminoácidos esenciales que requieren los adultos, mediante un ensayo in vitro se pudo demostrar que esta proteína desnaturalizada por calor es altamente digerible (Wang et al., 2018).

La semilla contiene todos los aminoácidos esenciales en diferentes proporciones, se ha reportado que poseen igual o mayor cantidad (mg de aminoácido/g de proteína) de la recomendada por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) para todos los grupos de edades exceptuando los lactantes, igualmente se presentan casos en los que algunos aminoácidos esenciales no cumplen con lo dicho anteriormente (Goyal et al., 2022). Dentro de los aminoácidos esenciales, predomina la leucina (64 mg/g), también contiene tirosina (55 mg/g), isoleucina (50 mg/g), lisina y treonina (43 mg/g), y valina (40 mg/g) (Wang et al., 2018). Dentro de los aminoácidos sobresalen, valina (40 mg/g proteína), leucina (37 mg/g proteína) y treonina, (36 mg/g proteína) (Ruiz et al., 2013).

Benítez et al. (2018), analizaron el perfil de aminoácidos en semillas descascaradas, provenientes de Putumayo, Colombia. El contenido de proteínas se determinó por el método Kjeldahl-factor 6,25. Obtuvieron un porcentaje de 29,8%. Dentro de los aminoácidos esenciales sobresale la treonina (88 mg/g proteína), seguido de leucina (68 mg/g proteína), e isoleucina (57 mg/g proteína). Al igual que otros reportes en cuanto a los valores recomendados por la FAO (mg de aminoácido/g de proteína), se obtuvieron aminoácidos con valores mucho mayores como la treonina y la isoleucina, pero igualmente el contenido de lisina fue menor.

Así pues, se puede considerar la semilla de Sacha inchi como una buena fuente de proteínas de buena calidad nutricional, que pueden ser aprovechadas para hacer parte de la nutrición humana.

3.3 Minerales

Se reporta que en las semillas enteras de *P. volubilis*, el mineral más abundante es el potasio (K) (489–775 mg/100 g), seguido del fósforo (P) (580,30 mg/100 g), magnesio (Mg) (321–344 mg/100 g), calcio (Ca) (126–297 mg/100 g), hierro (Fe) (4,20–10,35 mg/100 g) y zinc (Zn) (4,10–5,90 mg/100 g) (Goyal et al., 2022).

En comparación con otras semillas oleaginosas, presenta un contenido de potasio parecido al de la nuez de árbol (312 y 600 mg/100 g) y contiene mayor cantidad de calcio que la macadamia (45,0 mg/100 g), el maní (58,0 mg/100 g), y nuez (58–94 mg/100 g).

También se ha evidenciado la presencia de oligoelementos como aluminio, cloro, titanio y vanadio, aunque en cantidades diminutas. Hasta el momento no se ha informado sobre la presencia de metales pesados en las semillas (Goyal et al., 2022).

Las semillas crudas de Sacha inchi cultivadas en Caquetá (Colombia), contienen minerales esenciales para la dieta humana, como lo son como el magnesio (3210 mg/kg), el calcio (2406 mg/kg) y el zinc (49 mg/kg). El mineral más representativo en cuanto a cantidad fue el potasio (5563,5 mg/kg), también contenían, aunque en menor cantidad, hierro (103,5 mg/kg), zinc (49,0 mg/kg), sodio (15,4 mg/kg) y cobre (12,9 mg/kg) (Gutiérrez et al., 2011).

Mientras, que para el caso de semillas crudas cultivadas en la región amazónica de Perú, el mineral presente en mayor cantidad fue el calcio con un valor de 237,92 mg/100g (2379,2 mg/kg), seguido de magnesio 97,49 mg/100g, sodio 41,38 mg/100g y potasio 33,30 mg/100g, igualmente contenían en menor proporción zinc 5,42 mg/100g, hierro 5,01 mg/100g y cobre 0,97 mg/100g (Arévalo et al., 2019).

Los minerales que se destacan en la semilla de Sacha inchi, son el potasio, el magnesio y el calcio, por su ingesta aportaría estos minerales al consumidor. La FAO considera que los principales minerales en el cuerpo humano son: fósforo, calcio, potasio, cloro, sodio, azufre, magnesio, hierro, manganeso, yodo, zinc, flúor, selenio y cobalto. De ellos, los de mayor importancia para la nutrición humana son: el calcio, yodo, hierro, flúor y zinc. Para los seres humanos y otros mamíferos, tanto el calcio como el fósforo tienen una función conjunta e importante como principales componentes del esqueleto. Son relevantes, además en las funciones metabólicas, los estímulos nerviosos, las funciones musculares, en el transporte del oxígeno, y la actividad enzimática y hormonal (FAO, 2002).

Al igual que otros factores, los tratamientos realizados a las semillas influyen de múltiples maneras en su composición y sus características nutricionales, esto incluye a los minerales. En un estudio comparativo sobre el efecto de tratamientos como el tostado (160°C durante 6 minutos) y hervido con agua (100°C durante 13 minutos) efectuado en semillas de Sacha inchi, se obtuvo que, las semillas en crudo tenían como mineral representativo el fósforo con un contenido promedio de 5196,7 mg/L, seguido de potasio 4892,9 mg/L, magnesio 3441,8 mg/L y Calcio 1263,2 mg/L. Como en otros casos, en menor proporción estaba el zinc, hierro, manganeso y cobre. Tras el tostado se presentaron resultados favorables dado que se tuvo un aumento en la cantidad de calcio en las semillas, obteniendo un nuevo resultado promedio de 2291,7 mg/L, se sabe que el calcio aporta múltiples beneficios para el cuerpo humano, como el correcto desarrollo de los huesos y dientes. Este tratamiento también aumentó aunque en menor proporción las cantidades del hierro, magnesio, manganeso, fósforo y zinc, sólo se obtuvo una pequeña reducción del Potasio, por lo cual los autores concluyen que el tratamiento realizado en las condiciones establecidas es adecuado para aumentar las cantidades de minerales en las semillas de Sacha inchi, Para el caso del tratamiento de hervido los resultados fueron desfavorables dado a que, solo se obtuvo un leve aumento en la cantidad de calcio, pero se produjo una reducción de los demás minerales, en algunos casos de manera significativa, esto probablemente debido a la lixiviación de los minerales en el agua que se ocasionan durante la ebullición, por lo tanto no es recomendable este proceso a las condiciones establecidas (Kim & Joo, 2019).

3.4 Carbohidratos

Se ha reportado que para semillas de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) el contenido de carbohidratos oscila en un rango de 13,4–30,9%, 10,90% de fibra dietaria, con fibra dietaria insoluble en agua (IDF) 72,4%; y fibra dietaria soluble (SDF) 9,0%, estas dos últimas son superiores en comparación con el maní que presenta (IDF, 37,2% y SDF, 2,1%) (Wang et al., 2018). El contenido de fibra de total varía de 6,59 a 13,86 %, valor similar al de las nueces (5 a 10 %) y superior al de las legumbres (3–6%) (Goyal et al., 2022), en semillas provenientes de Colombia, se informó un resultado de 30,9% de carbohidratos totales (Gutiérrez et al., 2011) y para semillas provenientes de Perú, de 31,9% y para fibra cruda de 8,64% (Arévalo et al., 2019).

El contenido de carbohidratos en estas semillas no es bien conocido ni detallado, la variabilidad en los resultados obtenidos puede ser debido a factores como la composición del suelo,

agua, estación, cultivar. En un estudio realizado a la torta de semillas, se obtuvieron 30,72% de carbohidratos, 2,15% de almidón y 4,18% de azúcares totales (Goyal et al., 2022).

3.5 Compuestos fenólicos

Es un grupo diverso de moléculas de pequeño peso molecular que se encuentra distribuido ampliamente en el reino vegetal. Está constituido por flavonoides, ácidos fenólicos, lignanos, camarina, quinonas, entre otros. Se ha evidenciado científicamente los beneficios que aportan a la salud de manera general, debido a sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, anti proliferativas y analgésicas (Goyal et al., 2022).

Goyal et al. (2022), determinaron el contenido total de fenoles en semillas de Sacha inchi, los valores obtenidos variaron en un rango de 64,6–80,0 mg de equivalente de ácido gálico (GAE)/100 g de semilla (Chirinos et al., 2013), estos valores son mucho más bajos en comparación a los reportados para linaza (383,0 mg GAE/100 g), chía (97,7-223 mg GAE/100 g), almendra (212,9 mg GAE/100 g), la nuez de Brasil (169,2 mg GAE/100 g), GAE/100 g), macadamia (497,8 mg GAE/100 g), cacahuete (645,9 mg GAE/100 g), nuez (1463,9 mg GAE/100 g), entre otros.

Estos compuestos son muy variables, debido a que pueden formados por grupos de moléculas que pueden ser simples o complejas, hidrofílicas o hidrofóbicas, por lo tanto, se dificulta establecer una estabilidad térmica general, algunos son termolábiles como el ácido cafeico y el ácido gálico, y hay otros que son muy termoestables en temperaturas de hasta 120°C (Goyal et al., 2022).

Como ya se reportó, los procesos térmicos a los que se somete la semilla, como es el caso del tostado, provocan ciertos efectos en sus propiedades sensoriales y composición nutricional. Štěrbová, Hlásná Čepková, Viehmannová, & Huansi (2017), analizaron la variación del contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) en semillas de *P. volubilis* crudas, y sometidas a los siguientes tratamientos térmicos: ebullición abierta (100°C), ebullición a presión (119°C), ebullición al baño María (100°C), tostado a baja temperatura (125°C), alta temperatura (190°C) y tostado de Miel (170°C). El valor de TPC en las semillas crudas fue de 16,7 (mg GAE/100 g), tras someterse a los distintos tratamientos se lograron valores de TPC más altos, principalmente con el tostado con miel (102,7 mg GAE/100 g), seguido del tostado a alta temperatura (55,7 mg GAE/100 g), la ebullición a presión (40,9 mg GAE/100 g), el tostado a baja temperatura (22,7 mg GAE/100 g), ebullición al vacío (17,4 mg GAE/100 g) y ebullición abierta (16,0 mg GAE/100 g). El tostado tiene un efecto positivo para el aumento del TPC en las semillas y es seguramente por la formación

de nuevos compuestos fenólicos con mayor capacidad antioxidante. Además, se observa que, la temperatura tiene gran influencia en los resultados, puesto que las temperaturas más altas (170,190 °C) proporcionaron mejores efectos.

3.6 Tocoferoles

Los tocoferoles son compuestos con gran capacidad antioxidante que impiden o retrasan la oxidación del aceite de semillas oleaginosas y mantienen la integridad de las células en los humanos y animales. De acuerdo con sus estructuras químicas, dichos compuestos se encuentran principalmente en 4 formas: α , β , γ y δ (Goyal et al., 2022).

Son pocos los estudios realizados sobre la composición de tocoferoles en la semilla de Sacha inchi. Wang et al. (2018), reportan que las semillas contienen una mayor cantidad de tocoferoles totales y de δ -tocoferol en comparación con semillas de lino, avellanas, nueces de Brasil, anacardos, nueces, pistachos y maní. La forma γ -tocoferol es mayor que las nueces de Brasil, los anacardos, las avellanas, los cacahuets, las nueces y los pistachos, también presenta un mayor contenido de β -tocoferol que los anacardos, las avellanas, los cacahuets, las nueces y los pistachos.

Chirinos et al. (2013), analizaron semillas sin cáscara, provenientes de 16 cultivares en Perú, en la composición de tocoferoles se detectaron igualmente las formas α , β , γ y δ en todas las muestras. El contenido total de tocoferoles osciló entre 78,6 y 137,0 mg/100 g de semilla y la forma principal presente es la γ -tocoferol (57,4 - 68,2 mg/100 g), seguido de δ -tocoferol (29,2–47,6 mg/100 g) y en cantidades menores α -tocoferoles (1,13–1,25 mg/100 g) y β -tocoferoles (0,75–0,95 mg/100 g). Estas semillas presentaron un mayor contenido de tocoferoles totales y de las formas β , δ y γ comparado con otros frutos secos (avellanas, cacahuets, pecanas y pistachos).

3.7 Anti nutrientes

Los anti nutrientes son un grupo de compuestos que hacen parte del mecanismo de defensa de las plantas, incluye las saponinas, taninos, lectinas, los glucosinolatos, los fitatos, los oxalatos, etc. Tradicionalmente han sido considerados nocivos para la salud dado que reducen la digestibilidad y biodisponibilidad de nutrientes que son esenciales para nuestro mantenimiento y desarrollo. Por ello se ha estudiado la aplicación de tratamientos térmicos para su cocción y así lograr su reducción en los alimentos (López-Moreno, Garcés-Rimón, & Miguel, 2022). Se han reportado valores de 4,80 mg saponinas/100g muestra seca (0,048 mg/g) y 1,37 mg taninos (expresados como ácido gálico) / 100 g de muestra seca (0,0137 mg/g) (Ruiz et al., 2013).

Bueno-Borges et al. (2018), reportaron en el contenido de anti nutrientes en las semillas descascaradas y crudas, Taninos (0,19 mg/g de semilla), Ácido fítico (59,4 mg/g semilla) y saponinas (7,02 mg/g semilla). A su vez, estos autores analizaron la variación de estos compuestos tras tostar las semillas a diferentes temperaturas (80, 120, 160 °C) durante 1 minuto, para el caso de los taninos se logró obtener 0 mg/g semilla, ya que no se detectó tras someterse a las tres temperaturas, por su parte el ácido fítico logró una reducción significativa obteniéndose una cantidad de 5,43 mg/g semilla, caso contrario con las saponinas, ya que se obtuvo una cantidad mayor 10,85 mg/g semilla, probablemente se aumentó su disponibilidad tras la liberación de saponinas de la matriz de la semilla.

Las saponinas son compuestas de sabor amargo. Su ingesta en ciertas cantidades consideradas altas, como se mencionó anteriormente, puede afectar la absorción de macro y micronutrientes, pero se ha indicado que en bajas concentraciones puede producir efectos antiinflamatorios, anticancerígenos. Se han presentado variaciones respecto a su estabilidad frente al calor, ya que algunos estudios han establecido que son termolábiles, mientras que otros han establecido que presenta una alta estabilidad térmica (Goyal et al., 2022).

3.8 Fitoesteroles

Los fitoesteroles son esteroides provenientes de las plantas, tienen similitud al colesterol en su estructura y función. Mediante ensayos clínicos realizados en animales, se ha demostrado efectos positivos ante la hipercolesterolemia y enfermedades cardiovasculares, el mecanismo no es muy claro, pero al parecer esta clase de compuesto compite con el colesterol para poder unirse a las micelas del intestino logrando así reducir su absorción a través de éste. También se ha sugerido que poseen actividad anticancerígena en ciertos órganos, ya que inhibe la producción de carcinógenos como las prostaglandinas, además de inhibir la multiplicación y la metástasis de células cancerosas (Goyal et al., 2022).

Generalmente, los frutos secos, las semillas y los cereales son fuentes importantes de estos compuestos. Los 4-desmetilesteroides (sitosterol, campesterol y estigmasterol) son los esteroides que predominan en las plantas, siendo el β -sitosterol el fitosterol que más sobresale (90%). Para semillas de Sacha inchi se ha reportado el contenido β -sitosterol en un rango de 45,2–53,2 mg/100 g semilla, estigmasterol de 21,2–26,9 mg/100 g semilla y campesterol de 7,1–8,8 mg/100 g semilla. El total de estos tres compuestos, estuvieron en un rango de 75,7–86,2 mg/100 g semilla, y es menor al valor promedio de fitoesteroides hallados en semillas de lino enteras y molidas, almendras,

nueces de Brasil, anacardos, avellanas, nueces de macadamia, pecanas, pistachos y nogal negro (95 y 270 mg/100 g de) (Chirinos et al., 2013).

También se reportan rangos más amplios para el β -sitosterol de 46,6-63,1 mg/100 g, estigmasterol 21,2-32,3 mg/100 g y campesterol 4,5-8,8 mg/100 g (Goyal et al., 2022).

3.9 Capacidad antioxidante

Con el avance tecnológico, ha crecido el interés por el estudio de la diversidad vegetal debido a su capacidad antioxidante. Se debe mencionar que los compuestos antioxidantes en el material vegetal pueden ser hidrosolubles, liposolubles, insolubles o enlazados a las paredes celulares, que pueden actuar interrumpiendo la cadena de radicales al ceder un hidrógeno a un radical lipídico y convirtiéndose en otro radical, con mayor estabilidad que el anterior. De esta manera, los antioxidantes en forma de radical son estables, ya que, no reaccionan con los lípidos sino con otras moléculas semejantes, formando un producto no radical o bien, sufrirá una oxidación posterior, resultando quinonas (Castaño, Valencia, Murillo, , & Eras, 2012).

Varios estudios reportan la fuerte correlación que existe entre el contenido de compuesto fenólicos totales y la capacidad antioxidante (Mejía, 2017). Por lo que se consideran como los mayores contribuyentes a la capacidad antioxidante de los alimentos. Para Paladino (2008), existe una correlación entre el contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad de captura de radicales libres. La capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos es atribuida a su reacción con los radicales libres, éstos donan un átomo de hidrógeno para formar un radical de carácter más estable por resonancia (Mejía, 2017).

Algunos autores han demostrado la capacidad antioxidante que presentan las semillas de Sacha inchi, a través de diversos métodos de cuantificación. La actividad antioxidante DPPH para semillas de Sacha inchi fue de $2,00 \pm 0,03$ $\mu\text{mol TE}$ (equivalentes de Trolox)/g, y ABTS $2,90 \pm 0,02$ $\mu\text{mol TE/g}$ (Arévalo, Zegarra, Cabanillas, del Castillo, & Vargas-Arana, 2019). En semillas de Sacha inchi provenientes de Perú, tanto la capacidad antioxidante hidrófila como la lipófila se determinaron a partir del método ORAC. La capacidad hidrofílica (HAC) fue de 4,3–7,3 $\mu\text{mol TE/g}$ de semilla, La capacidad lipofílica (LAC) 1,0–2,8 $\mu\text{mol TE/g}$ de semilla y la capacidad antioxidante total (TAC) estuvo dentro de los rangos de y 6,5–9,8 $\mu\text{mol TE/g}$ de semilla. Se ha reportado de TAC de 14,1 $\mu\text{mol TE/g}$ para nuez de Brasil (Chirinos et al., 2013).

La capacidad antioxidante del Sacha inchi es afectada por diversos factores en los que se incluyen, los métodos de procesamiento y cuantificación, la composición antioxidante y las

propiedades químicas que constituyen el material. Es importante, que los métodos de procesamiento deban optimizarse para maximizar el potencial antioxidante los productos resultantes de Sacha inchi (Wang et al, 2018). Se ha mencionado que, el tratamiento térmico aplicado en las semillas influye en la actividad oxidante, y que, cuanto más tostadas se encuentren las semillas, su actividad antioxidante será mayor (Arévalo et al., 2019). Lo dicho anteriormente se puede corroborar con el siguiente estudio, en donde, semillas descascaradas de Sacha inchi se sometieron a tostado durante 15 minutos a diferentes temperaturas (cruda, 80 °C, 120 °C y 160 °C), la actividad antioxidante se determinó por diferentes métodos. Para el método ABTS, se presentó una actividad decreciente partiendo desde la muestra cruda (0,49 $\mu\text{mol TE/g}$ semilla) hasta la temperatura de 120 °C (0,37 $\mu\text{mol TE/g}$ semilla), pero a la temperatura de 160°C se evidenció un aumento (T160 0,61 $\mu\text{mol TE/g}$ semilla. Igualmente, aunque las variaciones fueron distintas, se obtuvo una mayor capacidad antioxidante a 160°C por DPPH (0,44 $\mu\text{mol TE/g}$ semilla) y ORAC (0,12 $\mu\text{mol TE/mg}$ semilla) (Bueno-Borges et al., 2018).

Autores como Štěrbová et al. (2017), analizaron semillas crudas, y sometidas a los tratamientos de ebullición abierta (100°C), ebullición a presión, ebullición al baño maría (100°C), tostado a baja temperatura (125°C), alta temperatura (190°C) y tostado de miel (170°C), a partir del método DPPH. Las semillas crudas contenían $241,3 \pm 16,5$ mmol TE/100 g, el tratamiento de “ebullición abierta” redujo este valor ($217,7 \pm 17,3$), al igual que los tres tipos de tostado (125°C: $186,4$ mmol TE/100 g $\pm 15,6$, 190°C: $217,6$ mmol TE/100 g $\pm 7,2$, 170°C: $212,5$ mmol TE/100 g $\pm 31,6$), contrario al de “baño a maría”, que proporcionó un valor mayor ($256,6 \pm 4,8$ mmol TE/100 g). En este estudio, los tratamientos de tostado no otorgaron los mejores resultados de actividad antioxidante, pero, se puede corroborar que la temperatura y el tratamiento empleado tiene gran influencia en el resultado obtenido.

4. Lípidos y aceite de Sacha inchi

El componente principal del Sacha inchi, son los lípidos, abarcan un rango de 35-60%, compuesto por ácidos grasos poliinsaturados, donde sobresale el ácido α -linolénico (C18:3, ω -3) que representa del 47-51% y el ácido linoleico (C18:2, ω -6) con un rango del 34-37 %. También posee ácidos grasos monoinsaturados como el oleico (9,5%), y saturados como el palmítico y esteárico (Cárdenas et al., 2021). El aceite está compuesto mayoritariamente por lípidos neutros (97,2%), ácidos grasos libres (1,2%) y fosfolípidos (0,8%) (Wang et al., 2018).

El contenido de aceite es similar y/o mayor a valores reportados en otras semillas, como las de lino (34–45 %), amapola (50 %), cártamo (30–40 %), canola (38–44 %), maní (44–56%), soja (16,5–17,5 %), chía (26,7–35,0 %). Sin embargo, es menor en comparación con las nueces de macadamia (63,0–71,8%) (Wang et al., 2018).

El contenido de ácidos grasos poliinsaturados en el aceite podría ser alrededor del 93%, como ya se mencionó, este aceite se destaca por su contenido de los ácidos grasos α -linolénico y el ácido linoleico, otras plantas oleaginosas importantes como el de olivo, se compone de 1% de α -linolénico y un 9 % de linoleico (Cárdenas et al., 2021).

4.1 Propiedades fisicoquímicas de aceite de sachá inchi

El aceite de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis L.*) crudo, extraído con hexano (extracción Soxhlet) a partir de semillas cultivadas en Caquetá (Colombia), presentó en sus propiedades fisicoquímicas, color amarillo brillante, densidad de 0,9187 g/cm³ (a 25°C), índice de refracción de 1,4791 (a 25°C), índice de saponificación de 185,2 mg KOH/g, índice de yodo de 193,3 g I₂/100 g y una viscosidad de 35,4 mPas (Gutiérrez et al., 2011).

Presentó una densidad superior a otros aceites de origen vegetal como el de maíz, algodón y soja. Índice de refracción mayor que el de otros aceites vegetales como el de maíz, soja y girasol y junto con una viscosidad considerada relativamente alta. El aceite Sacha inchi se caracteriza por su alto contenido de ácidos grasos y estas propiedades están relacionadas con el contenido de ácidos grasos insaturados y por ende con el grado de insaturación (Gutiérrez et al., 2011).

Benítez et al. (2018), reportaron valores similares dentro de las propiedades fisicoquímicas del aceite obtenido a partir de semillas provenientes de Putumayo (Colombia), Densidad: 0,9189 (g/mL) a 25 °C, Índice de refracción a 25°C: 1,4791, Viscosidad a 20 °C 35,5 cP, índice de yodo: 198,1 g de I₂/100 g aceite, Índice de saponificación: 190,3 mg KOH/g aceite.

El aceite proveniente de semillas cultivadas en Perú, extraído con éter de petróleo, presentó una densidad de: 0,9234 (g/cm³), índice de saponificación: 185,45 (mg KOH/g), índice de Peróxido 8,09 (meq O₂ /kg), índice de yodo: 193,90 (g I₂/100g) (Arévalo et al., 2019).

En un estudio se evaluó la variación de los parámetros, índice de saponificación y de yodo, en aceite de Sacha inchi extraído con CO₂ supercrítico (300 bar - 40 °C) y con hexano. Los valores obtenidos no variaron, se tuvo el mismo resultado en los dos métodos (índice de yodo: 198 g I₂ /100 g de aceite, índice de saponificación: 193 mg KOH/g de aceite) (Follegatti-Romero et al., 2009).

El índice de acidez, los ácidos grasos libres, el índice de yodo, el índice de peróxido y índice de saponificación, son todos indicadores de oxidación del aceite de Sacha inchi. El índice de yodo mide el grado de insaturación del aceite y para el caso del Sacha inchi, este valor es mayor comparado al de la soja (131,5 g I₂/100 g), maíz (115,5 g I₂/100 g), girasol (126,5 g I₂/100 g), semilla de algodón (109 g I₂/100 g) y linaza (177 g I₂/100 g), y semejante al de canola (191,5 g I₂/100 g) (Wang et al., 2018), también es mucho mayor a valores reportados para aceite de oliva, índice de yodo: 83.2 (g I₂/100g) (Sánchez-Gimeno, Benito, Vercet, & Oria, 2008), 56,15 (g I₂/100g) (Romero, Valdiviezo, & Bermeo, 2019), lo que indica una mayor cantidad o presencia de ácidos grasos insaturados. Los valores de índice de yodo reportados para Sacha inchi, son similares a los que se informan para los aceites provenientes de fuentes marinas (índice de yodo superior a 120) (Benítez et al., 2018).

Muangrat, Veeraphong, & Chantee et al. (2018), analizaron estas propiedades en aceite proveniente de semillas de *Plukenetia volubilis* L. cultivadas en Tailandia, el aceite se extrajo por prensado, con una prensa de un solo tornillo, a tres temperaturas diferentes del cabezal de la prensa (60, 75, 90 °C). Dentro de los resultados se obtuvo, un índice de peróxido (O₂/kg aceite): 2,15, 2,02, 2,00. Índice de yodo (g I₂/100g aceite): 104,05, 103,48, 103,76. Índice de saponificación (mg KOH/g aceite): 188,32, 189,26, 195,11. Índice de acidez (mg KOH/g oil): 4,39, 5,29, 5,90. Los resultados anteriores corresponden a las temperaturas de 60, 75 y 90°C, respectivamente. Se observa que los valores obtenidos en todos los casos fueron similares y que la temperatura del cabezal produce una afectación no significativa o ligera.

Un valor bajo para el índice de acidez indica una baja cantidad de ácidos grasos libres, entre más bajo sea este valor, menor es el grado de hidrólisis (Nguyen et al., 2020). En el caso del índice de peróxido, mide la oxidación de lípidos, por lo tanto, entre más alto sea el índice de peróxido, más alto es el grado de oxidación (Nguyen et al., 2020).

En la Figura 3 se presenta la apariencia y coloración del aceite de Sacha inchi extraído de semillas crudas y de semillas sometidas a proceso de tostado bajo diferentes condiciones de temperatura y tiempo.

Figura 3

Aceite de semillas de Sacha inchi crudas y tostadas



Fuente: (Cisneros, Paredes, Arana, & Cisneros-Zevallos, 2014)

4.2 Perfil de ácidos grasos

En la composición de los ácidos grasos del aceite de Sacha inchi, se tienen ácidos grasos saturados como el butírico [C4:0], ácido palmítico [C16:0], ácido esteárico [C18:0], monoinsaturados ácidos oleicos [C18:1n9c] y poliinsaturados (ácido linóleo [C18:2n6c], ácido γ -linolénico [C18:3n6], ácido α -linolénico [C18:3n3]) (Muangrat et al., 2018). Se han detectado otros ácidos grasos en menor proporción como el gadoléico (C20:1, ω -11) (Wang et al., 2018) y ácido vaccénico (Kim & Joo, 2019).

El perfil de los principales ácidos grasos del aceite de Sacha inchi, se presenta en la Tabla 3, donde se exponen resultados de estudios realizados en aceites cultivados en Colombia y Perú con diferentes métodos de extracción. Este aceite se caracteriza por su alto contenido de ácidos graso-poliinsaturados (82,3 -84,1%), de manera general, sobresale el ácido graso α -Linolénico (47,7 – 50,8 %), seguido del linoleico (33,4 – 35,78%). Los ácidos grasos monoinsaturados están en un rango de 8,9 -9,39% y saturados en una menor proporción de 6,86 -8,00 %.

Las diferencias que se presentan en la composición de los ácidos grasos se pueden atribuir a diversos factores como características del cultivo, las condiciones geográficas y climáticas, el momento en el que se realiza la cosecha, al método de cuantificación utilizado para el análisis (Gutiérrez et al., 2011), condiciones de tratamientos previos a la extracción del aceite (tostado, secado), método de y condiciones extracción, entre otros (Goyal et al., 2022).

Al comparar la composición porcentual de los ácidos grasos del aceite de Sacha inchi con el proveniente de otras semillas oleaginosas que son reconocidas como la soja, canola, el girasol, este aceite presenta un mayor contenido de ácidos grasos poliinsaturados, solo se asemeja al aceite de linaza cuya composición de α -linolénico es ligeramente mayor 58 vs 47,7 % sin embargo el contenido de ácido graso linoleico es mucho menor. 14 vs 35,5% (Benítez et al., 2018). También,

el aceite de chía presenta un contenido ligeramente mayor de α -Linolénico (hasta un 59,84 %) (Goyal et al., 2022). En cuanto a los ácidos grasos saturados totales, también presenta un bajo en comparación con los aceites de canola, girasol, linaza, maíz, algodón y oliva (Wang et al., 2018).

Consumir este aceite puede ser beneficioso para la salud de los humanos, debido a su alto aporte del ácido graso α -linolénico y la baja proporción de ω -6/ ω -3, según diversas fuentes, se ha sugerido que la dieta humana debe evolucionar hacia una proporción de aproximadamente 1 (Chirinos et al., 2013). Se asocia un mayor riesgo de presentar enfermedades cardiovasculares, obesidad, cáncer y enfermedades inflamatorias, entre más alta sea la proporción de ω -6/ ω -3 en la dieta (Ramos-Escudero, Muñoz, et al., 2019). Para el aceite de Sacha inchi, se ha reportado que se encuentra en un rango de 0,67 y 0,90 (Ramos-Escudero, Muñoz, et al., 2019). Es considerada como óptima para la salud de los humanos, algunos aceites de consumo común presentan proporciones más altas como el de canola (2,22), oliva (7,69), soya (6,66). Otros tienen proporciones más bajas como el caso del aceite de linaza (0,27) y de chía (0,26–0,34) (Wang et al., 2018).

La literatura reporta que los tratamientos térmicos pueden causar diversas variaciones en la composición (macro y micronutrientes) de los alimentos. Kim & Joo (2019), analizaron dos métodos de cocción; asado (160 °C - 6 min.) y hervido (100 °C -13 mi - 1 L de agua) en semillas de Sacha inchi para evaluar la variación del perfil de ácidos grasos en comparación con las semillas crudas. Las muestras que fueron hervidas mostraron un contenido más bajo de los ácidos grasos oleico, linoleico, y α -Linolénico. En el caso de las semillas tostadas, resultó ser el mejor tratamiento a las condiciones establecidas, dado que se generó un aumento de los ácidos grasos insaturados en comparación con las semillas crudas y hervidas, lo que indica que es un tratamiento adecuado para la conservación de estos ácidos grasos

Por otra parte, Muangrat et al. (2018), analizaron la variación de los ácidos grasos en el aceite extraído por prensado, en, semillas sin secar prensadas con una temperatura de cabezal de 60 °C y 90 °C y en semillas sometidas a proceso de secado (Temperatura 60 °C y 90 °C) a una temperatura de cabezal de 90 °C y 75 °C. Los resultados en cuanto al contenido de ácidos grasos poliinsaturados, monoinsaturados y saturados para las semillas sin secar - Temperatura de cabezal de 60°C son: 78,95 %, 8,63% y 12,32 % respectivamente. Para las semillas sin secar-Temperatura de cabezal de 90°C son: 76,08 %, 9,28 % y 14,55 % respectivamente. Para las semillas secas a temperatura de secado de 60°C - Temperatura de cabezal de 90°C son: 69,86 %, 8,75 % y 21,40 % respectivamente. Para las semillas secas a temperatura de secado de 60°C - Temperatura de

cabezal de 90°C son: 69,86 %, 8,75 % y 21,40 % respectivamente. Para las semillas secas a temperatura de secado de 90°C - Temperatura de cabezal de 75°C son: 74,22 %, 9,17 % y 16,61% respectivamente. Se observó que los diseños experimentales propuestos por los autores proporcionaron composiciones de ácidos grasos con algunas diferencias, las semillas crudas fueron las que proporcionaron la mayor cantidad de ácidos grasos poliinsaturados y monoinsaturados.

En la Tabla 3, se presenta el perfil de ácidos grasos del aceite de Sacha inchi, obtenido por diferentes métodos de extracción, donde se pueden observar algunas variaciones en las proporciones.

Tabla 3

Perfil de ácidos grasos en aceites de Sacha inchi de diferente procedencia y diferentes métodos de extracción

Estudio	Gutiérrez et al. (2011)	Benítez et al. (2018)	Arévalo et al. (2019)	Cisneros et al. (2014)	Follegatti-Romero et al. (2009)
Procedencia	Caquetá, Colombia	Putumayo, Colombia	Perú	Perú	Perú
Método de extracción	Soxhlet con hexano	-	Soxhlet con éter de petróleo	Prensado (T: 100-110 °C)	SC-CO ₂ a 300-bar y 40 °C
Ácido graso (%)					
C: 18:3 (α-Linolénico)	50,8±0,03	47,7	48,32 ± 0,09	48,2 ± 0,4	50,45
C18:2 (Linoleico)	33,4±0,04	35,3	35,78 ± 0,04	34,1 ± 0,1	34,12
C18:1 n-9 (Oleico)	9,1±0,01	0,66	8,47 ± 0,03	8,9 ± 0,1	8,43
C16:0 (Palmítico)	4,4±0,02	4,20	3,98 ± 0,05	4,7 ± 0,2	4,18
C18:0 (Esteárico)	2,4±0,0	2,89	2,88 ± 0,04	3,3 ± 0,1	2,52
Ácidos grasos poliinsaturados (%)	84	83,3	84,1	82,3	--
Ácidos grasos monoinsaturados (%)	9,0	9,39	9,05	8,9	--

Según lo anterior, se presenta la Tabla 4 perteneciente a una comparación de los ácidos grasos presentes en distintos tipos de aceites respecto al aceite de Sacha inchi.

Tabla 4*Tabla comparativa de ácidos grasos en distintos tipos de aceite*

	Tipo de aceite				
	Sacha inchi Wang et al. (2018)	Oliva Douzane et al. (2021)	Linaza Zeng et al. (2022)	Extra virgen Coco de Vasconcelos et al. (2022)	Girasol Chowdhury et al. (2007)
Ácidos grasos (%)					
(C8:0) Octanoico	-	-	-	7,71±0,47	-
(C10:0) Decanoico	-	-	-	5,59±0,31	-
(C12:0) Láurico	-	-	-	5,74 ± 0,12	-
(C14:0) Mirístico	-	-	-	1,93 ± 0,05	6,52 ± 1,75
(C16:0) Palmitico	3,65–4,8	10,62 ± 0,13	4,70 ± 0,05	1,06 ± 0,05	-
(C16:1) Palmitoteico	-	0,91 ± 0,11		0,09 ± 0,01	-
(C17:0) Heptadecanoico	-	0,08 ± 0,01	0,05 ± 0,01	-	-
(C18:0) Esteárico	2,54–3,4	1,70 ± 0,08	6,84 ± 0,25	0,32 ± 0,06	1,98 ± 1,44
(C18:1, ω-9) Oleico	8,28	79,10 ± 0,79	21,83±0,36	1,83 ± 0,1	45,39 ± 18,77
(C18:2, ω-6) Linoleico	36,80–37,7	6,08 ± 0,10	13,83 ± 0,08	0,31 ± 0,01	46,02 ± 16,75
(C18:3, ω-3) Linolénico	42,4–48,61	0,77 ± 0,08	52,74 ± 0,18	-	0,12 ± 0,09
(C20:0) Eicosanóico	-	0,20 ± 0,01	-	-	-
(C20:5n3) Eicosaipentaenoico	-	-	-	-	-
(C22:0) Behénico	-	0,20 ± 0,02	-	-	-
(C22:6n3) Docosahexaenoico	-	-	-	-	-
Ácido graso Saturado (SFA)	6,19–7,4	12,80 ± 0,7	-	97,59 ± 1,98	8,51 ± 1,91
Ácido graso monoinsaturado (MUFA)	8,28–10,1	80,31 ± 1,0	-	2,1 ± 0,14	45,5 ± 16,89

Ácido graso poliinsaturado (PUFA)	80,9– 85,41	6,85 ± 0,6	88,45 ± 0,60	0,31 ± 0,01	46,10 ± 14,92
---	----------------	------------	--------------	-------------	---------------

4.3 Otros compuestos identificados

La resistencia de los aceites ante la oxidación depende en gran parte de su concentración de compuestos antioxidantes como los polifenoles, carotenoides, tocoferoles, entre otros (Ramos-Escudero, González-Miret, Viñas-Ospino, & Ramos Escudero, 2019). La vitamina E es considerada como el antioxidante de fase lipídica de mayor efectividad, estructuralmente, abarca un grupo de 8 compuestos (vitámeros) químicamente relacionados, clasificados como tocoferoles (α -, β -, γ - y δ -) y tocotrienoles (α -, β -, γ - y δ) (Chiou, Kalogeropoulos, Boskou, & Salta, 2012).

Los tocoferoles son algunos de los antioxidantes naturales más importantes sintetizados en la mayoría de las plantas vasculares o superiores, también son importantes inhibidores de la lipoxidación; juegan un papel importante en la estabilidad oxidativa de los aceites vegetales (Ramos-Escudero, Muñoz, et al., 2019). Los tocoferoles y tocotrienoles son antioxidantes naturales que se encuentran presentes en muchos de los aceites de origen vegetal, siendo estos una de las mejores fuentes de vitamina E. Estos antioxidantes retardan la formación de compuesto polares y la termo oxidación generada en la fritura (Rodríguez et al., 2021). La presencia de tocoferoles en el aceite de Sacha inchi, es importante ya que el poseer un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados lo hace más susceptible a la oxidación (Benítez et al., 2018). La actividad antioxidante de los tocoferoles disminuye siguiendo el orden: $\gamma > \delta > \beta > \alpha$ tocoferol (Fanali et al., 2011).

Cisneros et al. (2014), evaluaron el contenido de tocoferoles, en el aceite extraído de semillas crudas y tostadas, se detectó γ -tocopherol (70,6 mg/100g) y δ -tocopherol (12,6 mg/100g de aceite), las variaciones de estos dos compuestos fueron ligera y mínima, se obtuvo una leve disminución a medida que aumentaba la intensidad del tostado.

De manera general los aceites tienen un contenido fenólico total en un rango que oscila de 10 a 400 mg/100 g de aceite (Cornelio-Santiago et al., 2022). Muangrat et al. (2018), analizaron el contenido de compuestos fenólicos totales en aceite de Sacha inchi extraído mediante prensado (temperatura de cabezal: 60, 75, 90°C), a partir de semillas crudas y tostadas a diferentes temperaturas. Los valores obtenidos oscilaron entre 30,46 y 120,32 mg GAE/100 g aceite. Dentro de los resultados, el aceite proveniente de las semillas crudas presentó mayores valores, además

de que a mayor temperatura de secado y de cabezal de la prensa, el contenido de fenoles totales disminuyó en algunos casos drásticamente, dado a la degradación de estos compuestos ocasionada por altas temperatura.

Cisneros et al. (2014), determinaron la variación del contenido de fenoles totales en aceite extraído por prensado (temperatura de prensado de 100-110 °C) de semillas tostadas (tostado ligero: 75-81 °C por 9 min, medio: 83-86 °C por 10 min, fuerte: 99-102 °C por 10 min). El aceite proveniente de las semillas sin tostar tuvo el menor resultado (2,32 mg de ácido clorogénico/100g de aceite), el contenido de fenoles totales aumentó a medida que la intensidad del tostado era mayor, el aceite de las semillas sometidas al tostado fuerte obtuvo el mayor valor (13,85 mg a.c /100g de aceite). Según los autores, el aumento de la intensidad del tostado en las semillas favorece la formación de compuestos fenólicos, con una capacidad antioxidante mayor.

Fanali informaron et al. (2011), una concentración fenólica de 6,20 mg GAE /100 g de aceite, además, lograron detectar 21 compuestos fenólicos, entre ellos, de alcohol fenílico, flavonoides, seicoridoides y lignanos.

Respecto al contenido de esteroides en el aceite, el β -sitosterol fue el más representativo, seguido del estigmasterol y el campesterol, representando en conjunto el 92% del total de fitoesteroides hallados (Chirinos et al., 2013).

Chirinos, Pedreschi, Domínguez, & Campos (2015), reportaron para el aceite de Sacha inchi un contenido de Campesterol de $15,3 \pm 0,8$ mg/100 g aceite, estigmasterol $58,7 \pm 1,4$ mg/100g aceite y β -sitosterol $127,4 \pm 9,3$ mg/100 g aceite. Este aceite se puede considerar como una fuente importante de fitoesteroides. En cuanto al contenido de β -sitosterol, se ha reportado cantidades más bajas en aceites de oliva (141 mg/100 g), palma (24 mg/100g), soya (56–59 mg/100g) y girasol (47 mg/100 g), aunque cantidades más altas en aceites de maíz y linaza. Para el aceite de soya se han reportado contenidos de estigmasterol y sitosterol de 61 y 118 mg/100 g, respectivamente (Lagarda, García-Llatas, & Farré, 2006).

En la tabla 5 se presenta a manera de resumen, los otros compuestos identificados en el aceite de Sacha inchi, basada en la información anterior.

Tabla 5

Otros compuestos identificados en el aceite de Sacha inchi

Compuesto	Valor	Referencia
Tocoferoles		
Tocoferoles totales (mg/100 g aceite)	161,87 a 282,20	

α -tocoferol (mg/100 g aceite)	0,00–0,40	Goyal et al. (2022)
β -tocoferol (mg/100 g aceite)	0,00 – 0,02	
γ -tocoferol (mg/100 g aceite)	70,60 – 194,30	
δ -tocoferol (mg/100 g aceite)	12,60 – 87,70	
γ -tocoferol (g/kg aceite)	1,14	Follegatti-Romero et al.
δ -tocoferol (g/kg aceite)	1,25	(2009)
Esteroles (mg/100 g aceite)		
Campesterol	15,3 $\pm$ 0,8	Chirinos et al. (2015)
Estigmasterol	58,7 $\pm$ 1,4	
β -sitosterol	127,4 $\pm$ 9,3	
Carotenoides (mg/100 g aceite)	0,08	Chirinos et al. (2013)
Fenoles		
Fenoles totales (mg GAE/100 g.)	2,32–6,58	Goyal et al. (2022)
Fenoles totales (mg GAE/100 g.)	6,20	Fanali et al. (2011)
alcoholes felínicos (%)	14,39	Ramos-Escudero et al. (2021)
Isocumarina (%)	10,56	
Lignano (%)	19,69	
Flavonoides (%)	14,40	
Secoiridoides (%)	40,96	

4.3.1 Capacidad antioxidante

El aceite de Sacha inchi contiene compuestos fenólicos y además tiene capacidad antioxidante (Muangrat et al., 2018). La actividad antioxidante del aceite de Sacha inchi prensado en frío por el método DPPH, dio como resultado para el extracto hidrofílico 1,94 $\mu\text{mol TE/kg}$ y un mayor valor para el extracto lipofílico 15,97 $\mu\text{mol TE/kg}$. Para el caso del método ABTS se obtuvo para el lipofílico 0,660 $\mu\text{mol TE/kg}$ y 9,88 $\mu\text{mol TE/kg}$ para el hidrofílico (Muñoz Jáuregui et al., 2010). Mientras que, Muñoz Jáuregui et al. (2013), en el estudio de extracción del aceite de las almendras por prensado en frío, determinaron la actividad antioxidante extracto hidrofílico de aceite, por el método ORAC dando como resultado un valor de $170,40 \pm 0,02 \mu\text{mol TE/kg}$.

Para Muñoz Jáuregui et al. (2010), en la matriz de la semilla de Sacha inchi se encuentran los componentes antioxidantes como los compuestos fenólicos, tocoferoles y vitaminas antioxidantes que influyen en los resultados de la actividad antioxidante. Esta actividad, según el método de DPPH muestra una mayor actividad en el extracto lipofílico del aceite, pero en el método ABTS, evidencia mayor actividad antioxidante en el extracto hidrofílico del aceite.

En el ensayo por DPPH, se evidenció el aumento en la capacidad oxidante del aceite de Sacha inchi. Así mismo, la intensidad del tostado aumentó los valores de DPPH, obteniendo valores de 18,2, 23,8, 47,6 y 95,0 $\mu\text{g TE/g}$ de aceite, para los aceites de las muestras sin tostar y

de los distintos tipos de tueste (ligero, medio y fuerte), respectivamente. Los resultados indican que el tostado en estas semillas aumenta considerablemente la capacidad antioxidante de los aceites, y la intensidad del tostado la incrementa aún más. Esto puede deberse también, a la formación de compuesto fenólicos con capacidad antioxidante más potente. Aunque, sabiendo que los productos de la reacción de Maillard se forman durante el tostado de las semillas, también poseen capacidad antioxidante (Cisneros et al., 2014).

4.4 Métodos de extracción

Generalmente, la extracción del aceite de Sacha inchi se lleva a cabo mediante el método de prensado en frío. Otros métodos utilizados incluyen la extracción por solventes, la extracción con fluidos supercríticos y subcríticos. La extracción mediante prensado en frío y con fluidos supercríticos es una buena opción debido a que no implica utilizar medios de calentamientos, productos químicos nocivos y solventes tóxicos (Goyal et al., 2022).

De manera general, la extracción por prensado es un método ecológico que produce un aceite de alta calidad. En el caso de la extracción con disolventes, el hexano es el más utilizado y es tóxico, además se utilizan temperaturas altas, se produce afectación de compuestos como los ácidos grasos poliinsaturados y en algunos casos se generan sabores extraños. En cuanto al método con fluidos supercríticos, el dióxido de carbono (CO_2) no se considera tóxico ni inflamable y puede ser separado fácilmente del producto (Krist, 2020).

Se considera un método de extracción “ideal” aquel que permita la recuperación total y la alta pureza de los lípidos que se aíslan (Sahena et al., 2009). El método de extracción empleado también influye en el rendimiento del proceso. Para el caso del aceite de semillas de Sacha inchi se reportaron rendimientos más altos a través del método de extracción Soxhlet (54,3 %), seguido del método con fluido supercrítico (41,9–50,1 %) y de último la extracción por prensado en frío (38,4%) (Goyal et al., 2022).

4.4.1 Prensado en frío

Este método permite extraer el aceite contenido en las semillas de una planta, mediante el uso de prensas de tornillo o prensas hidráulicas, no requiere del uso de solventes orgánicos ni de calor para realizar el proceso de extracción (Teh & Birch, 2013). La extracción se realiza a baja temperatura (por debajo de 50 °C) y baja presión (Yusuf, 2018).

A nivel industrial el prensado de semillas oleaginosas es realizado a partir del uso de prensas de tornillo. La prensa hidráulica aún se utiliza para la extracción de la manteca de cacao,

aceite de oliva o en la producción de aceites especiales (Savoire, Lanoisellé, & Vorobiev, 2013). El principio de funcionamiento de la prensa de tornillo es el siguiente; las semillas oleaginosas son introducidas de manera continua en la prensa, donde se comprimen, el aceite se encuentra en forma de glóbulos de aceite en las células de las semillas, disperso junto con otros constituyentes como las proteínas y el núcleo, todos estos rodeados por una membrana denominada pared celular. A través de la presión ejercida, se comprime y se rompe la pared celular se liberan los glóbulos de aceite y se fuerza su paso a través de rendijas previstas a lo largo del barril (Singh & Bargale, 2000).

Las condiciones operativas o parámetros, tales como la presión aplicada, temperatura de prensado y el tiempo, son de gran importancia en este proceso, al igual que los pretratamientos a los que se someten las semillas antes de la extracción de aceite que incluyen la remoción de la cáscara o caparazones, la reducción de tamaño y los tratamientos térmicos como el tostado (Subroto, Manurung, Heeres, & Broekhuis, 2015). En cuanto a los pretratamientos, el contenido de humedad de las semillas es uno de los parámetros más relevantes en el momento del prensado, su influencia en la extracción de diversos aceites ha sido motivo de estudio (Muangrat et al., 2018).

Generalmente se prefiere este método (prensa de tornillo) ya que proporciona una mayor retención de compuestos beneficiosos para la salud humana como los antioxidantes (Muangrat et al., 2018), compuestos bioactivos, como ácidos grasos esenciales, fenoles, flavonoides y tocoferoles (Teh & Birch, 2013). Permitiendo obtener un aceite de mayor valor nutritivo para el consumidor. Además, tanto el aceite como la torta obtenida están exentos de productos químicos, por lo tanto, en el caso del aceite no es necesario realizar procesos de refinado (Masmoudi et al., 2021). Otras ventajas de este método incluyen mayor simpleza del equipo, fácil funcionamiento, baja inversión y costo de funcionamiento, al igual que la ausencia de disolventes en el aceite (Muangrat et al., 2018).

Se debe diferenciar la extracción por prensado en frío y prensado caliente (elevada presión y temperatura), este último proporciona mayores rendimientos, debido principalmente a que las altas temperaturas provocan una disminución de la viscosidad del aceite de las semillas, permitiendo un mejor flujo (de aceite) durante la extracción. Por lo tanto, hay una mayor eficiencia (rendimientos hasta del 80%) debido a las altas temperaturas utilizadas, pero, también puede producir un aceite de menor calidad en comparación con extraído por prensado en frío (Yusuf, 2018).

Sánchez-Reinoso et al. (2020), estudiaron el efecto del descascarado de semillas de Sacha inchi prensadas en frío (T: por debajo de 30 °C) sobre las propiedades fisicoquímicas del aceite obtenido almacenado durante 60 días. En el perfil de ácidos grasos del aceite no presentó diferencias significativas entre las semillas con cáscara y sin cáscara. Los autores atribuyen esto, al bajo contenido de lípidos en la cáscara ($\leq 1\%$), el contenido promedio de α -linoleico (ALA), linoleico (LNA), oleico, esteárico y palmítico fue de 3,6 %, 33 %, 7,5 %, 2,3 % y 3,7 %, respectivamente. En cuanto a las propiedades fisicoquímicas, no se presentaron diferencias significativas en la densidad, índice de refracción e índice de acidez. En cuanto al índice de peróxido, no hubo diferencias significativas entre ambas muestras en el día 1, pero sí en el día 60, pasando de 1,75 y 1,92 mEq O₂/kg aceite (muestras con cáscara y sin cáscara respectivamente) a 3,22 y 3,02, sin embargo, los valores estuvieron dentro de los límites aceptados por la regulación peruana (máximo 10 mEq O₂/kg aceite).

4.4.2 Extracción con solventes

Este método implica el uso de disolventes orgánicos para disolver el aceite contenido en las células de las semillas, el aceite es extraído a partir de la humectación, la infiltración y la difusión molecular. Este es un proceso de transferencia de masa que ocurre de la fase sólida a la fase líquida (Xiao, Liu, Wu, Liu, & Li, 2020).

Las operaciones asociadas a este método de extracción incluyen básicamente la extracción, la destilación con disolventes y la recuperación en fase líquida. La planta de extracción generalmente está constituida por tres partes o secciones, el extractor que es el equipo principal y es donde la semilla se pone en contacto con el disolvente, las otras constan de la eliminación del disolvente el residuo sólido y la eliminación del disolvente de la miscela (solución aceite-disolvente) (Xiao et al., 2020).

El aceite al estar localizado entre las células de las semillas requiere un pretratamiento para la reducción de tamaño para aumentar la superficie y área de contacto (Çakaloğlu, Özyurt, & Ötleş, 2018).

Dentro de los disolventes orgánicos se usa el etanol, acetona, pentano, n-hexano, cloroformo y el acetato de etilo. Siendo el hexano el comúnmente utilizado en todo el mundo, debido a sus atributos que lo caracterizan, como que permite una fácil recuperación del producto, bajo calor latente de vaporización (330 kJ/kg), su punto de ebullición con un pequeño rango (63-69°C), su naturaleza no polar y la alta eficiencia que proporciona (Rani, Sharma, & Bala, 2021).

La selección del tipo de disolvente es un aspecto importante debido a que puede afectar las propiedades del aceite (índice de refracción, densidad, la saponificación y los valores de ácidos grasos libres) que determinan su calidad (Ghouila, Sehaïlia, & Chemat, 2019).

En comparación con el prensado mecánico permite tasas de recuperación de aceite del 90-98%. Dentro de las desventajas de este método, incluye una alta inversión, consumo de energía, consumo de solventes, los costos operacionales, tiempos de extracción mucho más largos, procedimiento más arduo y deterioro de la calidad del aceite debido a las altas temperaturas usadas (Rani et al., 2021).

Las características de calidad del aceite crudo obtenido por este método varían dependiendo de algunos factores como el pretratamiento al que se somete la semilla, el tipo y naturaleza del disolvente utilizado (polar y no polar), la relación sólida/solvente, tiempo de reacción (Rani et al., 2021) y temperatura (a mayor temperatura, mayor tasa de difusión) (Çakaloğlu et al., 2018).

La eliminación disolvente del aceite no es un proceso fácil, además, se debe someter el aceite a un refinado posterior. Los aceites crudos se someten a refinación ya que pueden contener ciertas sustancias no deseadas que afectan sus propiedades organolépticas como el color, sabor y olor. Los aceites refinados tienen mayor vida útil, mayor estabilidad y resistencia al calor. La desventaja es que al refinar parte de los ácidos grasos insaturados se transforman en saturados, además, provoca la eliminación de sustancias aromáticas y otros compuestos valiosos como las vitaminas (vitamina A, vitamina E), carotenoides y minerales (Krist, 2020).

4.4.3 Extracción con fluidos supercríticos

Este es un método de extracción que implica el uso de un fluido supercrítico que actúa como disolvente. Fluido supercrítico hace referencia a una sustancia a presión y temperatura por encima de su punto crítico (Gayas & Kaur, 2017). El disolvente utilizado en este caso no es un líquido sino un gas supercrítico/ comprimido, incluye el dióxido de carbono, propano, el etano, el óxido de dinitrógeno y el etileno (Rani et al., 2021). El dióxido de carbono (CO₂) es el disolvente de mayor uso en este método de extracción, debido a su baja temperatura (31°C), y presión crítica (73,8 bar), no es tóxico, no es inflamable, inodoro y es económico (Gayas & Kaur, 2017). Permite la extracción de compuestos que son sensibles al calor y susceptibles a la oxidación como los ácidos grasos poliinsaturados, evitando el uso de disolventes tóxicos, además se separa fácilmente del aceite extraído y de la matriz sólida resultante (Follegatti-Romero et al., 2009).

El principio de este método se da mediante el uso de un fluido, el cual se lleva a una combinación definida de presión y temperatura para alcanzar las propiedades de disolvente supercrítico, y así, poder realizar la extracción selectiva de la grasa contenida en la matriz de la muestra. Al exponerse la muestra al fluido supercrítico bajo condiciones controladas de los parámetros tiempo, temperatura y presión, se logra disolver la grasa de la muestra en el fluido, esta grasa disuelta posteriormente se separa del disolvente a través de la caída significativa de presión de la solución (Sahena et al., 2009).

Dada las características propias de las sustancias que se pueden extraer con fluidos supercríticos, en cada caso puede ser necesario modificar las condiciones para realizar dicho proceso, principalmente las condiciones de tiempo, temperatura y presión, con el fin de obtener la mayor eficacia posible (Sahena et al., 2009). Para la extracción de aceites de semillas, la temperatura que se utiliza frecuentemente abarca un rango de 40 °C y 80 °C. En el caso de la presión, se ha informado valores que oscilan de 10 MPa–35 MPa (Ahangari, King, Ehsani, & Yousefi, 2021).

En relación a la temperatura para el caso del aceite de Sacha inchi, la viscosidad del CO₂ supercrítico, disminuyó al usar temperaturas elevadas, lo cual provoca un aumento en la distribución y accesibilidad de las moléculas de CO₂, que a su vez favorece la interacción entre el solvente y el soluto (Jitpinit, Siraworakun, Sookklay, & Nuithitikul, 2022). La calidad del aceite en cuanto a composición de ácidos grasos, no se afectó por la exposición prolongada a una temperatura de 60 °C y 450 bar, se obtuvo un contenido de 48,31% de omega 3 (Triana-Maldonado, Torijano-Gutiérrez, & Giraldo-Estrada, 2017).

Jitpinit et al. (2022), utilizaron temperaturas de 40, 50 y 60 a dos presiones que correspondieron a 300 y 400 bar, los rendimientos de extracción del aceite fueron mayores al aumentar la presión y mantener la temperatura constante e igualmente fue mayor al aumentar la temperatura y mantener la presión constante, el mayor rendimiento fue de 38,1 % a 400 bar y 60°C. En este estudio, también se realizó extracción Soxhlet para extraer el aceite de Sacha inchi y hacer una comparación de ambos métodos, con CO₂ supercrítico se obtuvo un menor rendimiento, pero el tiempo fue más corto, además, en cuanto a la composición de ácidos grasos, la extracción con CO₂ supercrítico permitió obtener un mayor porcentaje de omega-3, a 400 bar y 60 °C fue del 46,08%, aunque el contenido de omega-6 y omega-9 fue menor.

Follegatti-Romero et al. (2009), evaluaron la calidad del aceite extraído de semillas de Sacha inchi, mediante CO₂ supercrítico (temperatura: 40, 50 y 60 °C, presiones: 300 y 400 bar) comparado con la extracción con *n*-hexano y por prensado en frío. El rendimiento global del aceite extraído por CO₂ supercrítico aumentó al incrementar la presión en todas las temperaturas, el máximo rendimiento fue del 50,1% (a 60°C – 400 bar), dicho valor fue menor al obtenido con *n*-hexano (54,3 %), pero mayor que el extraído por prensado en frío (38.4 %). En comparación con el hexano, tanto el perfil de ácidos grasos como el índice de saponificación y de yodo, no presentaron diferencias significativas. En cuanto al contenido de tocoferoles el aceite extraído por CO₂ supercrítico varió entre 2,23 y 3,07 g/kg de aceite, en el caso de hexano se obtuvo un valor de 2,39 g/kg de aceite y por prensado 2,79 g/kg de aceite.

5. Subproductos agroindustriales del Sacha inchi y sus principales compuestos

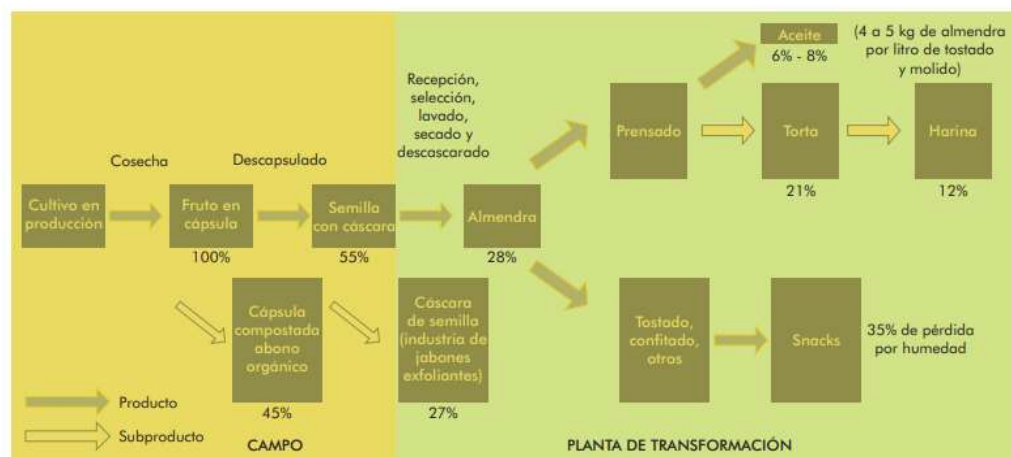
La cáscara de Sacha inchi es un subproducto agroindustrial, ésta junto con las hojas se pueden considerar como una fuente potencial de compuestos fenólicos y antioxidantes, pudiéndose utilizar para la creación de nutraceuticos y nuevos alimentos funcionales (Goyal et al., 2022).

En las últimas décadas, la valorización de los subproductos generados por las agroindustrias es un hecho cada vez más importante, dado a que, por un lado, se contribuye al cuidado del medio ambiente y por otra parte se generan beneficios económicos. Se ha demostrado que estos subproductos son fuente de compuestos nutricionales importantes para la salud humana, como los ácidos grasos, aminoácidos, polifenoles, entre otros. Por lo tanto, su aprovechamiento puede representar una fuente ecológica y económica de estos compuestos (Torres, Hernández, & Gutiérrez, 2021).

Se ha mencionado que el prensado es la técnica de extracción comúnmente utilizada para la extracción de aceite de Sacha inchi, las semillas se limpian, se descascaran y trituran para posteriormente ser prensadas en una prensa hidráulica (Goyal et al., 2022). La cáscara y la torta son los principales subproductos que se obtienen tras la extracción del aceite de Sacha inchi, en Colombia se pueden llegar a generar hasta 6000 ton/año. La cáscara representa aproximadamente un 30-35% del peso de la semilla entera. Generalmente, no se les da algún uso a estos subproductos, simplemente se desechan o se utilizan como para la alimentación animal (Sanchez-Reinoso et al., 2020). En la Figura 4 se observa una representación del proceso de producción de aceite por prensado y los subproductos generados con sus respectivos porcentajes.

Figura 4

Subproductos tras la obtención de aceite de Sacha inchi por prensado



Fuente: (PBD, 2009)

5.1 Cáscara

El análisis proximal realizado a la cáscara de Sacha inchi, indica que está constituida principalmente por fibra, representando el 77,8%, en cuanto a los otros componentes minoritarios, se reportó extracto no nitrogenado 17,27%, proteína 2,75%, grasa 0,39% y cenizas 1,75%. Por su alto contenido de fibra; su digestibilidad y valor energético es bajo, pudiéndose considerar como un subproducto con un escaso valor alimenticio, limitando su uso, casi exclusivamente a la alimentación de rumiantes (Benítez, Coronel, Hurtado, & Martín, 2015).

El total de lípidos en la cáscara es del 1,24% (de Souza et al., 2013). En cuanto al perfil de ácidos grasos, posee 1,79 g/100g de muestra de ácidos grasos saturados totales, 1,19 palmítico g/100g de muestra, 0,58 esteárico g/100g de muestra, 1,40 g/100g, ácidos grasos monoinsaturados totales, 1,40 g/100g de muestra oleico (C18:1, ω 9), 8,17 g/100g de muestra Ácidos grasos poliinsaturados totales, 4,02 g/100g de muestra linoleico 4,08 g/100g de muestra α -linolénico (Wang et al., 2018).

Por otra parte, a través de diversas investigaciones se ha comprobado que diferentes fuentes vegetales tras su procesamiento industrial generan subproductos que podrían ser una buena fuente de antioxidantes de tipo fenólico (Chirinos, Necochea, Pedreschi, & Campos, 2016). Este subproducto ha despertado interés por parte de los investigadores debido a la presencia de compuestos fenólicos (Goyal et al., 2022).

La cantidad de fenoles totales hallados en la cáscara de Sacha inchi fue de 74,56 mg GAE/g. Los principales compuestos fenólicos detectados corresponden a la familia de taninos condensados, en una cantidad de 69,42 mg CYE (equivalentes de cianidina) /g representando el 93% del contenido de compuestos fenólicos. Seguido de los taninos hidrolizables con un valor de 3,28 mg GAE/g que representa el 4,3%. En una cantidad mucho menor, se detectaron ácidos fenólicos (libres y ligados), flavonoides y lignanos que juntos representaron el 2,6% (Chirinos et al., 2016).

Por su parte Chirinos et al. (2016), informaron un rango de 9,5 – 15,3 mg GAE/ g de compuestos fenólicos totales (TPC), extraídos de la cáscara usando diferentes mezclas de solventes.

Kittibunchakul et al. (2022), reportan un TPC de 503,96 mg GAE/100 g bh (5,04 mg GAE/ g bh), la cáscara contiene flavonoides principalmente naringenina 29,21 mg/100 g bh y hesperidina 23,92 mg/100 g bh. También se detectaron ácidos fenólicos, destacándose el Ácido p-cumárico 148,74 mg/100 g bh, también se detectaron otros ácidos en menor cantidad.

Algunas actividades biológicas y farmacológicas han sido atribuidas a los taninos condensados, tales como efectos antioxidantes, cardioprotectores, antitumorales, antibacterianos, antivirales y antiinflamatorios. Por lo tanto, la presencia de taninos le otorga un alto valor agregado a este subproducto (Chirinos et al., 2016).

En la composición de tocoferoles el contenido total fue de $3,06 \pm 0,02$ mg /100g. Compuesto principalmente por $1,84 \pm 0,02$ mg /100g de α –tocoferol, también se detectó $0,57 \pm 0,01$ mg /100g de δ -tocoferol y $0,65$ mg /100g de $\beta+\gamma$ –tocoferol. El contenido total de tocoferoles es menor en la cáscara que en la semilla. Sin embargo, el contenido de α –tocoferol es menor en la semilla ($0,99 \pm 0,06$ mg /100g) (de Souza et al., 2013).

También se han reportado algunos pocos estudios acerca de la capacidad antioxidante identificada para la cáscara de Sacha inchi. Chirinos, Necochea, Pedreschi, & Campos (2016), por medio de los ensayos ABTS, FRAP y ORAC con combinaciones diferentes de solventes de extracción de Shell, determinaron la capacidad antioxidante (AOXC) de extractos obtenidos de cáscara de Sacha inchi. Por consiguiente, hicieron uso de tres métodos distintos para medir (AOXC), considerando el mecanismo de acción individual (sustrato, condiciones de ensayo, etc.) en el que evaluaron diferentes condiciones el rendimiento de los antioxidantes de la cáscara de Sacha inchi. Por otro lado, Wanyo, Meeso, & Siriamornpun (2014), obtuvieron para la cascarilla

de arroz un FRAP dentro del rango de 13,5 y 18,2 $\mu\text{mol TE g}^{-1}$ siendo éste de valores inferiores al FRAP obtenido para la cáscara de Sacha inchi, extraída con las mezclas de solventes que contienen acetona (68,8–114,0 $\mu\text{mol TE g}^{-1}$). Mientras que, los valores de ABTS obtenidos de la cáscara Sacha inchi (70,5–93,9 $\mu\text{mol TE g}^{-1}$) son similares al rango de valores de ABTS reportados para la cáscara de nuez de Brasil (John & Shahidi, 2010). El ORAC que se obtuvo para la cáscara de Sacha inchi extraída con acetona que contiene mezclas (145-192 $\mu\text{mol TE g}^{-1}$) fue más alto que el valor reportado por Garrido et al. (2007), para la cáscara de almendra usando también acetona al 50% como solvente de extracción (50,4 $\mu\text{mol TE g}^{-1}$) y, aunque similar al valor obtenido para la piel morena de nuez de Brasil extraída con acetona al 70% (189,3 $\mu\text{mol TE g}^{-1}$) (John & Shahidi, 2010).

5.2 Torta

La torta prensada es un subproducto generado tras el proceso de desaceitado que, dependiendo de la técnica de extracción empleada puede llegar a ser en una cantidad superior al 50%. El rendimiento de la torta, mediante la extracción prensado en frío, es de alrededor del 68% (Mora, Romero, Landines, Ordoñez, & Valdez, 2020). Por cada kilogramo de almendra cruda, sin cáscara, resulta 0,75 kg de torta prensada (PBD, 2009).

Dado que aún contiene una alta cantidad de proteína, le otorga un gran potencial para ser utilizada en la producción de concentrados de proteína y en la producción de hidrolizados (Rawdkuen, Rodzi, & Pinijsuwan, 2018). La torta prensada contiene diversos compuestos bioactivos en cantidades variables, como ácidos grasos libres, esteroides, tocoferoles, proteínas, entre otros (Rawdkuen et al., 2016).

5.2.1 Composición proximal

A partir del análisis proximal realizado en la harina a partir de torta prensada, se determinó que estaba compuesta principalmente por proteína (459 g/kg), carbohidratos (361 g/kg) y grasa (67 g/kg) y minoritariamente por ceniza (59 g/kg), fibra bruta (58 g/kg) y humedad (53 g/kg) (bh) (Rawdkuen et al., 2018).

En la Tabla 6 se presenta el análisis proximal de tortas de Sacha inchi realizado reportado en algunos estudios.

Tabla 6*Composición proximal de la torta prensada de Sacha inchi en base seca*

Estudio	Chirinos, Aquino, Pedreschi, & Campos (2017)	González, Medina, Garay, & Mendieta (2017)	Ruiz et al. (2013)	Rawdkuen et al. (2016)
Especificaciones Componente (%)	Base seca	Base seca	Base seca	-
Humedad	7,9	9,51	-	2,62
Proteína	58,4	59,59	59,0	56,61
Grasa	8,9	6,18	7,8	4,13
Carbohidrato	22,7	11,25	23,9	30,72
Ceniza	5,7	5,49	4,8	5,91
Fibra/Fibra cruda	4,1	17,5	4,5	-

Las diferencias en la composición de la torta y/o la harina desengrasada pueden ser debido a las características de cada cultivo, condiciones de clima, condiciones de suelo y el método de extracción del aceite (González, Medina, Garay, & Mendieta, 2017).

Se puede observar que, en todos los casos, el componente principal de la torta es la proteína, lo que sugiere que este subproducto podría ser una buena fuente para la extracción de este macronutriente (Rawdkuen et al., 2016).

Según Sathe, Kshirsagar, & Sharma (2012), alrededor del 90% de las proteínas del Sacha inchi pueden solubilizarse por solventes acuosos, presentan un mínimo de solubilidad a un pH de 4. Sus fracciones proteicas incluyen albúminas 43,7%, globulinas 27,3%, prolaminas 3%, y glutelinas 31,9% del total de proteínas hidrosolubles. Por su parte, González et al. (2017), indican que hay una mejor solubilización de las proteínas de la torta bajo condiciones alcalinas. El rendimiento más bajo fue a un pH de 9, luego, el valor aumentaba conforme el valor de pH aumentaba, con un pH de 12 se logró el mayor rendimiento con una recuperación de $72,2 \pm 1,43$ %.

De las fracciones proteicas sobresale la albúmina, representando el 25% del peso de la harina desengrasada (método Soxhlet) de la semilla de Sacha inchi, ésta es una proteína básica que contienen todos los aminoácidos esenciales en las cantidades adecuadas para los adultos humanos según patrones recomendados por la FAO/OMS (Sathe, Hamaker, Sze-Tao, & Venkatachalam, 2002).

En el fraccionamiento de proteínas a partir de harina desgrasada de semillas de Sacha inchi, mediante el método de Osborne, la fracción mayoritaria corresponde a las globulinas (39,79%), seguido por las albuminas (37,10%), gliadinas o prolaminas (13,93%) y en menor concentración las glutelinas (9,18%) (López, Santa Cruz, & Gutiérrez, 2016). Por su parte Čepková et al. (2019), identificaron una mayor proporción de albúminas y globulinas (16,37%), seguidas de glutelinas (5,87%) y un contenido muy bajo de prolamina (0,33%), en la harina desgrasada. Se ha informado un contenido de fibra dietética 11,06 g/100g, almidón 2,15 g/100g, azúcar total 4,18 g/100g (Rawdkuen et al., 2016).

El porcentaje de grasa es el restante que deja el proceso de extracción utilizado, el cual representa un porcentaje bajo. La proporción de ácidos grasos de la torta es similar al su aceite, está compuesto por ácidos grasos saturados: 6,4%, monoinsaturados 10,5 %, poliinsaturados 83,1%. Palmítico: 4,5%. Esteárico 1,9%, oleico 10,5%, linoleico 36,0%, linolénico 47,1% (Ruiz et al., 2013).

La extracción por prensado en frío deja en la harina de torta, un aceite de alta calidad, convirtiéndolo en una fuente de grasa cruda (41,3–120 g/kg de grasa cruda total) y ácidos grasos poliinsaturados (Khieokhajonkhet et al., 2021).

Rawdkuen et al. (2016), reportaron en el perfil de ácidos grasos en la torta: ácidos grasos saturados 0,59 g/100g, ácido palmítico 0,37 g/100g, ácido esteárico 0,22 g/100g, ácidos grasos monoinsaturados 0,57 g/100g, ácido graso poliinsaturado 5,11 g/100g, ácido cis-9-oleico 0,55 g/100g cis-9,12-linoleico 2,45 g/100g, omega-3 (2656,13 mg/100g), omega-6 (2439,64 mg/100 g) y omega-9 (552,61 mg/100 g).

5.2.2 Aminoácidos

La torta contiene todos los aminoácidos esenciales y también contiene aminoácidos no esenciales. En relación a los aminoácidos esenciales, está compuesta principalmente por lisina (17849 mg/100 g), es rica en histidina (9334,5 mg/100 g), y leucina (7223,50 mg/100 g), también contiene cantidades altas de isoleucina (3873 mg/100 g), valina (3361 mg/100 g) triptófano (3279, 5 mg/100 g) y fenilalanina (3183,5 mg/100 g) y en menor cantidad treonina (1733,5 mg/100 g) y metionina (624,21 mg/100 g). Entre los aminoácidos no esenciales sobresale el ácido glutámico y la tirosina (Rawdkuen et al., 2016).

Rawdkuen et al. (2018), analizaron los hidrolizados de proteínas a partir de concentrados obtenidos de la torta de Sacha inchi prensada, mediante el uso de dos enzimas de origen vegetal

(papaína cruda y proteasa de Calotropis). El aminoácido principal con el uso de papaína cruda fue la lisina (110 g/kg), seguido de leucina (76 g/kg), fenilalanina (73 g/kg) y ácido glutámico (69 g/kg). Para el caso de la proteasa de C, igualmente predominó la lisina (109 g/kg), seguido del ácido glutámico (72 g/kg), la fenilalanina (61 g/kg) y la tirosina (57 g/kg). En ambos casos se obtuvo bajas cantidades de arginina, hidroxilisina e hidroxiprolina.

Ruiz et al. (2013), encontraron deficiencia en los aminoácidos lisina, leucina, en la torta, de acuerdo con los requerimientos de aminoácidos en la dieta, recomendados por la FAO para los seres humanos, exceptuando los infantes.

La proteína de Sacha inchi, es considerada de buena calidad, con una alta digestibilidad in vitro (digestibilidad proteica) de 79.64 % para la torta sin tratamiento y de 88.49 % para la torta sometida a calentamiento (70°C - 2 horas) indicando que es altamente asimilable (Carlos, Zambrano, Teresa, & Cruz, 2016). Debido a su composición de aminoácidos y su digestibilidad proteica, se puede considerar este subproducto una buena y nueva opción de alimento nutritivo, suplemento alimenticio, entre otros.

5.2.3 Otros compuestos

Compuestos antinutrientes como taninos, saponinas, alcaloides, flavonoides, triterpenos, antocianidinas, cumarinas, entre otros, se han encontrado en la torta de Sacha inchi en bajas concentraciones (Torres et al., 2021).

Se ha reportado un contenido de saponinas de 0,27 mg de saponinas/g de extracto, de tanino condensado 1,94 mg CCE (equivalentes de cloruro de cianidina) /100 g DW. Inhibidor de tripsina 0,16 unidad/mg de extracto (Rawdkuen et al., 2016). Por su parte, Ruiz et al. (2013), informaron un contenido de Saponinas de 1062,10 mg saponinas/ 100g muestra seca. Taninos: 6,35 mg de taninos expresados como ácido tánico/ 100 g de muestra seca.

La actividad inhibidora de la tripsina es baja al compararse con resultados obtenidos en harinas de soja (Torres et al., 2021). Contenido fenólico total: 0,51 mg GAE/g de muestra (Rawdkuen et al., 2016).

Los compuestos fenólicos detectados en la torta de Sacha inchi incluyen, principalmente 53,24 mg/kg de morina y 42,93 mg/kg de rutina, seguido de 28,46 mg/kg de hesperidina, 3,51 mg/kg de cafeico y 1,68 mg/kg de ferúlico. En una muestra de aceite se observó mayor concentración de β -sitosterol que en la muestra de torta de Sacha inchi (Muñoz Jáuregui et al., 2010).

Respecto a los minerales hay muy poca información, el potasio es el compuesto mayoritario con un valor de 13935 mg/kg seguido del fósforo 13125 mg/kg magnesio 8921,50 y calcio 7616 mg/kg también contiene otros minerales en menores cantidades zinc 84,52 mg/kg, sodio 76,90 mg/kg, hierro 68,02 mg/kg cobre 19,27 mg/kg y manganeso 17,65 mg/kg (Rawdkuen et al., 2016). Según Torres et al. (2021), la torta presenta cantidades similares de calcio y fósforo que la harina de soya, aunque, el hierro es menor para la torta Sacha inchi.

5.3 Hojas

Aunque, las hojas no se consideran como un subproducto, se incluyó esta parte de la planta en este apartado, ya que se podría considerar como una posible fuente de compuestos importantes y aprovechables. Es muy poca la información reportada acerca de los compuestos extraídos e identificados en las hojas de Sacha inchi, los pocos estudios realizados indican principalmente la presencia de compuestos tipo antioxidantes. Según Wuttisin, Nararatwanchai, & Sarikaphuti (2021), en los extractos de las hojas de esta planta se evidenció la presencia de fenoles, flavonoides, taninos, glucósidos cardíacos, esteroides y terpenoides. Las hojas tostadas presentaron el mayor contenido de compuestos fenólicos totales ($21,36 \pm 1,90$ μg GAE/mg), contenido de flavonoides totales ($8,65 \pm 0,16$ μg QE/mg), y el contenido flavonoles totales ($0,249 \pm 0,004$ μg QE/mg), por lo tanto, se podría como buena fuente de antioxidantes.

Nascimento et al. (2013), detectaron la presencia de terpenoides, saponinas, compuestos fenólicos (flavonoides) y otros compuestos antioxidantes. El contenido total de fenoles TPC, varió en un rango de 6,08% a 10,85% Además un bajo contenido de proteínas de 0,49-4,38% pero no se ha informado sobre el tipo de proteína presente. El componente mayoritario correspondió a carbohidratos (84,17 a 93,44 %).

Las hojas frescas de Sacha inchi contenían 146 mg/kg bh de alcaloides totales, 301 mg/kg bh de saponinas y un bajo contenido de lectinas (0,20ng/g bh) que, en su mayoría disminuyeron drásticamente tras un tostado a 75°C durante 1,5 horas, los alcaloides totales y las saponinas se consideraron termolábiles pues se redujo a 20 y 2 mg/kg bh respectivamente (Srichamnong, Ting, Pitchakarn, Nuchuchua, & Temviriyankul, 2018).

La mayor capacidad antioxidante en las hojas; corresponde a la actividad lipofílica con un valor de $15,180 \pm 0,008$ mg EAA (equivalentes de ácido ascórbico) /100 mL extracto, en el caso de la actividad hidrofílica, arrojó un resultado de $1,258 \pm 0,007$ mgEAA/100 mL extracto (Castaño et al., 2012).

Mediante el método de barrido de DPPH, se obtuvo que la actividad antioxidante de las hojas de Sacha inchi en la variedad maní Inca, es significativamente alta tanto en hojas secas como hojas tostadas ($IC_{50} = 134,35 \pm 5,07 \text{ } \mu\text{g/mL}$ y $IC_{50} = 135,97 \pm 6,71 \text{ } \mu\text{g/mL}$, respectivamente). El resultado más potente de actividad antioxidante obtenido en los ensayos de barrido de DPPH y ABTS fue la muestra de las hojas tostadas, la correlación entre la cantidad de compuestos fenólicos (TPC), el contenido total de flavonoides (TFC) y el contenido total de flavonoles (TFoC) fue estudiada por Wuttisin et al. (2021), y encontraron una correlación positiva entre la actividad antioxidante y los compuestos fenólicos en el material vegetal estudiado. Además, los flavonoides tienen correlación de tipo positiva con la actividad antioxidante DPPH, de igual manera, los flavonoles también tienen correlación de tipo positiva con la actividad antioxidante ABTS.

Es necesario realizar más estudios que permitan identificar claramente el tipo y proporción de los compuestos presentes en la hoja, ya que los estudios mencionados evidencian la presencia de compuestos importantes nutricionalmente, como aquellos que poseen capacidad antioxidante, que podrían ser aprovechados de manera diversa por la industria de alimentos.

6. Aprovechamiento del Sacha inchi y sus compuestos bioactivos en alimentos

Esta planta es una fuente novedosa y potencial de compuestos considerados como bioactivos, son muchos los beneficios o aportes de los compuestos que hasta ahora se han identificado en el Sacha inchi, aquí se mencionan algunos de estos, los cuales pueden ser aprovechados de múltiples formas en la industria de alimentos, incluido el ser aislados y agregados, con el fin de producir alimentos enriquecidos y alimentos funcionales. Las semillas de Sacha inchi pueden ser utilizadas para agregarse como ingrediente en la preparación de diversos alimentos, ya sea enteras, trituradas, en forma de harina, lo que permitiría el aporte todos sus compuestos valiosos, como lo son los aminoácidos, ácidos grasos, minerales, compuestos antioxidantes, etc. Además, se podría aprovechar los componentes presentes en el aceite, en los subproductos generados o extraer aquellos que están contenidos en otras partes de la planta como las hojas.

Se define actualmente a los alimentos funcionales como alimentos naturales, modificados o procesados, compuestos con activos biológicos que mejoran sustancialmente la salud y el bienestar humano. Este concepto fue introducido inicialmente en Japón en el año 1984. Pueden ser alimentos naturales, a los que se le añaden o eliminan nutrientes e ingredientes por medio de procesos biotecnológicos. Los alimentos funcionales tienen beneficios fisiológicos en la salud y

mayor capacidad de reducción del riesgo de enfermedades crónicas (Ahmed, Vasas, Hassan, & Molnár, 2022).

La transformación de los alimentos funcionales se puede realizar al eliminar algún componente nocivo bien sea grasa saturada o alérgeno, fortificando sustancias beneficiosas como cereales con minerales o vitaminas, o a través de la adición de algún elemento que no esté presente en su forma habitual como el aceite con antioxidantes, es decir, se produce la sustitución de un compuesto perjudicial por otro deseable o para optimizar la biodisponibilidad y/o estabilidad de estos. Ahora mismo, los alimentos funcionales tienen la atención total del público y se hacen esfuerzos notorios en su marketing (Silveira Rodríguez, Monereo Megías, & Molina Baena, 2003).

Según Ahmed et al. (2022), la demanda de alimentos funcionales a nivel mundial crece un 8% anualmente. Por lo que expertos en la industria, estiman que se necesitará de una producción de alimentos funcionales de un (30-70) % para el 2050. Este tipo de alimentos pueden cumplir con criterios como el fortalecimiento de mecanismo de defensa biológica, recuperación de algunas enfermedades, retraso en el proceso de envejecimiento, prevenir problemas de salud mental.

Los alimentos funcionales están constituidos por compuesto bioactivos que son responsables precisamente de su funcionalidad, provienen de fuentes como plantas y animales. Estos compuestos interaccionan con uno o más componentes biológicos, logrando grandes efectos. Aunque, los efectos positivos de estos sobre la salud dependen del proceso digestivo, porque influyen sobre la estabilidad y biodisponibilidad de estos. Se debe considerar que las propiedades de los alimentos funcionales y los compuestos bioactivos durante el almacenamiento y la manipulación, así como los niveles de oxígeno, temperatura, acidez, condiciones del tracto gastrointestinal, actividades enzimáticas, entre otros, limitan sus beneficios. Por otro lado, Banwo et al. (2021), indican que la cantidad de consumo de este tipo de compuestos, debe ser regulada para caracterizar su umbral tóxico. Las cantidades indicadas, en las dietas brindan mayor valor a los alimentos funcionales.

Se debe considerar también que Banwo et al. (2021), afirman que la incorporación de estos compuestos en matrices alimentarias podría afectar la apariencia, textura, características sensoriales, propiedades reológicas y gelificantes en ciertos alimentos.

La encapsulación es un método muy usado para incorporar compuestos bioactivos en sistemas alimentarios, esto se logra por medio de varios métodos como el secado por aspersión, la liofilización, el enfriamiento y enfriamiento por aspersión, el recubrimiento en lecho fluidizado,

la coacervación , el atrapamiento de liposomas , la cocrystalización, la nanoemulsión , la polimerización interfacial y la inclusión molecular (Banwo et al., 2021).

La mayor parte de las ventas en el mercado europeo, se concentra en los productos para desayunos y meriendas como leche, yogures y derivados de la fermentación de la leche, fórmulas infantiles y variedad de postres lácteos compuestos con bifidobacterias, calcio, ácido linoleico, margarinas con ácidos grasos poliinsaturados y monoinsaturados, enriquecidas con fitoesteres, galletas, cereales, panes ricos en fibra, ácidos grasos monoinsaturados y zumos de frutas, bebidas energéticas, huevos, patés, embutidos y flanes enriquecidos en ácidos grasos esenciales (Silveira Rodríguez et al., 2003).

De acuerdo con Ahmed et al. (2022), el consumo diario de este tipo de alimento ayuda en la reducción de enfermedades como la diabetes, cardiovasculares y osteoporosis. Para estos casos, se opta por el consumo de componentes bioactivos determinados, pero este tipo de alimentos no se usan como terapia para pacientes con enfermedades, porque los beneficios en la salud que se obtienen por el consumo a diario son a largo plazo. Su papel es importante en la protección contra la desnutrición, ya que funcionaría como una manera sencilla en el mejoramiento de la salud y bienestar de las personas en regiones con reportes de bajo acceso a los alimentos y alta desnutrición. Igualmente, su consumo es de vital importancia para adultos mayores.

6.1 Proteína como compuesto de valor agregado

De manera general, las proteínas proporcionan un importante aporte nutricional en los seres humanos, son fuente de energía, de nitrógeno y de aminoácidos esenciales. Además, también son importantes en la industria de los alimentos debido a que otorgan propiedades fisicoquímicas, funcionales y organolépticas (Chirinos et al., 2017). Los subproductos pueden ser una fuente no convencional o alternativa de proteínas y a su vez pueden otorgar valor agregado, al utilizarse en diversas industrias como en la industria alimentaria, donde pueden usarse con fines nutricionales para la fortificación de diversos alimentos (Chirinos et al., 2017).

Nutricionalmente, la proteína presente en las semillas de Sacha inchi ha sido considerada de buena calidad al poseer todos los aminoácidos esenciales en cantidades importantes, convirtiendo esta planta en una fuente alternativa de proteína vegetal, con potenciales aplicaciones para el desarrollo de alimentos. Al realizar caracterizaciones bioquímicas en semillas, se da paso a la investigación de fuentes alternativas de proteínas no convencionales para ser usadas en la industria alimentaria; por lo general, tienen amplias aplicaciones en cuanto a los ingredientes con

propiedades nutricionales y funcionales (aditivos, espesantes u otros) (López et al., 2016). Tras someter las semillas de Sacha inchi a prensado para la extracción del aceite contenido, la torta pasa a ser un subproducto de gran valor, al estar compuesta principalmente por las proteínas de esta oleaginosa. López et al. (2016), en su estudio sobre el perfil de proteínas de semillas de Sacha inchi, encontraron que de este subproducto se pueden obtener diferentes fracciones proteicas como las globulinas, de igual manera que los subproductos del girasol, soya y cacahuete. Esto, con el fin de ser comercializados como aislados proteicos en la suplementación de alimentos. Por otro lado, las albuminas o proteínas de reserva, las gliadinas y glutelinas, se encuentran en una menor proporción y son encargadas de las propiedades reológicas en alimentos, confieren viscosidad y elasticidad en ellos.

Se considera que la torta tiene un alto potencial de ser usado en la producción de concentrados de proteínas. Igualmente, el derivado de concentrado de proteínas puede usarse después para la producción de hidrolizados de proteínas, por el alto contenido de tirosina, treonina, cisteínas y triptófano, su efecto es importante en las actividades antioxidantes. Los hidrolizados de la proteína son involucrados con la proteína y se descomponen en péptidos pequeños que se digieren fácilmente, con relación a las proteínas intactas (Rawdkuen et al., 2018). Considerando las diferencias, la concentración de la torta prensada de aceite de Sacha inchi, es similar a la obtenida para la harina de soya (42–50%), una fuente de proteína común en las formulaciones de alimentos para distintas especies animales, teniendo múltiples aplicaciones en la industria alimentaria, incluidos los suplementos dietéticos y los alimentos funcionales (Torres et al., 2021).

Mora et al. (2020), sugieren que el consumo de 100 gramos de harina de torta de Sacha inchi por día, puede satisfacer las recomendaciones de aminoácidos esenciales establecidas por la FAO/OMS/UNU, las cuales son: 10 mg/kg. día de histidina, 39 mg/kg.día de leucina, 20 mg/kg.día de isoleucina, 15 mg/kg.día de metionina, 25 mg/kg.día de fenilalanina, 30 mg/kg.día de lisina, 15 mg/kg.día de treonina, mg/kg.día de triptófano y 26 mg/kg.día de valina.

A través de diversos estudios se ha detectado que algunos aminoácidos presentan actividad antioxidante, como el caso del ácido glutámico y aspártico que pueden donar o transferir electrones a radicales libres. La tripsina y la fenilalanina pueden donar protones a los radicales que carecen de electrones. También la metionina y la cisteína pueden donar su hidrógeno de azufre para eliminar radicales (Rawdkuen et al., 2018).

6.2 Ácidos grasos como compuestos de valor agregado

Los ácidos grasos son los componentes básicos de las grasas, es por ello por lo que se denominan ácidos grasos esenciales a dichas grasas que no se pueden sintetizar o formar en el organismo, entonces es fundamental que sean aportados desde la dieta. Son fundamentales para transportar distintos nutrientes que están involucrados en los sistemas de defensa o inmunidad, precursores de hormonas y asisten en el mantenimiento de las estructuras celulares. Los ácidos grasos omega hacen parte de los llamados ácidos grasos esenciales, no son producidos por el cuerpo humano, por lo cual se obtienen a través de una dieta adecuada. Se pueden hallar dos familias de ácidos grasos poliinsaturados esenciales como los omega-6 y los omega-3, estos nombres derivan de la configuración química del propio ácido graso y de la ubicación del enlace doble en relación al metilo terminal (CH_3) (Clavijo, Rodríguez, & Estupiñán, 2015).

El representante dietético fundamental de los ácidos grasos monoinsaturados es el ácido oleico. Como los otros ácidos grasos, el ácido oleico comparte el sistema de desaturasas y elongasas, pero en menor afinidad. Este ácido, genera pocos derivados de cadena larga y del mismo resultan eicosanoides con actividad vasodilatadora y antiagregante. Pero, a nivel lipídico origina una reducción de triglicéridos, colesterol total y lipoproteínas de baja densidad, también como la oxidación. En cuanto a beneficios, es una sustancia poco conocida que es capaz de provocar la elevación de la fracción de alta densidad (HDL) (Silveira Rodríguez et al., 2003).

Según Vanegas-Azuero & Gutiérrez (2018), los ácidos grasos esenciales de las familias n-3 y n-6, han logrado gran atención debido a que pueden ser ingredientes funcionales porque tiene un amplio catálogo de beneficios en la salud humana como el desarrollo del cerebro y la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares, algunos tipos de cáncer y enfermedades inflamatorias. Así como también, la artritis reumatoide e infecciones virales (Rawdkuen et al., 2016).

Existen posibles aplicaciones de este tipo de aceites ricos en ácidos grasos insaturados como el aceite de Sacha inchi, uno de ellos se encuentra en el tratamiento para personas con trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH), debido a los bajos niveles de ácidos grasos insaturados en el plasma y las membranas de los glóbulos rojos que aumentan los síntomas de este trastorno. Actualmente en Alemania, se usan ácidos grasos insaturados en preparados adicionales para tratar a niños con este diagnóstico. Otra aplicación se encuentra en el tratamiento de la artritis, debido a la influencia positiva en el metabolismo de las prostaglandinas, estos

componentes de los ácidos grasos insaturados reducirían el efecto inflamatorio de las prostaglandinas (Hanssen & Schmitz-Hübsch, 2011).

Rawdkuen et al. (2018), afirman que el aceite de Sacha inchi contiene cantidades altas de ácidos grasos poliinsaturados, en consecuencia, producen ventajas para la salud humana previniendo el cáncer, la enfermedad coronaria, diabetes, hipertensión, artritis, enfermedad inflamatoria de la piel y en trastorno por déficit de atención con hiperactividad. El aceite de sachá como aceite comestible está recibiendo gran atención a nivel mundial.

El consumo de ácidos grasos omega-3 influye de forma positiva en el flujo sanguíneo y la coagulación de la sangre. Estudios epidemiológicos en poblaciones japonesas y holandesas, han evidenciado la existencia de una correlación entre el consumo de aceite de pescado y una menor repercusión en enfermedades de tipo cardiovascular, por esta razón se asume que el aceite de Sacha inchi es una opción al aceite de pescado (Hanssen & Schmitz-Hübsch, 2011). La semilla Sacha inchi se ha popularizado, debido a sus componentes bioactivos, en particular el ácido α -linolénico, que también actúa como precursor del ácido eicosapentaenoico, y del ácido docosahexaenoico (Goyal et al., 2022).

Por otra parte, los lípidos son componentes abundantes de los núcleos del Sacha inchi, cuando se extraen pueden permanecer en la torta prensada de Sacha inchi un 5 y 25% de lípidos, esto dependiendo de la eficacia del método de extracción que se aplique. Los ácidos α -linolénico (~50%) y linoleico (~35%) son los principales ácidos grasos de la fracción lipídica de la torta, al igual que otras cantidades mínimas de ácidos oleico (~9%), palmítico (~5%) y esteárico (informado, 2%). Por lo que este perfil lipídico es adecuado en el enriquecimiento de alimentos con ácidos grasos esenciales, que al comparar con otro de tipo de harinas como las de soja, la fracción lipídica de la torta es más rica en ácidos grasos poliinsaturados (Torres et al., 2021).

6.3 Fitoesteroles como compuestos de valor agregado

Los fitoesteroles son esteroides vegetales, compuestos naturales y bioactivos presentes en las membranas celulares de las plantas, enriquecidos en aceites y grasas vegetales, cereales y productos de cereales, frutas y verduras. Han ganado atención en el mundo, gracias a la reducción del nivel de colesterol sérico en los seres humanos y en la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares. Poseen también, propiedades antiinflamatorias, antiulcerosas, antibacterianas y antitumorales. Estudios epidemiológicos, confirman que las dietas enriquecidas con fitoesteroides reducen el riesgo de cánceres de pulmón, colon, estómago, mama y próstata (MS et al., 2018).

Su actividad reductora de colesterol es una de sus propiedades destacadas, lo que ha ocasionado un aumento en el interés por encontrar este compuesto en los alimentos, ya sea de manera intrínseca o como aditivo. Se han desarrollado alimentos funcionales como grasas untantes, yogures y leche en los que se ha añadido en altos niveles (Lagarda et al., 2006). Los fitoesteroides, se usan de forma amplia en los alimentos fortificados y suplementos dietéticos, así como en productos disponibles comercialmente como las bebidas de yogur, yogures, margarinas y jugos de naranja (MS et al., 2018).

Las margarinas enriquecidas con fitoesteroides, ya se usaban en Finlandia, hasta ahora tienen relevancia como ingrediente alimentario funcional en Estados Unidos, debido a la demanda de los consumidores de alimentos nutraceuticos/funcionales (Dunford & King, 2000). En este tipo de productos alimenticios suplementados, el contenido total de fitoesteroides está en un rango variable de 0,2 a 55,2 g/100 g (Jie, Yang, Wu, Wang, & Lu, 2022).

Jie et al. (2022), establecen que la ingesta diaria recomendada de fitoesteroides en gran es de 2 a 3 g/d y se asegura el efecto de reducción de colesterol de lipoproteínas de baja densidad (LDL-C).

Por la naturaleza lipídica de los fitoesteroides, se usan varias técnicas de extracción de los compuestos no polares como lo son convencionales y no convencionales de las distintas matrices vegetales. La extracción Soxhlet, es el método de extracción convencional más propicio, aunque los disolventes orgánicos usados en este tipo de extracciones son nocivos para la salud humana y el medio ambiente, debido a esto se ha presentado un aumento en la demanda de nuevas tecnologías para la reducción de estos solventes, aporta ciertas ventajas de cara a las técnicas de extracción convencionales. En estos procesos de extracción, los parámetros deben de ser optimizados para obtener extractos de alta calidad y cantidad de los compuestos deseados (MS et al., 2018).

6.4 Fenoles como compuestos de valor agregado

Los taninos, lignanos, estilbenos, compuestos fenólicos, flavonoides, cetequinas, antocianinas provienen de plantas. Estos compuestos han demostrado potencial quimiopreventivo en bioensayos y modelos animales, asociados a la actividad antioxidante que en suplementos dietéticos protegen los efectos nocivos de la oxidación y a su vez, neutralizan los efectos adversos del estrés oxidativo. Cuando existen desbalances entre los oxidantes-antioxidantes, éstos provocan

diversas patologías como aterosclerosis, cáncer, enfermedades autoinmunes, entre otras (Franco-Quino et al., 2016).

Shahidi (2015), afirma que los antioxidantes tienen como efecto, la protección de la oxidación cuando se utilizan en los alimentos y suplementos dietéticos, esto para neutralizar los efectos adversos del estrés oxidativo. En la mayoría de los antioxidantes de interés, son de origen vegetal, pertenecientes a la clase de compuestos fenólicos y polifenólicos. El mecanismo de acción de los antioxidantes viene dado por las características estructurales de las moléculas que se involucran en los sistemas, las condiciones de procesamiento, almacenamiento, entre otros.

La morina es un flavonol dietético que constituye uno de los principales componentes de varios cultivos alimentarios y plantas medicinales, recomendados en la medicina tradicional. Se encuentra en higos, hojas de guayaba, té y café. En los últimos años, ha llamado la atención por su potencial terapéutico. Estudios *in vitro* e *in vivo*, demuestran que la morina tiene efectos pleiotrópicos. Se considera que este flavonol dietético como compuesto bioactivo es prometedor, debido a sus beneficios en la prevención y tratamiento de trastornos crónicos relacionados al estrés oxidativo y el proceso inflamatorio, o bien sus propiedades neuroprotectoras, antioxidantes, antihiperlipidémico, antihipertensivo antidiabético, antiviral, antialérgico y anticancerígenos. Por ello, el consumo de morina como suplemento dietético favorece a la reducción de varios tipos de cáncer en los seres humanos (Mottaghi & Abbaszadeh, 2021).

Para Pragasam, Venkatesan, & Rasool (2013), el ácido p-cumárico es un ácido fenólico vegetal presente en frutas y verduras como las naranjas, tomates, uvas, manzanas, espinacas y papas, cereales como la avena, el maíz y el trigo. Ofrece protección contra varias afecciones de tipo patológica como la aterosclerosis, también en el daño cardíaco oxidativo, los daños producidos en los tejidos oculares debido a los rayos UV, la carcinogénesis y la lesión neuronal en la enfermedad de Parkinson. Posee actividades antiinflamatorias, antiulcerosas, antiplaquetarias y antimicrobianas.

Los glucósidos de flavanona hesperidina y naringenina son polifenoles con actividad antioxidante, que ofrecen beneficios cardiovasculares. Algunas poblaciones no consumen suficientes cantidades de estos polifenoles para poder obtener estos beneficios. En consecuencia, ha aumentado el síndrome metabólico en niños y adolescentes alrededor del mundo, al igual que las tasas de obesidad. Como estrategia para aumentar el consumo de polifenoles, se ha propuesto el enriquecimiento de alimentos con estas moléculas activas en productos de panadería de consumo

masivo como las galletas, palitos de pan y bollos. Se consideran galletas, particularmente, porque pueden ser consumidas por distintas edades, por su larga vida útil y distribución a gran escala. En conclusión, las galletas enriquecidas con compuestos bioactivos como la hesperidina y la naringenina, representa una gran estrategia de prevención de la aparición del síndrome metabólico y las enfermedades cardiovasculares (Mayneris-Perxachs et al., 2019).

La naringenina se comercializa en forma de cocristales, nano formulaciones, dispersiones sólidas, comprimidos, cápsulas y complejos de inclusión. Se encuentra también en distintas formulaciones de hierbas como suplemento nutracéutico. Aunque presenta problemas farmacocinéticos, como mala absorción y baja tasa de disolución, se han resuelto hasta cierta parte, es importante seguir investigando la biodisponibilidad de este compuesto en los suplementos de hierbas, así como su eficacia a nivel clínico. De igual manera, aún se estudian los alimentos de consumo diario como productos de panadería, enriquecidos con naringenina, por sus actividades modificadoras de enfermedades y promotoras de la salud (Singh, Sharma, Monga, & Bhatia, 2022).

Los taninos son conocidos comúnmente como ácido tánico. La esterificación es muy importante para que las actividades antimicrobianas del ácido tánico de los compuestos que se relacionan en la protección de las plantas se lleven a cabo. En la hidrolización del ácido tánico, se rompe el enlace éster. El ácido gálico, es liberado cuando se da lugar a la maduración de las plantas o frutas que contiene taninos como lo son las uvas o las fresas, dicha actividad antimicrobiana del ácido tánico, se pierde. Es un excelente mecanismo de defensa natural contra la infección microbiana de las frutas. Al manipular este sistema de forma adecuada, se podrán usar estos compuestos para la prolongación de la vida útil de los productos alimenticios, como en los filetes de bagre. Estos mecanismos de acción deben de seguirse estudiando, en especial la relación estructura-actividad de cada componente de los taninos y la determinación de los efectos sinérgicos/antagónicos de estos, ya que aumentaría la oportunidad de usarlos en una matriz alimentaria (Chung, Wong, Wei, Huang, & Lin, 1998).

Diferentes concentraciones de taninos en los alimentos, se obtendrían excelentes efectos sobre la salud humana. No se aconseja un consumo desmedido de ellos, pues pueden estar implicados en la formación de cáncer, actividad anti nutricional y otros efectos adversos. Aunque, la ingesta de pequeñas cantidades y el tipo de tanino correcto, resulta beneficiosa en la salud humana, ya que afectaría a las enzimas metabólicas, la inmunomodulación y otras funciones. Aun

así, se debe seguir estudiando para obtener información precisa sobre el destino de los taninos en el cuerpo humano, la carcinogenicidad o no carcinogenicidad de cada molécula de tanino en órganos específicos, los mecanismos de acción implicados en las actividades anticancerígenas, anti mutagénicas y antimicrobianas, y las posibles aplicaciones de los taninos en la medicina e industria alimentaria (Chung et al., 1998).

Para poder explotar los subproductos, desechos agroalimentarios y valorizar su aplicación en industrias sostenibles. En las industrias de alimentos y bebidas, los taninos son considerados como aromatizantes, entretanto la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV) ha autorizado la adición de taninos de tipo comercial para favorecer el proceso de clarificación de mostos de uvas y vinos, mejorando la estructura de los vinos de cuerpo ligero y brindarían mayor protección contra la oxidación, por lo que se minimizarían el uso de antioxidantes sintéticos (comúnmente, dióxido de azufre) (Ricci et al., 2016). Sin embargo, su aplicación es bastante limitada, debido a su baja estabilidad, atributos sensoriales y biodisponibilidad. La encapsulación de taninos mejoraría todas estas propiedades (Zeng, Jiang, Du, & Kokini, 2022).

6.5 Tocoferoles como compuestos de valor agregado

La vitamina E se puede encontrar en su mayoría en aceites vegetales en cantidades variadas y en plantas (Malekbala, Soltani, Hosseini, Eghbali Babadi, & Malekbala, 2017). Está compuesta por ocho isoformas con cuatro tocoferoles y cuatro tocotrienoles, que se encuentran naturalmente en varios alimentos como los vegetales, nueces, semillas y la yema de huevo. Las isoformas de vitamina E, los tocoferoles α y γ son los más abundantes en la dieta y los tejidos biológicos. El α -tocoferol es la isoforma más importante, potente y abundante, pero tiene menor actividad antioxidante en los aceites comestibles. Mientras que, las isoformas de α -tocoferol, el γ -tocoferol reaccionan con especies reactivas de oxígeno y (especies de nitrógeno reactivo, pudiendo ser beneficiosas para la inflamación. Por último, el compuesto α -tocoferol, se agrega comúnmente a los productos alimenticios (Gulcin, 2020).

De manera general, los antioxidantes se han empleado para la conservación de alimentos con el fin de alargar su tiempo de almacenamiento, para preservar su valor nutricional, también se usan como conservantes del color, del sabor y el aroma. Las especies vegetales que se utilizan como fuente de antioxidantes naturales se presentan en formas variadas, que incluyen al material vegetal completo o molido, como extracto, o como un compuesto bioactivo aislado (Bisbal, Lloret, Lozano, & Fagoaga, 2020).

La extracción de esta vitamina de fuentes naturales tiene gran acogida, gracias a su función antioxidante. Debido a esto, existen nuevas técnicas para su extracción, enriquecimiento y producción. Técnicas de separación que incluyen la extracción de fluidos supercríticos, adsorción y destilación molecular, estas técnicas también se usan en la extracción y concentración de tocoferoles de varias fuentes como el aceite de palma, el salvado de arroz o soja (Malekbala et al., 2017).

Mediante CO₂ supercrítico se han extraído tocoferoles de semillas de uva, semillas de almendra, hojas de olivo, hojas de palma, cascara de aceituna, aceite de palma, aceite de salvado de arroz, aceite de soja (Malekbala et al., 2017).

7. Usos del Sacha inchi en los alimentos

Alimento funcional es aquel que no solamente es considerado como nutritivo, sino que además cumple una función específica en el consumidor, como mejorar la salud o reducir el riesgo de contraer una enfermedad, razón por la cual, en su elaboración se adicionan compuestos biológicamente activos tales como minerales, vitaminas, ácidos grasos, fibra alimenticia o antioxidantes (Baldeón Clavijo, Velásquez Rodríguez, & Castellanos Estupiñán, 2015). Dentro de los componentes que más de destacan en los alimentos funcionales, se encuentran la fibra dietética, los aminoácidos, los ácidos grasos insaturados, los fitoesteroles, los minerales y los antioxidantes, entre otros (Baldeón Clavijo et al., 2015). Como se evidenció anteriormente, muchos de estos compuestos están presentes en el aceite y los subproductos que genera el proceso industrial de Sacha inchi (torta y cáscara), incluyendo las hojas, que, aunque no se consideran un subproducto, pueden ser aprovechadas para la extracción de compuestos antioxidantes. Se encontró que, hasta ahora, el uso que se le ha dado al Sacha inchi para la elaboración de alimentos se ha basado específicamente en el aprovechamiento directo del aceite y de la torta, no se ha reportado el uso de la cáscara y hojas. A continuación, se observa en la Figura 5 el fruto, granos, aceite y torta prensada (subproducto) del Sacha inchi.

Figura 5

Fruto, granos, aceite y torta prensada (subproducto) del Sacha inchi



Fuente: (Torres et al., 2021)

7.1 Aceite de Sacha inchi

El Sacha inchi, en Perú se comercializa en diversas formas o presentaciones, principalmente como aceite (42,34%), también en polvo (12,73 %), en bocadillos (5,37%), tostado (2,85%) y en cápsulas (1,79%). Los principales mercados corresponden a Canadá (31,78%), Estados Unidos (23,33 %), Japón (14,73%), España (6,97%), Francia (6,23), México (4,59), Bélgica (3,44%) y Australia (2,66%) (Flores & Lock, 2012). En Colombia, se exportan los granos, también el aceite, como proteína y como bocadillos (Export Sacha, s.f.).

El aceite de Sacha inchi colombiano prensado en frío presenta las siguientes propiedades fisicoquímicas: Densidad a 20°C $0,93 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$, índice de saponificación $195,50 \text{ mgKOH/g} \pm 4,50$, índice de yodo 170 ± 26 , índice de peróxidos $<10 \text{ meq O}_2/\text{kg}$ aceite, viscosidad 32 cp, acidez $\leq 2,00\%$ (expresado como ácido oleico), color: oscila del amarillo intenso al ámbar dorado. Olor/Sabor: Olor característico de la variedad. Sabor graso, notas asociadas a nuez leves notas verdes. Composición ácidos grasos: grasa insaturada $92,90 \% \pm 4,70$, Omega 3 $47,00 \% \pm 2,00$, Omega 6 $35,60 \% \pm 2,00$, Omega 9 $10,90 \% \pm 2,00$, Vitamina A 681 ug, Vitamina E 17 mg / 100 g (Export Sacha, s.f.).

Baldeón Clavijo et al. (2015), sustituyeron parte de la grasa de cerdo, utilizada generalmente en la elaboración de hamburguesas, por una pasta de Sacha inchi (semillas descascaradas, tostadas y molidas), debido al aporte nutricional que se puede otorgar a este producto, debido a los ácidos grasos esenciales y proteína que contienen estas semillas, la cantidad de pasta de Sacha inchi agregada en la formulación correspondió al 10, 15 y 20%, que a su vez es corresponde al reemplazo de la grasa. Tras un análisis fisicoquímico, se destacó la muestra con 10% de Sacha inchi, presentó el mayor contenido de proteína 20,86% y también al compararse con la muestra control (18,90 %) convirtiéndola en un producto funcional. En cuanto al contenido de grasa a mayor cantidad de pasta de Sacha inchi, menor contenido de grasa, la muestra de 10% de Sacha inchi obtuvo 12,91 % de grasa, este valor es menor a la muestra control (13,35 %), fue la que presentó mayor aceptabilidad por parte de los panelistas y la de mayor rentabilidad. Esta muestra contiene 16,82 % de Omega-3, 21,97 % de Omega-6 y 34,88 % de Omega-9, por su composición podría aportar beneficios en el consumidor como la disminución de riesgos de enfermedades cardiovasculares.

García, Quinteros, García, Chumacero, & Castro (2018), utilizaron el aceite de Sacha inchi para la elaboración de un alimento funcional, utilizando leche semidescremada de vaca y aceite virgen de Sacha inchi, el tratamiento aceptado por parte de los panelistas entrenados fue el que se elaboró con una sustitución del 3,0%, usando para su conservación envase de vidrio. Microbiológicamente este alimento fue apto para el consumo humano después de un mes de almacenamiento estando dentro los límites permisibles de aceptación para el consumo humano.

Valles Ramírez, Medina-Vivanco, & Obregón-Lujerio (2017), usaron semillas de Sacha inchi descascaradas y tostadas (60 °C durante 6 min) para elaborar una bebida nutritiva (relación de almendra:agua 1:3) como una alternativa a la leche de origen animal, con aporte ácidos grasos esenciales y proteína. Este producto en cuanto al atributo sensorial sabor tuvo una muy buena aceptación, presentó 3,3 % de proteína y 7,13 % de grasa la cual contiene principalmente 42,19 % de ácido linolénico y 30,9 % de ácido linoléico, también contiene 8,16% de ácido oleico.

Castro et al. (2020), usaron aceite de Sacha inchi para elaborar un queso de leche de vaca enriquecido, el aceite se estabilizó con antioxidantes (Ecoprol 2020 y tocoferol) con el fin de alargar la vida útil del queso. La formulación seleccionada contenía 150 mg/kg aceite de tocoferol, 1000 mg/kg aceite de Ecoprol y 2,5% de aceite de Sacha inchi. Este producto alcanzó una buena aceptación sensorial (7,2 de 9 escala hedónica), además, se logró prolongar la vida útil del queso enriquecido de 7 a 16 días entre 0-4 °C.

Medina-Mendoza et al. (2021), analizaron la elaboración de chocolates amargos al 70%, al realizar una sustitución parcial de manteca de cacao por aceite de Sacha inchi (1,5%, 3% y 4,5%) y su influencia sobre propiedades reológicas (dureza, viscosidad plástica, límite elástico), bioactivas y sensoriales de este producto, el contenido de fenoles totales se mantuvo constante pero la actividad antioxidante aumentó a medida que el porcentaje de sustitución era mayor, pero su textura y demás propiedades reológicas fue menor en comparación con la muestra control, aunque estuvo dentro de los parámetros aceptables para este alimento. La muestra con mayor contenido de Sacha inchi obtuvo los mejores resultados en la prueba sensorial (color, brillo y aceptabilidad).

7.2 Torta de Sacha inchi

La torta de Sacha inchi presenta un alto valor nutricional, se considera como una materia prima apropiada para el enriquecimiento de alimentos a través de proteínas, fibra y ácidos grasos esenciales ω -3 y ω -6 (Torres et al., 2021). Los componentes nutricionales presentes en este

subproducto, como los aminoácidos esenciales, los ácidos grasos esenciales, la fibra dietética y el contenido de minerales, sugieren que puede ser aprovechado como ingrediente para el consumo humano (Rawdkuen & Ketnawa, 2020).

A partir de la torta de Sacha inchi, podría elaborarse productos con aporte nutricional principalmente proteico. Se ha utilizado para preparaciones tradicionales que incluyen sopas, galletas, alimentos para niños, principalmente en Perú, donde aprovechan la harina de la torta (Fig. 4) para la preparación de bebidas, comidas y bocadillos como productos fuente de omegas 3 y 6 (Vásquez, Hincapié, Cardona, Jaramillo & Vélez, 2017). De manera artesanal se utiliza la harina de esta torta para elaborar distintos alimentos, también se han desarrollado otros de manera experimental (Torres et al., 2021).

De acuerdo con la Resolución 333 de 2011, en una porción de 100 g, se puede decir que la harina de Sacha inchi de la torta residual, se considera buena fuente de proteína, calcio y ácidos grasos omega 3, sin colesterol baja en grasa saturada y en carbohidratos. En cuanto a su estabilidad de conservación, es un producto con humedad inferior a 4,5%, un pH de 6,4, y una actividad de agua de 0,5, se puede decir que presenta una estabilidad media, por lo tanto, su vida anaquel es alta y no es necesario la refrigeración para su conservación (Vásquez, Hincapié, et al., 2017). En la Figura 6 se observan los subproductos obtenidos a partir de la torta residual de Sacha inchi como lo son la harina desgrasada y el concentrado de proteína.

Figura 6

Subproductos de la torta de Sacha inchi (harina desgrasada y concentrado de proteína)



Nota. A: Torta prensada de Sacha inchi, B: Harina desgrasada, C: Concentrado de proteína.

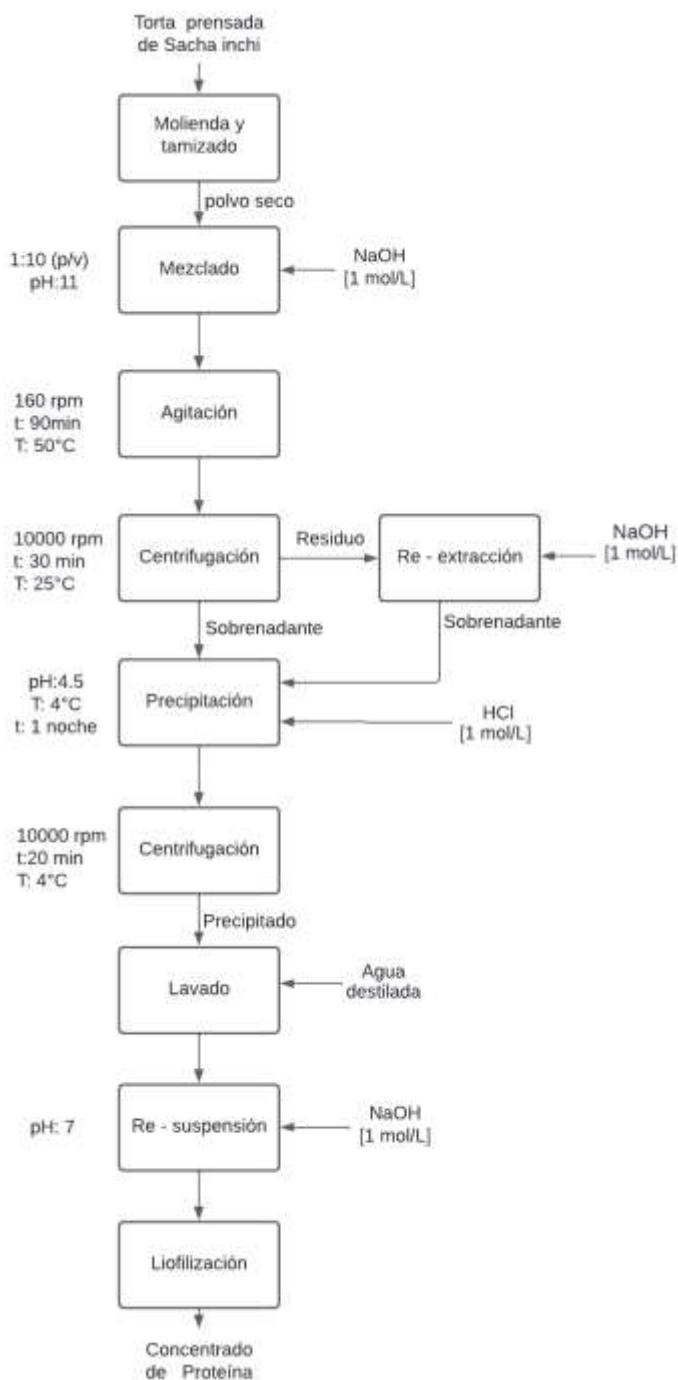
Fuente: (Rawdkuen & Ketnawa, 2020)

También, a partir de la harina se produce concentrado de proteína como un producto de gran valor, en la Figura 7, se puede observar un ejemplo del proceso de obtención. El concentrado de proteína de Sacha inchi producida en Colombia a partir de la torta, es libre de gluten, contiene más del 55% de proteína con 18 de los 20 aminoácidos y 9 aminoácidos esenciales, digestibilidad

del 96% al 98% (Export Sacha, s.f.). En la Figura 8 se presenta la etiqueta de este producto y su perfil de aminoácidos.

Figura 7

Proceso de obtención de concentrado de proteína a partir de torta prensada de Sacha inchi



Fuente:(Rawdkuen & Ketnawa, 2020. Rawdkuen, Rodzi, & Pinijsuwan, 2018)

Figura 8

Etiquetado del concentrado proteico de Sacha inchi producido en Colombia

INFORMACIÓN NUTRICIONAL		
Tamaño Porción	20 g	
Cantidad por porción		
Energía Total	294 kJ	70 cal
Energía de Grasa	63 kJ	15 cal
% Valor Diario*		
Grasa Total	2 g	3%
Grasa Saturada	0 g	0%
Grasa Trans	0 g	0%
Grasa Polinsaturada	2 g	
Colesterol	0 mg	0%
Sodio	5 mg	0%
Carbohidratos Totales	5 g	2%
Fibra Dietaria	5 g	20%
Azúcares Totales	0 g	0%
Proteína 12 g		
Los porcentajes de Valores Diarios están basados en un dieta de 8390 kJ (2000 Kcal)		

PERFIL DE AMINOÁCIDOS	
Ácido glutámico	10%
Alanina	2,6%
Arginina	6,9%
Aspartico	9,4%
Cistina	2,6%
Fenilalanina	1,9%
Glicina	9,3%
Histidina	1,4%
Isoleucina	2,8%
Leucina	5,1%
Lisina	3,5%
Metionina	0,03%
Prolina	3,1%
Serina	5,0%
Tirosina	4,0%
Treonina	4,2%
Triptófano	1,81%
Valina	3,5%

Fuente: (Export Sacha, s.f.)

Esta harina ha sido utilizada experimentalmente para la preparación de productos de panadería con el fin de aumentar el valor nutritivo de este tipo de alimentos, principalmente en relación con el contenido de proteínas. Vásquez, Hincapié, et al. (2017), emplearon harina de torta prensada de Sacha inchi para formular una colada, sustituyendo el almidón de maíz por Sacha inchi al 0 %, 25 % y 50 %. Sacha inchi al 50% presentó el mayor contenido de proteína. Las tres formulaciones, microbiológicamente son aptas para el consumo humano, todas fueron aceptadas por un panel sensorial (no entrenado) pero la textura fue menos aceptada a medida que se incrementó la sustitución del almidón de maíz que a su vez provocaba una disminución en la viscosidad del producto. Las formulaciones con sustitución del 25 y 50% presentaban menor grado o nulidad de gelificación. La sustitución del 50% en comparación con la preparación tradicional (0% sustitución) generó un producto líquido con 2,3 % menos energía, 16,3 % menos carbohidratos, 1,4 % más de grasa y 90,7 % más de proteína, este último valor en una porción representa un incremento de 8 g en el producto.

Rodríguez, Avellaneda, Pardo, Villanueva, & Aguirre (2018), elaboraron pan de molde con la sustitución parcial de harina de trigo por torta extruida de Sacha inchi (120 °C y presión de 140 kPa) obtenida tras la extracción del aceite por prensado en frío. El incorporar la torta de Sacha inchi, se produjo un incremento estadísticamente significativo en los niveles de cenizas, fibra,

grasas y proteínas, y a su vez, una disminución en el contenido de carbohidratos. La sustitución de 6,3% arrojó los mejores resultados en las propiedades reológicas, no presentando diferencias significativas en comparación con la muestra control (0% torta). Tras el horneado se produjo una reducción del contenido de ω -6 y ω -3 en un 56,43 % y 96,67 % respectivamente, obteniéndose una retención del de 3,33 % de ácido α -linolénico (ω -3), considerara positiva por parte de los autores, no se afectó ácido palmítico y oleico. Igualmente, esta formulación fue debida a que tuvo mayor aceptación en cuanto a las características físicas de apariencia, sabor, color, olor y textura, respecto al pan control.

Vásquez, Jaramillo, Hincapié, & Vélez (2017), utilizaron harina de la torta prensada en frío para elaborar galletas de mantequilla con coco, se sustituyó la harina de trigo en un 0% (referencia), 50 %,75 % y 100 %. Mediante un grupo de panelistas se analizó la aceptación en cuanto al olor, sabor, textura y color, la muestra de mayor aceptación fue la de 0% Sacha inchi, seguido de la muestra con 50% de Sacha inchi sin embargo no presentaron diferencias significativas en los primeros 3 atributos, en cuanto a la textura, la suavidad de la galleta disminuyó a medida que el porcentaje de Sacha inchi era mayor. Por lo dicho anteriormente, solo se analizaron fisicoquímicamente esas dos muestras, en comparación con la de referencia, las galletas con 50% de Sacha inchi presentaron más del doble de contenido de proteína (8,89 vs 18,25%) también aumentó; aunque en menor proporción el contenido de grasa total y el contenido calórico (1 % superior), en cuanto al contenido de carbohidratos, fue menor para las muestras con Sacha inchi (61,03 vs 48,74%). Los autores informaron que una porción de 20g de galleta y según los lineamientos de la Resolución 333 de 2011 referentes al rotulado nutricional, esta porción aporta 110 calorías, 6% de proteína, 9% de grasa, 3% de carbohidratos referente al valor diario recomendado para cada uno de estos nutrientes.

Otro caso de harinas compuestas, como Aylas, Pingus, & Alva (2019), evaluaron la sustitución de harina de trigo con harina de torta de Sacha inchi en diferentes proporciones (0-30% harina de Sacha inchi, 100 – 70% harina de trigo) para elaborar una masa de pan dulce y su incidencia sobre las propiedades reológicas y las propiedades sensoriales del bizcocho obtenido. Las muestras con mayor contenido de Sacha inchi (20-30%) presentaron los resultados menos favorables en las pruebas reológicas, indicando que no son aptas para la panificación, la muestra con 10% fue seleccionada como la mejor alternativa, se obtuvo un aumento en contenido de proteínas, grasa, fibra y cenizas en comparación con la muestra control (0% Sacha inchi), en la

prueba sensorial; esta muestra tuvo buena aceptabilidad en los panelistas, los descriptores sabor y textura no tuvieron diferencia significativa en comparación al bizcocho control.

También se ha utilizado para preparar otros productos como bebidas, productos lácteos, salchichas, bocadillos, lo que sugiere el uso de esta harina y con concentrado proteico en diversos alimentos.

Vanegas-Azuero & Gutiérrez (2018), con el objetivo de elevar el valor nutricional y las propiedades funcionales del yogur, elaboraron este producto que fue enriquecido con semillas de Sacha inchi sin cáscara y asadas (4 % peso/peso) y β -glucanos de *Ganoderma lucidum* (0-1,5 % peso/peso). La cinética de fermentación no se afectó por la adición de estos ingredientes, en comparación con la muestra control, se produjo un aumento significativo ($P < 0.05$) de proteínas, grasas, carbohidratos, cenizas y sólidos totales, principalmente de grasa por las semillas. Las muestras control contenían principalmente los ácidos palmíticos (27–28 %), oleico (25–26 %) y esteárico (15–16 %). Las muestras enriquecidas contenían principalmente alfa-linolénico (49-50%) y linolénico (32-33%). Estos valores fueron 50 y 25 veces mayores a los del yogur de control, en menor cantidad oleico (9,0-10%), palmítico (5-6 %) y ácidos esteáricos (2-3%). En el estudio, se obtuvieron valores significativamente más bajos en los parámetros de textura (firmeza, consistencia, cohesión e índice de viscosidad) en los yogures enriquecidos, indicando que la muestra control presentaba una estructura de gel más fuerte. Los yogures enriquecidos tuvieron una aceptación sensorial por parte de un grupo de panelistas (no entrenado), superior al 70%. También, presentaron cantidades significativamente más altas ($P < 0,05$) de los aminoácidos ácido aspártico, serina, arginina, glicina, treonina, tirosina y alanina

Jiapong & Ruttarattanamongkol (2021), elaboraron un bocadillo mediante cocción por extrusión, utilizando una mezcla compuesta por diferentes cantidades de harina desgrasada de Sacha inchi (20-60%) y harina de arroz (40-80%). Las muestras elaboradas con un 20, 30 y 40% de Sacha inchi no presentaron diferencias evidentes en cuanto al aspecto, mientras que las elaboradas con 50 y 60% presentaron menor expansión y una textura más densa (mayor densidad). La energía de rotura (fuerza media necesaria para romper un trozo de aperitivo) aumentó significativamente con el aumento de la proporción de la harina de Sacha inchi, lo cual indica que a un mayor contenido de esta harina afecta las características físicas del bocadillo, incluyendo también el color. El índice de absorción de agua disminuyó al aumentar la cantidad de harina de Sacha inchi, debido a la disminución que también del almidón presente en la harina de arroz. La

muestra enriquecida con 40% de Sacha inchi fue la más aceptable en cuanto a sus características generales. Referente a su composición proximal, contiene principalmente $62,27 \pm 0,11\%$ de carbohidratos, seguido de $24,94 \pm 0,07\%$ de proteínas, y en menor proporción humedad, ceniza, grasa, y fibra ($5,61 \pm 0,14\%$, $3,42 \pm 0,02\%$, $2,09 \pm 0,00\%$, $1,79 \pm 0,16\%$, respectivamente), también se analizó el contenido fenólico total (TPC) de esta muestra, el cual fue de $205,46 \pm 11,66$ g GAE/g de peso seco y la capacidad antioxidante equivalente a Trolox (TEAC) que fue de $135,40 \pm 1,10$ $\mu\text{molTE/g}$ de peso seco. En cuanto a las proteínas y las propiedades antioxidantes, fue mucho mejor en comparación con otros bocadillos disponibles en el mercado.

Los concentrados proteicos a partir de la torta de Sacha inchi prensada, se ha utilizado para mejorar las propiedades de algunos alimentos. En salchichas de cerdo se mejoraron las propiedades texturales y en palitos de pescado frito se logró aumentar la vida útil al añadir estos hidrolizados (Rawdkuen & Ketnawa, 2020).

García et al. (2020), elaboraron un prototipo de bebida nutricional instantánea, utilizando harina extruida de torta de Sacha inchi (29,70 %) y de torta de castaña (43,33 %), este producto presentó un alto contenido proteico (47,99 %), obtuvo una buena solubilidad ($16,36 \pm 0,09$ %) y una buena aceptación por parte de los panelistas. Una porción de 6 g proporciona el 6% del valor diario recomendado por la FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos).

Como una alternativa de aprovechamiento de las proteínas presentes en la torta, González-Linares, Medina-Vivanco, Garay-Montes, & Mendieta-Taboada (2017), plantearon la elaboración de películas comestibles como una alternativa para el aprovechamiento de las proteínas que contiene la torta de Sacha inchi, usando como plastificante el sorbitol. Los autores pudieron deducir que una relación plastificante: proteína entre 0,15 y 0,20 g de plastificante/g de proteína, permitirían obtener los resultados apropiados de permeabilidad al vapor de agua y solubilidad. Los resultados demostraron que las proteínas de la torta tienen un gran potencial para utilizarse como material formador de películas biodegradables/comestibles.

8. Vigilancia tecnológica

Para el desarrollo de este trabajo, relacionado con la investigación del uso de Sacha inchi en la industria de alimentos, se utilizó como metodología, realizar una vigilancia tecnológica para poder seleccionar y sistematizar la información científica disponible sobre el tema elegido que permitió su desarrollo y conclusión. Los pasos considerados fueron los siguientes:

Identificación y necesidad de información: El tema de investigación se eligió debido al aumento en el interés que se ha presentado acerca del consumo de aceites vegetales considerados como saludables, en donde, el Sacha inchi ha llamado la atención de los investigadores en los últimos años debido a su perfil de ácidos grasos, en torno a esto, surgió la idea de conocer más a detalle la composición de esta planta, de manera general y así poder descifrar qué otros compuestos de interés podría aportar a la industria de alimentos, ya que se conoció de publicaciones que involucran otros aspectos de investigación aparte del aceite, con fines relacionados a esta área (Alimentos).

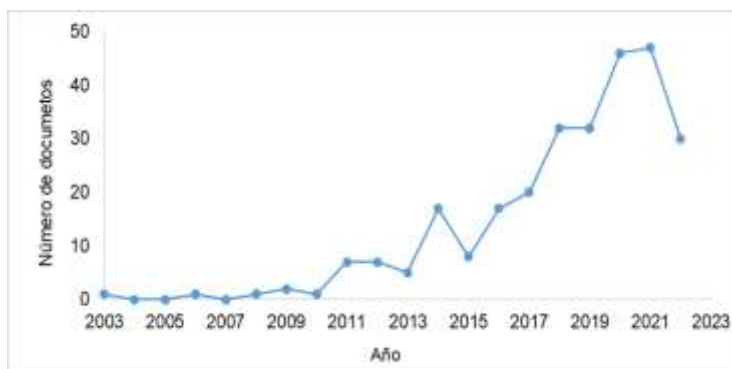
Estrategia para la recopilación de información: por medio de la biblioteca de la Universidad del Valle se tuvo acceso a una lista de las bases de datos de libros y revistas en formato electrónico. Entre las bases de datos que se utilizaron, se encuentran Scopus, Science direct y Wiley, las cuales proporcionan las mejores revistas y publicaciones de investigación a nivel mundial. Se destaca Scopus por permitir realizar un análisis de la información disponible sobre el tema de interés, y así poder tener un panorama más amplio relacionado a los países, autores y revistas líderes en el mundo.

Análisis de información: La información disponible se filtra de acuerdo con los objetivos de la investigación y teniendo en cuenta la información de los documentos, como, área de estudio, tipo de documento, año de publicación, país, entre otros. Con lo anterior, se obtuvieron los siguientes resultados en la recopilación de información científica:

En la Figura 9 se presenta de manera general, el número de publicaciones acerca de “Sacha inchi” a través de los últimos años, dentro de las disciplinas se incluyen: ciencias agrícolas y biológicas, química, bioquímica, ingeniería, entre otros. Se observa que, la primera publicación se realizó en el 2003 pero es desde el año 2016 en donde ha venido presentado un aumento representativo en el número de investigaciones, siendo el 2021 el año con más publicaciones (47).

Figura 9

Número de publicaciones por año sobre Sacha inchi

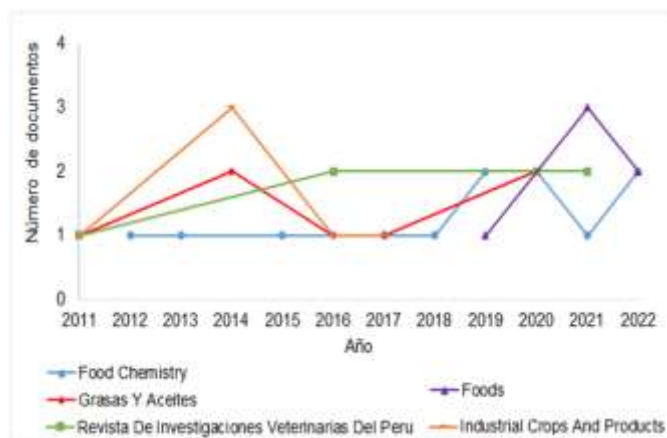


Fuente: (Scopus, 2022)

La Figura 10 presenta las revistas con mayor número de publicaciones sobre Sacha inchi, en donde se destacan la revista Food Chemistry y Grasas y Aceites con 12 y 7 publicaciones, respectivamente. En el año actual, las revistas Food Chemistry y Foods, han realizado 2 publicaciones cada una.

Figura 10

Principales revistas con publicaciones sobre Sacha inchi

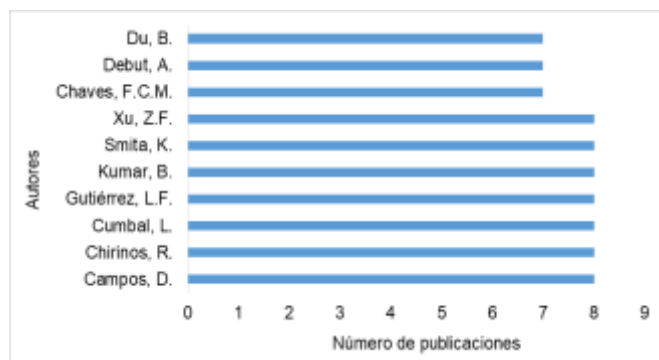


Fuente: (Scopus, 2022)

Los autores con mayor número de investigaciones y publicaciones acerca de Sacha inchi, se mencionan en la Figura 11 en donde, dentro de los principales autores se encuentra Gutiérrez L.F, un colombiano que, hasta la fecha ha realizado 8 publicaciones.

Figura 11

Autores con mayor número de publicaciones sobre Sacha inchi

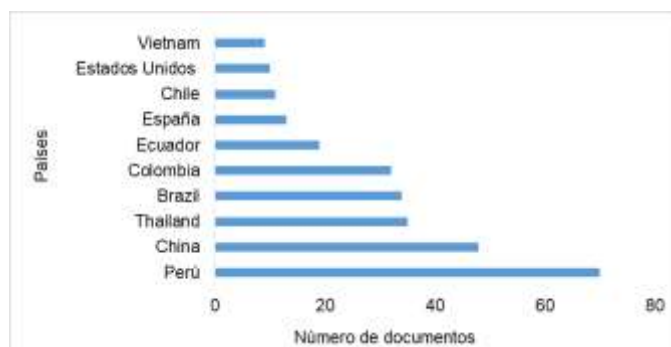


Fuente: (Scopus, 2022)

Como se observa en la Figura 12 son varios países de América latina en donde el Sacha inchi ha sido tema de estudio, siendo Perú el país líder con 70 publicaciones, por su parte, Colombia ha tenido una buena participación con 32 publicaciones hasta la fecha.

Figura 12

Países con mayor número de publicaciones sobre Sacha inchi

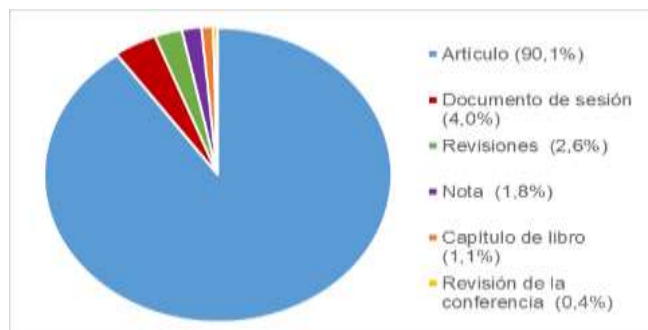


Fuente: (Scopus, 2022)

Por último, como se observa en la Figura 13 de la información disponible sobre el Sacha inchi, el 90,1% corresponden a artículos científicos. Posterior a recopilar toda esta información, se realizó una selección de aquellos artículos relacionados con el área de los alimentos, que contribuyen de alguna u otra forma con el cumplimiento de los objetivos propuestos en esta investigación, posterior a eso se realizó una sistematización de las investigaciones seleccionadas, como se presenta en la Tabla 7.

Figura 13

Tipos de publicaciones sobre Sacha inchi



Fuente: (Scopus, 2022)

8.1 Sistematización de la información

En la Tabla 7 se presenta una sistematización de las publicaciones seleccionadas para el desarrollo de esta investigación, estas publicaciones contienen información relacionada al Sacha inchi, que pueden ser de uso para la industria de los alimentos. Cabe resaltar que, aunque se incluyen varios artículos que hacen parte de la base de datos de Scopus, también se tomaron publicaciones de otras bases datos que contemplan otras revistas y autores a los mencionados anteriormente.

Tabla 7

Sistematización de la información publicada sobre Sacha inchi

Artículo	Resumen	Autor - Año	Tema
Supercritical CO ₂ extraction of omega-3 rich oil from Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) seeds.	Se empleó dióxido de carbono supercrítico (SC – CO ₂) para extraer aceite de las semillas (Temperaturas: 40, 50 y 60 °C, presiones: 300 y 400 bares) de Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) rico en omega-3 y de la torta parcialmente desgrasada prensada en frío (300 bar a 40 °C y 400 bar a 60 °C.). Las semillas estaban compuestas por 54,3% de aceite, del cual el 50,5% era ácido linoleico (ω -3). La recuperación máxima de extracción de las semillas fue del 92% a 400 bares y 60 °C, pero en una ocasión se obtuvo una recuperación del 99,1% de aceite cuando se empleó la extracción por prensado en frío, seguida de una extracción supercrítica a 400 bares y 60 °C. La solubilidad varió de 0,5 a 15 g/kg CO ₂ a 40°C y de 0,3 a 17 g/kg CO ₂ a 60 °C, dentro del rango de presión de 100 a 400 bar. Se obtuvo un alto contenido de tocoferol de unos 2-3 g/kg de aceite.	Follegatti-Romero et al., 2009	Aceite
Evaluación del contenido de fitoesteroles, compuestos fenólicos y métodos químicos para determinar la actividad antioxidante en semilla de sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.)	Se determinó el contenido de compuesto fenólicos por HPLC, capacidad antioxidante e identificación y cuantificación de fitoesteroles en semilla de Sacha inchi. La torta de sacha presentaron ácidos fenólicos tales como ácido cafeico 3,51 mg/kg, y ferúlico 1,68 mg/kg, Flavonoides como rutina 42,93 mg/kg, hesperidina 28,46 mg/kg y 53,24 mg/kg de morina. Se identificaron en torta y aceite la presencia de fitoesteroles, los resultados mostraron un contenido promedio de 75,49 mg/100g para estigmasterol y 74,56 mg/100g de β -sitosterol en el aceite. La actividad antioxidante se realizó mediante los métodos ABTS y DPPH, los resultados mostraron que el extracto lipofílico del aceite presentaba mayor actividad antioxidante y mayor capacidad inhibitoria con el método DPPH (15,97 expresados en trolox equivalente/kg); sin embargo, el extracto hidrofílico del aceite mostró mayor actividad con el método ABTS (9,88	Jáuregui et al., 2010	Torta y aceite

Chemical characterization of Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) oil	expresados en trolox equivalente/kg), el mismo comportamiento se obtuvo para el caso de la torta. Se presenta una caracterización química de los principales componentes, (triacilgliceroles, los polifenoles y los tocoferoles) de aceite de Sacha inchi prensado en frío. Se empleó la cromatografía líquida de alto rendimiento en combinación con la detección por matriz de fotodiodos (PDA), fluorescencia (RF) y espectrometría de masas (MS). Una cantidad del 93% de los ácidos grasos totales estaba representada por ácidos grasos insaturados, con el mayor porcentaje representado por el linoleico (50%) y el linolénico (36%). Los principales triacilgliceroles (>10%) estaban representados por el LLnL, LnLnLn y LnLnL; este último estaba presente en la muestra de aceite en el mayor porcentaje (22,2%). Entre los tocoferoles, se detectó que el γ- tocoferol como el más abundante (más del 50%). También se investigó la composición polifenólica, y se identificaron positivamente un total de 15 compuestos.	Fanali et al., 2011	Aceite
Chemical composition of Sacha Inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) seeds and characteristics of their lipid fraction	Se analizaron semillas de Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) de Colombia para determinar su composición química. Las semillas presentan un alto contenido de aceite (41,4%) y proteína (24,7%). Los principales minerales fueron potasio (5563,5 ppm), magnesio (3210 ppm) y calcio (2406 ppm). Los principales ácidos grasos en el aceite fueron α-linolénico (50,8%) y linoleico (33,4%). El fraccionamiento del aceite, realizado por extracción en fase sólida, produjo principalmente lípidos neutros (97,2%), y bajas cantidades de ácidos grasos libres (1,2%) y fosfolípidos (0,8%), en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas, el índice de saponificación 185,2; índice de yodo 193,1; densidad 0,9187 g/cm³, índice de refracción 1,4791 y viscosidad 35,4 mPa.s. Los resultados indican que el Sacha inchi es una importante nueva especie con aplicaciones en las industrias de alimentos y farmacéutica.	Gutiérrez et al., 2011	Semillas

Composición de ácidos grasos de Sacha inchi (<i>Plukenetia volúbilis</i> Linneo) y su relación con la bioactividad del vegetal	A partir de extractos etanólicos de hojas y raíces de <i>Plukenetia volúbilis</i> L, se evaluó la presencia de ácidos grasos omega (FAC) y funcionales, Además se evaluó el potencial antioxidante (ABTS-HRP). El perfil lipídico del aceite de las semillas de la planta mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG-EM). El análisis dejó ver que el aceite del vegetal contiene ácidos grasos poliinsaturados en una proporción mayor al 80%. Los extractos de hojas y raíces mostraron principalmente ácidos de tipo ciclo-propénico. El extracto etanólico de las hojas, dejó ver flavonoides, cumarinas, iridiadas, antraquinonas, entre otros. Los constituyentes de las hojas resultaron ser los mayores aportadores a esta actividad, con una participación del 97% a la capacidad antioxidante total. Tanto los fitocompuestos como los ácidos grasos omega y funcionales parecen estar asociados con la actividad antioxidante de las hojas.	Castañó, D. L., et al., 2012	Hojas raíces y almendra
Solubilization, Fractionation, and Electrophoretic Characterization of Inca Peanut (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) Proteins	Se evaluaron los efectos de los diferentes disolventes, la fuerza iónica y el pH en la solubilidad de las proteínas de la semilla Sacha inchi (harina de semilla desgrasadas con hexano), mediante el análisis cuantitativo de las proteínas solubilizadas utilizando los métodos de Lowry y Bradford. Las proteínas totales de la semilla se solubilizaron eficazmente con NaCl 2 M entre los disolventes probados. Las proteínas solubles de la semilla registraron una solubilidad mínima a pH ~4,0. Las fracciones proteicas de Osborne, albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas representaron el 43,7, 27,3, 3,0 y 31,9 %, respectivamente, del total de las proteínas solubles acuosas. Las proteínas solubles de la harina de semillas se componen principalmente de polipéptidos en el rango de MW de 6-70 kDa, de los cuales los polipéptidos predominantes estaban en el rango de 20-40 kDa. La fracción de prolamina estaba compuesta principalmente por cuatro polipéptidos (MW < 15 kDa).	Sathe, Kshirsagar, & Sharma, 2012	Semillas

Revalorizando el uso milenario del Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) para la nutrición, la salud y la cosmética	Esta revisión proporciona un panorama general sobre las semillas de Sacha inchi, su historia, descripción botánica, algunos usos, composición química, principios activos y toxicología.	Flores & Lock, 2012	Semillas
A seed source of polyunsaturated fatty acids, tocopherols, phytosterols, phenolic compounds and antioxidant capacity	En este estudio se evaluaron los ácidos grasos, los fitoesteroles, los tocoferoles, los compuestos fenólicos, los carotenoides totales y las capacidades antioxidantes ORAC hidrofílicas y lipofílicas en 16 cultivares de semillas de Sacha inchi, con el objetivo de valorizarlos y ofrecer más información sobre sus propiedades. Se encontró un alto contenido de ácido graso α linolénico en todos los cultivares (12,8-16,0 g/100 g de semilla), seguido del ácido graso linoleico (12,4-14,1 g/100 g de semilla). La relación $\omega 6/\omega 3$ estaba dentro del rango 0,83-1,09. γ -tocopheroles (56,8–81,4 mg/100 g de semilla) y δ -tocopheroles (29,2–47,6 mg/100 g de semilla) fueron los tocoferoles más importantes, mientras que los fitosteroles más representativos fueron el β -sitosterol (45,2–50,8 mg/100 g semilla) y el estigmasterol (21,2–26,9 mg/100 g semilla). Los carotenoides totales oscilaron entre 0,07 y 0,09 mg de β -caroteno equivalente/100 g de semilla. Los contenidos de fenoles totales oscilaron entre 64,6 y 80 mg de ácido gálico equivalente/100 g de semilla, y las capacidades antioxidantes hidrofílicas entre 4,3 y 7,3 μ mol de Trolox equivalente/g de semilla y lipofílicas entre 1,0 y 2,8 μ mol de Trolox equivalente/g de semilla.	Chirinos et al., 2013	Semillas
Sacha inchi como fonte potencial de ácidos graxos essenciais e tocoferóis: Estudo multivariado da castanha e casca	Se investigó la composición de ácidos grasos, tocoferoles y factores nutricionales en la nuez y la cáscara de Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i>) mediante un análisis de datos multivariante. La nuez mostró un alto contenido en lípidos (48,5%), mientras que la cáscara mostró un bajo contenido (1,2%), aunque ambas partes de la planta tenían una composición de ácidos grasos similar. Se encontraron bajos contenidos de	de Souza et al., 2013	Semillas y cáscara

	ácidos grasos saturados en ambas partes, lo que indica efectos antiaterogénicos, antitrombogénicos e hipercolesterolémicos. El contenido de ácidos grasos n-3 en la nuez, fue de 438,7 mg/g del total de lípidos y en la cáscara 329,4 mg/g. El contenido total de tocoferoles en la semilla fue 8,99 mg/100 y en la cáscara 3,06 mg/100. Se destaca la gran cantidad de α-tocoferol presente en la cáscara (1,84 mg/100), ya que ésta se considera la principal responsable de la actividad metabólica de la vitamina E.		
Estudio de polifenoles, taninos y métodos químicos para determinar la actividad antioxidante de la semilla de Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L)	Se determinó la actividad de los compuestos fenólicos de las semillas de Sacha inchi (Aceite prensado en frío y torta) y su rol en el color, conservación, sabor de los alimentos y bebidas. se encontró mayor contenido de polifenoles totales, taninos totales, mayor poder reductor, mayor capacidad de inhibir peróxido de hidrógeno y mayor capacidad antioxidante (Ensayo ORAC, Ensayo de Peróxido de hidrogeno y Ensayo de poder reductor) en el extracto hidrofílico de la torta.	Muñoz Jáuregui, et al., 2013	Aceite y torta
Antioxidant and antiproliferative activities of leaf extracts from <i>Plukenetia volubilis</i> Linneo (Euphorbiaceae)	Se realizó un análisis químico y biológico de diferentes extractos de hojas de <i>P. volubilis</i> como el extracto acuoso (AEL), metanol (MEL), etanol (EEL), cloroformo (CEL) y hexano (HEL). El análisis por cromatografía en capa fina reveló la presencia de compuestos fenólicos, esteroides y/o terpenoides, el contenido total de compuestos fenólicos osciló entre 5,34 – 10,85 %. Además, se analizaron las actividades antioxidantes mediante ensayos in vitro y sus efectos sobre los linajes celulares mediante ensayos in vivo. La capacidad antioxidante total (TCA) se expresó como ácido ascórbico equivalente (EEA/g) y se observó que los extractos mostraron valores que oscilaban entre 59,31 y 97,76 EAA/g. Además, los valores del ensayo de DPPH oscilaron entre el 62,8% y el 88,3%.	Nascimento et al., 2013	Hojas
Análisis proximal, antinutrientes, perfil de ácidos grasos y de aminoácidos de semillas y	Se determinó la composición proximal, perfil de aminoácidos, perfil de ácidos grasos y el contenido de antinutrientes (saponinas y taninos) de las semillas y tortas de las especies <i>Plukenetia huayllabambana</i> y <i>Plukenetia volubilis</i>. Las semillas	Ruiz et al., 2013	Semillas y tortas

tortas de 2 especies de Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> y <i>Plukenetia huayllabambana</i>)	de <i>P. huayllabambana</i> , poseen mayor contenido de aceite (54,3 versus 49,0%), mientras que las de <i>P. volubilis</i> mostraron mayor contenido de proteínas (29,6 versus 24,5 %). Asimismo, el contenido proteico de la torta de <i>P. volubilis</i> es mayor que el de <i>P. huayllabambana</i> (59 y 46%, respectivamente). El contenido de aminoácidos esenciales de las semillas de ambas especies es el adecuado de acuerdo con lo recomendado por la FAO/OMS, a excepción de los aminoácidos lisina y leucina. Tanto en semillas como en tortas, la concentración de ácido linoleico (omega-6) es mayor en <i>P. volubilis</i> , mientras que el linolénico (omega-3) se encuentra en mayor proporción en <i>P. huayllabambana</i> .	Cisneros et al., 2014	Aceite
Chemical composition, oxidative stability and antioxidant capacity of oil extracted from roasted seeds of Sacha-inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.)	Se investigó el efecto del tostado de las semillas de Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) sobre la estabilidad oxidativa y la composición de su aceite. Las semillas se sometieron a intensidades de tostado ligero (75-81 °C × 9 min), medio (83-86 °C × 10 min) y alto (99-102 °C × 10 min). Las muestras de aceite se sometieron a un almacenamiento a alta temperatura, a 60 °C, durante 30 días y se evaluó su oxidación, su actividad antioxidante y su contenido de tocoferoles y ácidos grasos. El tostado aumentó parcialmente la oxidación del aceite y su capacidad antioxidante DPPH (sin tostar: 18,2 trolox equiv/g aceite, Tostado alto: 95,0 µg trolox equiv/g aceite) disminuyó ligeramente el contenido de γ-tocoferol (sin tostar 70,6 mg/100g aceite, tostado alto: 66,2 mg/100g aceite) y δ-tocoferol (sin tostar 12,6 mg/100g aceite, tostado alto: 12,3 mg/100g aceite), no afectó al perfil de ácidos grasos. Durante el almacenamiento, la oxidación aumentó para todas las muestras de aceite, pero a un ritmo más lento para los aceites de semillas tostadas, probablemente debido a su mayor capacidad antioxidante. Además, el contenido de tocoferol disminuyó significativamente, y una ligera modificación del perfil de ácidos grasos sugirió que el ácido α-linolénico se oxidó más fácilmente.		

Utilización de <i>plukenetia volubilis</i> (sacha inchi) para mejorar los componentes nutricionales de la hamburguesa	Se evaluaron tres niveles de sustitución de porcentaje en peso (10 %, 15 % y 20 %) de grasa de cerdo por pasta de Sacha inchi con el fin de mejorar la calidad nutricional de la hamburguesa común. Los resultados muestran a la variante de 10 % de pasta de Sacha inchi como la más recomendable para el uso a nivel industrial, en comparación con la muestra control, en la composición química, obtuvo un porcentaje de proteína mayor (20,86 %) y un porcentaje de grasa menor (12,91 %) con valores de Omega-3 de 16,82 %, de Omega-6 de 21,97% y de Omega-9 de 34,88%. La carga microbiológica, en cuanto a Mohos y Levaduras y Coliformes Totales, disminuyen con el empleo de Sacha inchi, lo cual ubica al producto dentro de las normas ecuatorianas (INEN), además obtuvo la mayor rentabilidad económica.	Baldeón Clavijo et al., 2015	Semillas
Composición química de la cáscara de sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i>) y alternativas para su aprovechamiento como subproducto agroindustrial	Se realizó el análisis de la composición química de la cáscara de Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i>) y se plantean alternativas para su uso en el sector agroindustrial. Se determinó el contenido en algunos minerales y metales pesados, a través del proceso de espectrometría de emisión óptica de plasma, que se acopló inductivamente (ICP- OES); La cáscara presentó una alta concentración de potasio (3736,2 mg/kg), calcio (2668,2 mg/kg) y magnesio (684,7 mg/kg), los metales pesados (Ba, Be, Bi, Cd, Cr, Pb, Ni, Sr, Tl) solo representan el 2,58 %. En relación con su composición proximal, está formada, principalmente por fibra (77,8 %).	Benítez, Coronel, Hurtado, & Martín, 2015	Cáscara
Comparison of the physico-chemical and phytochemical characteristics of the oil of two <i>Plukenetia</i> species	Este estudio presenta una caracterización fisicoquímica y fitoquímica del aceite de dos especies cercanas de <i>Plukenetia</i> (<i>p. volubilis</i> y <i>p. huayllabambana</i>) consideradas como fuentes ricas en ácidos grasos poliinsaturados, tocoferoles y fitoesteroles. <i>P. huayllabambana</i> presentó aproximadamente un 9% más de rendimiento de aceite que <i>P. volubilis</i> (44,1 vs 35,4% p/p, respectivamente). Los perfiles de ácidos grasos fueron bastante similares para ambas especies, pero, <i>P. huayllabambana</i> presentó un contenido de ácido α -linolénico significativamente	Chirinos et al., 2015	Aceite

Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> linneo): ¿Una experiencia ancestral desaprovechada? Evidencias clínicas asociadas a su consumo	mayor que <i>P. volubilis</i> (51,34 vs 45,61 g/100 g de aceite, respectivamente). En ambos aceites se evidenciaron contenidos importantes de γ-tocoferol (127,6 y 93,3 mg/100g de aceite, <i>P. volubilis</i> y <i>P. huayllabambana</i>, respectivamente) y δ-tocoferol (84,0 y 47,5 mg/100g de aceite, <i>P. volubilis</i> y <i>P. huayllabambana</i>, respectivamente). Para el caso de los fitoesteroles el β-sitosterol fue el más importante y representativo en ambos aceites (~127 mg/100 g de aceite).	Alayón & Echeverri J., 2016	Aceite
Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) shell: An alternative source of phenolic compounds and antioxidants	Este artículo presenta una revisión de la literatura publicada en relación con la inocuidad, aceptabilidad e impacto sobre la salud, del aceite de Sacha inchi. Se considera su semilla como una excelente fuente de ácidos grasos insaturados, fundamentalmente alfa linolénico (C18:3) y linoleico (C18:2), que representan aproximadamente 82% del contenido total del aceite, además, presenta un alto contenido de tocoferoles y antioxidantes, por lo tanto, su inclusión en la dieta habitual puede ser una estrategia encaminada a la prevención de enfermedades cardiovasculares en poblaciones de América Latina. El objetivo de este estudio fue caracterizar las principales familias fenólicas presentes en la cáscara de Sacha inchi y evaluar el mejor disolvente de extracción para la extracción de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante. El contenido de compuestos fenólicos correspondió a $74,5 \pm 5,1$ mg/g conformado principalmente por taninos condensados (93,1%) y el resto de los compuestos correspondieron a ácidos fenólicos libres y ligados, taninos hidrolizables, flavonoides y flavanoides. Además, se identificaron los ácidos protocatéquico y p-cumárico, también los derivados del ácido hidroxicinámico de tipo ferúlico y o-cumárico y los derivados de los lignanos. Los disolventes que contienen acetona favorecieron la extracción de mayores cantidades de compuestos fenólicos totales (13,7, 15,3 y 15,1mg GAE/g) y capacidad antioxidante (ensayos ABTS, FRAP y ORAC). Este estudio destaca el uso potencial de la	Chirinos et al., 2016	Cáscara

Perfil de proteínas de las semillas de "Sacha inchi" (<i>Plukenetia volubilis</i> L. y <i>Plukenetia huayllabambana</i> Busmann, Téllez & Glenn)	cáscara de Sacha inchi como una fuente novedosa y alternativa de antioxidantes de PC para las industrias nutracéuticas y/o de alimentos funcionales. El objetivo de esta investigación fue obtener y cuantificar el perfil de proteínas de las especies <i>Plukenetia volubilis</i> y <i>Plukenetia huayllabambana</i>. Las semillas fueron secadas, molidas y desgrasadas empleando el método de Folch (cloroformo: metanol 2:1), para luego realizar el fraccionamiento de las proteínas aplicando el método de Osborne: albúminas (Agua bidestilada), globulinas (NaCl 10,5 M), gliadinas (Etanol 70%) y glutelinas (NaOH 0,1 M). La cuantificación de proteínas totales fue por el método de Kjeldahl y las proteínas solubles por el método de Gornall (Biuret), siendo las fracciones separadas por SDS-PAGE 15%. Los resultados demuestran que el contenido de proteínas totales en <i>P. volubilis</i> es mayor que <i>P. huayllabambana</i> (30,67 % vs. 27,91 %), sin embargo, en ésta última el contenido de grasas es mayor (52,11 % vs. 45,49 %). La fracción proteica mayoritaria para <i>P. volubilis</i> fueron las globulinas y para <i>P. huayllabambana</i> fueron las albúminas.	López, K., et al., 2016	Semillas
Chemical properties and nutritional factors of pressed-cake from tea and Sacha inchi seeds	Se realizó un estudio comparativo de la tarta prensada de semillas de té y de Sacha inchi. La torta de Sacha inchi contenían la mayor cantidad de proteínas (62,07%) y la de té la mayor cantidad de carbohidratos (82,68%). La lisina, la leucina, la histidina y la fenilalanina eran los principales aminoácidos esenciales. En el aceite residual tras la extracción se encontraron altas cantidades de grasas insaturadas con varios ácidos grasos omega, para el caso del Sacha inchi, 2656,13±0,33 mg/100 g de omega 3, 2439,64±13,01 mg/100 g de omega 6 y 552,61±0,22 mg/100 g de omega 9. Ambas semillas son también buenas fuentes de contenido mineral (potasio, fósforo, calcio y magnesio). Los perfiles de SDS-PAGE mostraron que las principales proteínas tenían MWs de 35-63 y 11-20 kDa para las semillas de Sacha inchi y de té, respectivamente, y contenían una	Rawdkuen et al., 2016	Torta

Optimized Methodology for Alkaline and Enzyme-Assisted Extraction of Protein from Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i>) Kernel Cake	glicoproteína con un MW de 35 kDa. El análisis fitoquímico mostró que ambas tortas prensadas son buenas fuentes de compuestos bioactivos con alta actividad antioxidante. Sin embargo, se encontraron antinutrientes y compuestos tóxicos. Se optimizaron los parámetros de extracción de proteínas de harina de torta de Sacha inchi desgrasada, utilizando extracciones alcalinas y asistidas por enzimas (Alcalase 2.4L). Se utilizó un Diseño Central Compuesto (CCD) para optimizar el rendimiento de proteína para ambos métodos. Los modelos de superficie de respuesta (RSM) obtenidos produjeron un ajuste satisfactorio de los resultados para ambos métodos de extracción ($R^2 = 0,9609-0,9761$). Para el método de extracción alcalina, las condiciones óptimas de extracción de proteína correspondieron a 54,2 °C, relación disolvente/harina 42/1 (v/p), concentración de NaCl de 1,65 M, pH 9,5 durante 30 min y se obtuvo un 29,7% de proteína. Para el método asistido por enzimas, las condiciones óptimas de extracción correspondieron a una concentración de enzimas del 5,6%, 40,4 min de extracción, relación disolvente/harina 50/1 (v/p), pH 9,0 y 50°C y se obtuvo un 44,7% de proteínas y un grado de hidrólisis del 7,8%.	Chirinos et al., 2017	Torta
Development of edible films from proteins extracted from inka peanut kernel cake (<i>Plukenetia volubilis</i> L.)	Se utilizaron las proteínas extraídas de la torta de Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) para elaborar películas. Se usaron soluciones alcalinas a diferentes valores de pH y precipitación ácida para determinar la máxima extracción de proteína. Las soluciones formadoras de películas, compuestas de proteínas liofilizadas, sorbitol y agua, fueron tratadas térmicamente y secadas. El rendimiento proteico fue máximo a pH 12 con una recuperación de $72,2 \pm 1,43$ % de proteínas. Tanto la concentración de proteína y sorbitol tuvieron efectos significativos sobre las propiedades físicas de las películas, como lo son la solubilidad (27,66 – 48,83%), permeabilidad al vapor de agua ($2,178 - 3,383 \times 10^{-10}$ g/m s Pa), espesor ($118 \pm 16,12$ µm) y humedad ($9,23 \pm 1,81\%$). Se estableció una combinación	González et al., 2017	Torta

Estudio comparativo de las características fisicoquímicas del aceite de Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.), aceite de oliva (<i>Olea europaea</i>) y aceite crudo de pescado	adecuada de proteína y sorbitol para obtener películas de baja solubilidad y permeabilidad (entre 0,15 y 0,20 g de plastificante/g de proteína). Estos resultados demostraron que es posible utilizar las proteínas del Sacha inchi como material formador de películas biodegradables/comestibles. Se determinó y comparó las características fisicoquímicas de tres aceites a fin de establecer cuál es el mejor para el uso alimentario (el aceite de Sacha inchi (ASI), oliva (AO), aceite crudo de pescado (ACP). El Índice de acidez, índice de refracción y densidad relativa se determinó por métodos oficiales AOAC, y el tiempo de vida útil por el método Rancimat, a tres temperaturas (100 °C; 120 °C y 150 °C), extrapolando los resultados a 25 °C. Los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica indican que estos aceites son significativamente diferentes. Para ASI, AO y ACP los índices de acidez en % de ácido oleico fueron de 1,08, 1,14 y 1,561 respectivamente. Los índices de refracción (20°C) fueron 1,475, 1,469 y 1,481 respectivamente, la densidad relativa fue 0,9283, 0,9152 y 0,9308 para ASI, respectivamente. La vida útil para ASI, AO y ACP fue de 93, 137 y 2 días respectivamente. En cuanto a los ácidos grasos, ASI presentó el más alto contenido de ácido linoleico (50,64%) y de ácidos grasos poliinsaturados (62,33%). La composición de ácidos grasos tanto en los aceites de origen vegetal y marino además de su vida útil, imparte gran importancia desde el punto de vista nutricional, ya que están contenidos significativamente en los aceites estudiados. Los resultados indican la importancia de este tipo de aceites en la alimentación humana.	Paucar-Menacho et al., 2017	Aceite
Effect of Thermal Processing on Phenolic Content, Tocopherols and Antioxidant Activity of Sacha inchi Kernels	Se investigaron granos de Sacha inchi crudos, recubiertos con miel y procesados para determinar los efectos de diferentes procesos térmicos en el contenido de contenido fenólico total (TPC), la capacidad de eliminación de radicales (método DPPH), el contenido de α-tocoferol, $\beta + \gamma$-tocoferol, δ-tocoferol. Los	Štěrbová et al., 2017	Semillas

	granos se sometieron a ebullición abierta, ebullición a presión, cocción al baño maría, tostado a baja temperatura, tostado a alta temperatura y tostado con miel. La capacidad de eliminación de radicales de las semillas se vio poco afectada por el tratamiento térmico, con una pérdida media del 8%. El tostado tuvo un efecto negativo significativo en el contenido de tocoferoles, pero no en el contenido fenólico total. El tostado a 190°C durante 35 minutos y el tostado con miel a 170°C durante 30 minutos (granos crudos: $16,7 \pm 2,7$ mg/100 g GAE, Granos con tostado de miel: 102,7 mg/100 g GAE) de las almendras de Sacha inchi produjo un aumento del TPC. El procedimiento térmico apropiado y el tiempo adecuado pueden influir significativamente en la calidad de las almendras de Sacha inchi durante la preparación de los alimentos.		
Supercritical CO ₂ extraction of oil and omega-3 concentrate from Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) from Antioquia, Colombia	Se realizó extracción del aceite de semillas de Sacha inchi con CO₂ supercrítico a escala de laboratorio, a 60 °C, entre 400–500 bares de presión y un flujo de CO₂ entre 40–80 g/min, obteniéndose una recuperación máxima del 58% en 180 min favorecida por el aumento en el tiempo de residencia del CO₂ en el tanque de extracción. Posteriormente, se evaluó el proceso a escala piloto, alcanzando una recuperación máxima del 60% en 105 min de extracción, a una temperatura de 60 °C, presión de 450 bares y flujo de CO₂ de 1270 g/min, sin afectar la composición de los ácidos grasos del aceite durante un periodo de extracción entre 30–120 min. El aceite de Sacha inchi fue fraccionado con CO₂ supercrítico para la obtención de un aceite concentrado de omega-3, sin encontrar aumento considerable en la proporción de este compuesto debido al estrecho rango en el número de carbonos (16–18 carbonos) de los ácidos grasos presentes en el aceite, lo que dificulta su separación selectiva.	Triana-Maldonado, Torijano-Gutiérrez, & Giraldo-Estrada, 2017	Semilla
Obtención de una bebida nutritiva a partir de las	Se elaboró una bebida nutritiva a partir de las semillas de sachá inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) como una alternativa a la leche de origen animal. Los parámetros evaluados fueron: I) la	Valles Ramírez, et al., 2017	Semilla

semillas de Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.)	temperatura y el tiempo de pre tostado para eliminar la astringencia y II) la relación (p/v) almendra: agua. Se realizó un análisis proximal de las almendras (semillas descascaradas) y la bebida nutritiva, y un perfil de ácidos grasos de la bebida nutritiva. El mejor tratamiento de pre-tostado de las semillas fue 60 °C durante 6 minutos, y la relación de almendra: agua más adecuada fue de 1:3. La bebida nutritiva de Sacha inchi obtenida presentó 11,6 % de sólidos totales, 3,3 % de proteína, 7,13 % de grasa y altos niveles de ácidos grasos esenciales (30,9 % de ácido linoleico y 42,19 % de ácido linolénico).		
Formulación de una colada empleando harina de Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) proveniente del proceso de obtención de aceite	El objetivo de esta investigación fue evaluar formulaciones en la elaboración de una colada, con harina de Sacha inchi producida a partir de la torta residual de la extracción del aceite (HTSI). Esta harina se incorporó en la formulación de una colada, sustituyendo el almidón de maíz al 0 %, 25 % y 50 %. Las formulaciones fueron evaluadas fisicoquímica, microbiológica, reológica y sensorialmente con panelistas mayores de 45 años. Según la Resolución 333 de 2011, se puede considerar que esta harina de torta residual es buena fuente de proteína, calcio y ácidos grasos omega 3. Las formulaciones de colada presentaron buena calidad microbiológica y fueron aceptadas sensorialmente. La formulación con sustitución del 50 % de almidón de maíz por HTSI fue un líquido que aportó 2,3 % menos energía, 16,3 % menos carbohidratos, 1,4 % más grasa y 90,7 % más proteína que una porción del producto tradicional.	Vásquez, Hincapié, et al., 2017	Torta
Desarrollo de galletas empleando harina de sachá inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) obtenida de la torta residual	Se desarrollaron galletas de mantequilla con coco, empleando harina de Sacha inchi obtenida a partir de la torta residual. Se caracterizó fisicoquímicamente la torta, la harina y las galletas y se determina el punto isoelectrico (pI) de la proteína. Se desarrollan cuatro formulaciones; con sustitución porcentual de harina de trigo por harina de Sacha inchi; 0%, 50 %,75 % y 100 %, se evalúa por panel no entrenado la calidad sensorial. La torta contiene; 6,8 % humedad, 17,4 % grasa, 4,5 % fibra, 5,4 %	Vásquez, Jaramillo, Hincapié, & Vélez, 2017	Torta

Chemical Characterization Sacha Inchi (<i>Plukenetia Volubilis</i>) Seed: Oleaginous Promising From the Colombian Amazon	cenizas, 50,2 % proteína y 15,9 % carbohidratos; la pI es 5,0. La harina contiene 5,7 % humedad, 4,2 % grasa, 4,1 % fibra, 6,0 % cenizas, 64,1 % proteína y 16,4 % carbohidratos. La galleta con mejor aceptación es la de 50 % de harina de Sacha inchi, presenta 28,8 % grasa, 18,3 % proteína y 48,7 % carbohidratos frente al control (26,9 % grasa, 8,9 % proteína y 61 % carbohidratos). La harina de Sacha inchi, es una alternativa en la industria alimentaria para incrementar el valor nutricional de las formulaciones en cuanto al porcentaje de proteína y contribuye a la cadena agroindustrial, gracias al aprovechamiento del subproducto resultante de la extracción de aceite. Se realizó la caracterización física y química de la almendra de la semilla de Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i>) de la torta y del aceite de Sacha inchi, cultivado en el Valle del Guamuez, Departamento del Putumayo, Colombia. La almendra entera tiene un alto contenido de aceite (42,7523%), la torta proteínas (51,23%) y aminoácidos esenciales, excepto lisina y triptófano. El aceite posee un alto grado de insaturación, rico en ácidos grasos esenciales α-linolénico (47,7%) y linoleico (35,3 %), también contiene caroteno (0,153 mg/100g) y vitamina E (α-tocoferol (84 mg/100g). Además, se midieron las propiedades físicas de densidad, índice de refracción, viscosidad, índice de yodo y saponificación del aceite de Sacha inchi.	Benítez et al., 2018 Semilla y torta
Characterization of Sacha inchi protein hydrolysates produced by crude papain and Calotropis proteases	Se caracterizó el concentrado proteico (PC) y sus hidrolizados (PH) hidrolizados por papaína cruda y proteasas de Calotropis. Las composiciones proximales de Sacha inchi utilizadas en este estudio incluyeron proteína 459, carbohidrato 361, grasa 67, ceniza 59, fibra cruda 58 y humedad 53 g/kg (bh). El concentrado proteico hidrolizado por la papaína cruda y las proteasas de Calotropis tuvieron un grado de hidrólisis de 2,7% y 11,2%, respectivamente. El hidrolizado por la papaína cruda contenía una mayor cantidad de aminoácidos esenciales (474 g/kg) que el de proteasas de Calotropis (410 g/kg). El patrón proteico del	Rawdkuen et al., 2018 Torta

Sacha inchi seeds from sub-tropical cultivation: effects of roasting on antinutrients, antioxidant capacity and oxidative stability	concentrado proteico y PHs se determinó por SDS-PAGE, y los pesos moleculares fueron claramente observables entre <8 y 57 kDa. Las propiedades antioxidantes, como la eliminación del DPPH y el FRAP, mostraron un aumento del PH al aumentar el grado de hidrólisis. Los hidrolizados de proteína de Sacha inchi pueden producirse de forma rentable utilizando extractos enzimáticos crudos. Se evaluó el efecto del calentamiento en seco (tostado) sobre el contenido de antinutrientes, la actividad antioxidante y la composición proximal de las semillas de Sacha inchi, además, la estabilidad oxidativa del aceite. A excepción de las saponinas, que no son compuestos termolábiles, los contenidos de todos los antinutrientes evaluados (Taninos, Ácido fítico, Hemaglutinación, Actividad inhibidora de tripsina) se redujeron continuamente con el aumento de la temperatura de tostado. El tostado no afectó significativamente los contenidos de fibra, ceniza, proteína y grasa. El tostado mejoró la actividad antioxidante (ensayo DPPH, ABTS Y ORAC) y el contenido fenólico de las semillas a la temperatura más alta (160°C). Los cambios de oxidación ocurrieron en el aceite y aumentaron con la temperatura de tostado. Sin embargo, el valor máximo de peróxido estuvo dentro de los límites de consumo ($6,89 \pm 0,0$ meq O₂/kg oil). Como conclusión, se pueden aplicar tratamientos de tostado para minimizar el potencial antinutriente en las semillas de Sacha inchi.	Bueno-Borges et al., 2018	Semillas y aceite
Storage evaluation of a functional food with skimmed milk enriched with fatty acids of Sacha Inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.)	El objetivo de este estudio fue obtener una leche semidesnatada enriquecida con aceite de Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.), con aceptabilidad sensorial y un envase de almacenamiento adecuado. Las materias primas utilizadas fueron: leche semidescremada fresca de vaca criolla y aceite de Sacha inchi virgen. El contenido de ácidos grasos poliinsaturados aumentó de 2,8% a 3,0; 3,2% y 3,4% según el tratamiento. Se evaluaron	García, P., et al., 2018	Aceite

	las propiedades microbiológicas sensoriales de la leche semidesnatada durante su periodo de almacenamiento de 30 días. El material de envasado utilizado fue el contenedor de polietileno de alta densidad y el contenedor de vidrio. La mejor formulación para la leche semidesnatada fue la correspondiente al 3% de ácidos grasos almacenada en recipiente de vidrio, que obtuvo valores de: Sabor 2,2; Color 2,1; Textura 2,2 y Aspecto 2,2 sobre un máximo de 5,0 unidades. Se concluye que la producción de leche semidesnatada enriquecida con ácidos grasos de Sacha inchi es factible		
Screw press extraction of Sacha inchi seeds: Oil yield and its chemical composition and antioxidant properties	Se estudiaron los efectos de los parámetros operativos, como la temperatura de secado (60, 75, 90 °C) y la temperatura del cabezal de prensado (60, 75, 90 °C), sobre el rendimiento de aceite de las semillas de Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.), utilizando una máquina de prensado de un solo tornillo. Las muestras de Sacha inchi sin secar dieron un alto rendimiento de aceite en comparación con las muestras secas para todas las temperaturas de la cabeza de la prensa. Estos aceites de Sacha inchi contenían un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, principalmente ácidos α-linolénicos (entre $34,4 \pm 1,35$ y $37,34 \pm 0,03$ %) y linoleicos (entre $35,29 \pm 1,40$ y $41,25 \pm 0,00$ %). El contenido total de compuestos fenólicos en estos aceites oscila entre 30,46 y 120,32 mg GAE/100g de aceite, el valor DPPH IC₅₀ de 317,33 a 663,54 mg/mL, y el valor ABTS IC₅₀ de 215,48 a 301,75 mg/mL. Además, estas muestras de aceite tienen valores de peróxido (1,94-2,27 meq O₂/kg de aceite), yodo (102,66-104,05 g I₂/100g de aceite), saponificación (182,18-195,11 mg KOH/g de aceite) y ácido (1,94-5,90 mg KOH/g de aceite), así como los porcentajes de ácidos grasos libres (0,97-2,97%).	Muangrat et al., 2018	Aceite

Bread leaf enriched with extruded cake from Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.): Chemistry, rheology, texture, and acceptability	Se estudió la sustitución parcial de harina de trigo por torta extruida de Sacha inchi para la elaboración de pan de molde. Evaluándose principalmente la composición química, propiedades reológicas, perfil de ácidos grasos, textura de la miga, color y evaluación sensorial. La incorporación de la torta extruida en las formulaciones incrementó significativamente ($p < 0,05$) los niveles de cenizas, fibra, grasas y proteínas, asimismo disminuyó el contenido de carbohidratos. Las mejores propiedades reológicas de farinografía, amilografía y extensografía fueron obtenidas con la incorporación de 6,3 % de torta extruida de Sacha inchi ($p < 0,05$), donde se destaca una retención de 3,33 % de ácido α -linolénico (ω -3), aumento de textura (61,39 mJ) y obscurecimiento en la miga ($L^* = 73,13$, $C^* = 16,35$, $h^\circ = 86,70$). Finalmente, la evaluación sensorial revela que no existe diferencia significativa entre el control y la incorporación de 6,3% de torta extruida de Sacha inchi, en los panes de molde para los atributos de color, apariencia, aroma, sabor y textura ($p < 0,05$).	Rodríguez, Avellaneda, Pardo, Villanueva, & Aguirre, 2018	Torta
Safety assessment of <i>Plukenetia volubilis</i> (Inca peanut) seeds, leaves, and their products	Se investigó las fitotoxinas naturales, incluidas las saponinas, los alcaloides totales y las lectinas en las semillas y hojas frescas y tostadas del maní inca. Además, se estudió la citotoxicidad en varios tipos de células normales, así como las propiedades mutagénicas in vivo. Este estudio demostró que las semillas y las hojas frescas, contienen saponinas (27 ± 4 y 301 ± 14 mg/kg bh, respectivamente), alcaloides (485 ± 35 y 146 ± 7 mg/kg bh, respectivamente) y lectinas ($0,22 \pm 0,03$ y $0,20 \pm 0,01$ ng/g bh, respectivamente). Sin embargo, el tostado permite reducir los alcaloides (Semillas: 20 ± 0 y Hojas: 20 ± 4 , mg/kg bh), las saponinas (Semillas: 5 ± 0 y Hojas: 2 ± 0 , mg/kg bh), y posiblemente las lectinas (Semillas: $0,15 \pm 0,02$ y Hojas: $0,15 \pm 0,06$, ng/g bh). Además, las semillas y hojas de maní inca, especialmente después del tostado, son seguras para una variedad de líneas celulares normales y no inducen mutaciones	Srichamnong et al., 2018	Hojas

Physicochemical and sensory properties of yogurts containing Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) seeds and β -glucans from <i>Ganoderma lucidum</i>	del ADN en <i>Drosophila</i> que expresa el sistema de alta biotransformación. En conclusión, debe evitarse el consumo elevado y crónico de semillas y hojas frescas. Debe aplicarse un tratamiento térmico antes del consumo de su consumo, para reducir las fitotoxinas y los posibles riesgos para la salud. Se investigaron las propiedades fisicoquímicas y la aceptación sensorial de los yogures enriquecidos con semillas de Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i>) (SIS) y β-glucanos de <i>Ganoderma lucidum</i> (BGGL). Se produjeron yogures a partir de leche desnatada en polvo reconstituida, y se añadieron SIS (4% en peso) y BGGL en diferentes concentraciones (0-1,5% en peso). La cinética de fermentación no se vio afectada por el proceso de enriquecimiento. La adición de SIS y BGGL aumentó significativamente el contenido de proteínas, grasas, carbohidratos, cenizas, sólidos totales, ácido aspártico, serina, arginina, glicina, treonina, tirosina y alanina. Los ácidos α-linolénico (49,3%) y linoleico (32,2%) fueron los principales ácidos grasos encontrados en las muestras enriquecidas (aproximadamente 50 y 25 veces superiores a los del yogur de control). Los parámetros de textura (firmeza, consistencia, cohesión e índice de viscosidad) de los yogures enriquecidos fueron significativamente inferiores a los de las muestras de control durante todo el periodo de almacenamiento. Todos los yogures enriquecidos mostraron una aceptación sensorial superior al 70% por parte de los panelistas no entrenados. Estos resultados indican que el SIS y el BGGL podrían utilizarse como ingredientes naturales para mejorar el valor nutricional del yogur y las leches fermentadas.	Vanegas-Azuero & Gutiérrez, 2018	Semillas
Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.): Nutritional composition, biological activity, and uses	Esta es una revisión sobre la composición química y la actividad biológica de diferentes partes (semilla y hoja) de Sacha inchi. Se resumen las características fisicoquímicas, la estabilidad oxidativa y los aspectos sensoriales del aceite de Sacha inchi. También se revisan los usos alimentarios y no alimentarios de la	Wang et al., 2018	Semilla, hoja y aceite

Composición nutricional y capacidad antioxidante de tres especies de Sacha inchi <i>Plukenetia spp.</i> de la amazonía peruana	planta. Esta revisión proporciona una base científica para el desarrollo del Sacha inchi como planta económica sostenible para la nutrición humana, la salud y el uso cosmético. Se evaluó y se comparó la composición química y actividad antioxidante de tres especies de semillas de sachá inchi (<i>Plukenetia volubilis</i>, <i>Plukenetia carolis-vegae</i> y <i>Plukenetia huayllabambana</i>). Se realizaron los análisis de composición proximal, análisis de micro y macronutrientes, propiedades fisicoquímicas y composición de ácidos grasos de los aceites, y la evaluación de la actividad antioxidante mediante los métodos de DPPH y ABTS. Para <i>P. volubilis</i> el contenido de aceite fue de 34,23%, compuesto principalmente por linolénico omega-3 (48,32%), dentro de los minerales predominó el calcio (237,92 mg/100g), en cuanto a la actividad antioxidante, se obtuvo para DPPH 2,00 $\mu\text{mol TE/g}$ y para ABTS 2,90 $\mu\text{mol TE/g}$, el contenido de fenoles totales de 2,98 mg AG/100g.	Arévalo et al., 2019	Semilla
Efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo por torta de sachá inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) en las propiedades reológicas de la masa de pan dulce	Se evaluó el efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo (HT) por torta de Sacha inchi (TSI) sobre las propiedades reológicas de una masa de pan dulce y de las propiedades sensoriales de los bizcochos obtenidos. Se realizaron tres tratamientos y un control (100%HT; 90%HT/10%TSI, 80%HT/20%TSI y 70%HT/30%TSI). Los resultados mostraron un mejor comportamiento en la mezcla 90% HT/10%TSI, con el consistógrafo se observó una hidratación equivalente de 52,55% y presión máxima de 2132mb, con el alveógrafo la relación P/L fue de 1,39 para un buen comportamiento panadero, la tenacidad fue de 94 mm, la extensibilidad fue de 253 mm y la fuerza 253×10^{-4} J, valores que corresponden a una mezcla con características panaderas, siendo este el porcentaje óptimo de sustitución. Respecto al control, en la evaluación sensorial descriptiva para esta muestra (90% HT/10%) el aspecto externo presentó menor volumen y corteza con color más intenso, aroma a Sacha inchi y en para la parte externa, la miga color beige	Aylas, Pingus, & Alva, 2019	Torta

Diversity in seed storage protein profile of oilseed crop <i>Plukenetia volubilis</i> L. from Peruvian Amazon	intenso y más compacto, sabor dulce y textura suave, en general tuvo buena aceptabilidad. La composición proximal (humedad, cenizas, proteína, grasa, fibra y carbohidratos) también fue mejor. Se caracterizó las proteínas de las semillas de <i>P. volubilis</i> y se comparó su perfil proteómico entre diferentes poblaciones de <i>P. volubilis</i>. El contenido de proteína bruta en las semillas se detectó en un nivel medio del 22,56% con la mayor proporción de albúminas y globulinas (16,37%), seguidas de glutelinas (5,87%) y un contenido muy bajo de prolaminas (0,33%). Las proteínas se concentraban en el rango de 8-75 kDa. Las bandas de proteínas del gel y las manchas de interés se extirparon, se digirieron con tripsina y se analizaron mediante cromatografía de nanolíquidos/espectrometría de masas en tándem (nLC-MS/MS). Se trata de la primera identificación directa de estas proteínas en semillas reales de Sacha inchi. Se detectaron tres proteínas (Oleosina 2, Oleosina 3 y factor de elongación 1-alfa) directamente de <i>P. volubilis</i> y péptidos con una secuencia idéntica a 56 proteínas de la familia Euphorbiaceae. Esta caracterización de las proteínas de almacenamiento de las semillas, su variabilidad dentro de las poblaciones y la identificación de proteínas importantes proporcionan una base para futuras investigaciones para la industria alimentaria y la bioingeniería.	Čepková, P. H., et al., 2019	Semillas
Nutritional composition of Sacha inchi (<i>Plukenetia Volubilis</i> L.) as affected by different cooking methods	Este estudio tuvo por objetivo determinar el efecto del método de cocción (tostado en sartén a 160°C-6 min, hervido con 1 litro de agua a 100°C-13 min.) sobre la composición de ácidos grasos, contenido mineral y propiedades fisicoquímicas de Sacha inchi. El análisis mostró que el tostado aumentó significativamente ($p < .05$) la mayoría de los contenidos minerales del Sacha inchi, mientras que disminuyó su contenido de potasio y sodio. El contenido de ácidos grasos insaturados se vio afectado de manera similar. Tostar aumentó	Kim & Joo, 2019	Aceite

Quality, stability, carotenoids and chromatic parameters of commercial Sacha inchi oil originating from Peruvian cultivars	significativamente ($p < .05$) la omega 3, 6 y 9 del Sacha inchi, pero, hervir disminuyó significativamente ($p < .05$) sus ácidos grasos insaturados. Estos resultados muestran que el tostado a 160 °C durante 6 minutos es un método de procesamiento superior de Sacha inchi para la producción y resalta por qué es importante realizar correctamente el proceso de cocción para evitar la pérdida de valor nutricional y el empeoramiento de las propiedades fisicoquímicas. Se evaluaron tres parámetros de calidad, la estabilidad, los parámetros cromáticos y los carotenoides totales de los aceites comerciales obtenidos de las semillas de Sacha inchi. La acidez libre y el valor de peróxido de todas las muestras estudiadas estuvieron en los rangos de 0,16-1,86 (% de ácido α-linolénico) y 1,87-17,47 (meq O₂/kg), respectivamente. Mientras que el valor K232 de las muestras osciló entre 1,96 y 2,29, el valor K270 estuvo entre 0,08 y 0,20 y el ΔK en el rango de - 0,005 a 0,005. En cuanto al color, los aceites de Sacha inchi mostraron valores altos de hab y bajos de C*ab, y los valores de L* fueron de 91 a casi 100 unidades. Las muestras se situaron en el segundo cuadrante del diagrama de color CIELAB a*b*. Estas características corresponden a colores amarillo claro poco vivos. El contenido en carotenoides de los aceites de Sacha inchi fue de 0,31-9,10 mg/kg. La estabilidad oxidativa mediante Rancimat (100 °C, 20 L/h de caudal de aire) de estos aceites presentó un valor medio de 5,6 h. Los coeficientes de Pearson indican un coeficiente de correlación muy alto entre los valores de Car (carotenoide) frente a b* (área amarilla) ($r = 0,991$).	Ramos-Escudero, González-Miret, Viñas-Ospino, & Ramos Escudero, 2019 Aceite
Characterization of commercial Sacha inchi oil according to its composition: tocopherols, fatty acids, sterols,	Este estudio aborda la caracterización y cuantificación de ácidos grasos, tocoferoles, esteroides y alcoholes de aceites comerciales de Sacha inchi del Perú. Los resultados mostraron que algunos de los aceites comercializados presentan altos niveles de γ-tocopherol (el valor máximo fue 1878,52 mg/kg) y δ-tocopherol (el valor máximo fue 1387,29 mg/kg) mientras que otras muestras	Ramos-Escudero, Muñoz, et al., 2019 Aceite

triterpene and aliphatic alcohols	tenían composiciones de ácidos grasos variables; especialmente en los ácidos α -linolénico, linoleico, oleico y palmítico. Se identificaron catorce esteroides y once alcoholes (β -sitosterol, estigmasterol, campesterol, Δ^5 -avenasterol, alcohol triterpénico, isómero 1 del lanosterol y cicloartenol) como componentes principales. Algunas muestras presentaban las siguientes proporciones: La relación δ -tocoferol/ γ -tocoferol fue de 0,33-0,81, la relación ω -6/ ω -3 fue de 0,77 y una relación estigmasterol/campesterol de 3,13. El ANOVA encontró diferencias significativas entre los grupos para el ácido palmítico, el ácido oleico, el γ -tocoferol, el δ -tocoferol, el campesterol y el estigmasterol; estos compuestos podrían utilizarse como marcadores de autenticidad en los aceites comerciales de Sacha inchi.		
Caracterización del aceite de la semilla de Sacha Inchi (<i>Plukenetia volubilis</i>) del cantón San Vicente, Manabí, Ecuador, obtenida mediante procesos no térmicos de extrusión	El objetivo de este estudio es extraer el aceite de SI por un prensado en frío (temperatura ambiente). Inicialmente, con la finalidad de establecer las características fisicoquímicas de la semilla se realizaron análisis de humedad, fibra, ceniza, grasa y proteína. Una vez extraído el aceite se calculó los rendimientos (26,92 %) y se realizaron análisis del aceite, los resultados se compararon con análisis realizados al aceite de la misma especie, pero de diferentes zonas de cultivo del Perú, aceite de pescado y oliva los cuales se conocen por su alto contenido de ácidos grasos. El índice de acidez fue de $0,38 \pm 0,02$ mg KOH/g, la densidad relativa 0,91, índice de yodo $192,5 \pm 0,7$, índice de peróxido $5,81 \pm 0,5$ meq O ₂ /kg y en el perfil de ácidos grasos se obtuvo 73,51% de ácidos grasos poliinsaturados (10,75% oliva y 42,42% pescado). El aceite de Sacha Inchi presenta un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, el método de extracción influye en la calidad del producto.	Romero, Valdiviezo, & Bermeo, 2019	Aceite
Sacha inchi oil (<i>Plukenetia volubilis</i>) stabilized with	El aceite de Sacha Inchi se fortificó con dos antioxidantes comerciales (Ecoprol 2020 y tocoferol) para preparar un queso fresco de leche de vaca. Las capacidades antioxidantes del Sacha	Castro, J. P., et al., 2020	Aceite

antioxidants for addition in fresh cheese	Inchi y de los antioxidantes comerciales se utilizaron como conservantes para aumentar la vida útil del queso fresco además de su contenido nutricional. El método factorial fue necesario para preparar siete formulaciones con el fin de encontrar la concentración óptima de los antioxidantes añadidos al aceite de Sacha inchi y la adición de este aceite al queso fresco. La formulación de aceite (F4) con tocoferol (150 mg/kg de aceite) y Ecoprol 2020 (1000 mg/kg de aceite) mostraba los menores valores de peróxido (PI: $2,6 \pm 0,1$ meq O₂/kg de aceite, $p < 0,001$) y era capaz de reducir aproximadamente el 50% de la oxidación de los ácidos grasos en el aceite de Sacha inchi en relación con el control. F4 se utilizó para elaborar otras nueve formulaciones (F'1 - F'9), enriquecidas con aceite de Sacha inchi (1 a 4%) para preparar el queso fresco. Se realizaron análisis microbiológicos para todas las formulaciones, para cumplir con los requisitos legales de salud y seguridad en Perú. La aceptabilidad gustativa se determinó mediante la evaluación sensorial, que alcanzó 7,2 según la escala hedónica de 9 para F'5. Así, se obtuvo un queso fresco óptimo a partir de la formulación (F'5) con 22,5g/L de sal y 2,5% de aceite de Sacha inchi enriquecido con 150 mg/kg de tocoferol y 1000 mg/kg de Ecoprol 2020. se evaluó la vida útil del queso, aumentándola de 7 a 16 días en refrigeración.	Garcia, W., et al., 2020	Torta
Aprovechamiento de subproductos de la extracción de aceite de Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) y Castaña (<i>Bertholletia excelsa</i>) en la formulación de una bebida nutricional instantánea	Se utilizó las tortas de Sacha inchi y castaña, obtenidas como subproducto de la extracción de aceite, en la formulación de un prototipo de bebida nutricional instantánea. Para ello, ambas tortas fueron sometidas previamente a un proceso de extrusión en condiciones controladas, para mejorar la digestibilidad y solubilidad de las harinas resultantes. Posteriormente, se desarrollaron 04 formulaciones con diferentes proporciones de las harinas extruidas, cacao en polvo y goma guar, y se sometieron a pruebas fisicoquímicas, nutricionales y sensoriales para determinar la formulación con alto valor proteico, adecuada solubilidad y con buena aceptabilidad. Se eligió el “tratamiento		

	A" compuesto por harina extruida de la torta de Sacha inchi (29,70 %), cacao en polvo (25,45 %), harina extruida de la torta de Castaña (43,33 %) y goma guar (1,52 %), alcanzando una buena aceptabilidad general, un alto contenido proteico (47,99 %) y adecuada solubilidad ($16,36 \pm 0,09$ %). El análisis comparativo indica que esta bebida presenta un contenido de proteína superior a lo encontrado en algunos productos comerciales.		
Obtention, yields, chemical-microbiological properties and amino acids profile in a flour from Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.)	Se analizaron semillas de Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) de Colombia para determinar su composición química. Las semillas presentan un alto contenido de aceite (41,4%) y proteína (24,7%). Los principales minerales fueron potasio (5563,5 ppm), magnesio (3210 ppm) y calcio (2406 ppm). Los principales ácidos grasos en el aceite fueron α-linolénico (50,8%) y linoleico (33,4%). El fraccionamiento del aceite, realizado por extracción en fase sólida, produjo principalmente lípidos neutros (97,2%), y bajas cantidades de ácidos grasos libres (1,2%) y fosfolípidos (0,8%), en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas, el índice de saponificación 185,2; índice de yodo 193,1; densidad 0,9187 g/cm³, índice de refracción 1,4791 y viscosidad 35,4 mPa.s. Los resultados indican que el Sacha inchi es una importante nueva especie con aplicaciones en las industrias de alimentos y farmacéutica.	Mora et al., 2020	Semilla y aceite
Aqueous enzymatic extraction of polyunsaturated fatty acid-rich sachá inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) seed oil: An eco-friendly approach	Este estudio desarrolló un proceso de extracción enzimática acuosa para la extracción ecológica del aceite de semillas de Sacha inchi. Se evaluaron las actividades de diferentes enzimas (proteasas y celulasas) en el proceso de extracción. La papaína mostró la mayor actividad de extracción, se optimizó posteriormente mediante la metodología de superficie de respuesta para obtener el máximo nivel de aceite. Se obtuvo un rendimiento máximo de aceite del 28,45% en las siguientes condiciones de extracción: carga de enzima, 4,46%; relación	Nguyen et al., 2020	Aceite

Microwave-assisted extraction of phenolic compounds from Sacha Inchi shell: Optimization, physicochemical properties and evaluation of their antioxidant activity	agua-muestra, 4,45 mL/g; tiempo de extracción, 4,95 h; y temperatura, 38,9 °C. En condiciones óptimas de extracción, la papaína podía utilizarse repetidamente para la extracción. Este estudio indica que la papaína es una proteasa potencial y que la extracción enzimática acuosa es un proceso ecológico y eficiente para extraer el aceite beneficioso de las semillas de Sacha inchi. Se aplicó la extracción asistida por microondas (MAE) para la extracción de compuestos fenólicos de la cáscara de Sacha inchi, un subproducto subutilizado del procesamiento del aceite. Se utilizó la metodología de superficie de respuesta para estimar las condiciones óptimas de operación. Se empleó un diseño Box-Behnken para investigar los efectos de la potencia de microondas (500, 1000 y 1500 W), la concentración de etanol (E30, E60 y E90 %, v/v) y el tiempo de extracción (60, 90 y 120 s) sobre el contenido fenólico total (TPC) y la capacidad antioxidante (evaluada mediante los ensayos FRAP y TEAC) de los extractos obtenidos. En las condiciones óptimas de extracción (1500 W, E63,0 %, y 110 s) el TPC alcanzó hasta $41,97 \pm 1,05$ mg de ácido gálico/g cáscara, mientras que los valores de FRAP y TEAC fueron de $374,39 \pm 1,81$ y $384,50 \pm 3,55$ μmol Trolox/g SI-cáscara, respectivamente. Los compuestos fenólicos predominantes fueron 3,4-dihidroxi-benzaldehído, hidroxí-4-cromona y sus derivados. Estos resultados indican la cáscara es una fuente prometedora de compuestos naturales con actividad antioxidante, y que este método podría utilizarse para su extracción en tiempos más cortos en comparación con los procesos convencionales.	Sanchez-Reinoso et al., 2020	Cáscara
Biological activity of Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis linneo</i>) and potential uses in human health: A review	Esta revisión ofrece una descripción completa de la información existente sobre el uso y la actividad biológica de <i>P. volubilis</i> L., basada en sus componentes lipídicos esenciales y evidenciando su uso en el campo de la salud humana, en contextos preventivos, terapéuticos y nutricionales, junto con usos industriales, lo que la convierte en un prometedor biorecurso.	Cárdenas, Rave, & Soto, 2021	...

Rheological, bioactive properties and sensory preferences of dark chocolates with partial incorporation of Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) oil	Se estudió el efecto de la sustitución parcial de la manteca de cacao (CB) por el aceite de Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) sobre la reología, las propiedades bioactivas y las preferencias sensoriales en un chocolate potencialmente funcional. Se prepararon chocolates oscuros al 70% y se sustituyó el CB por 1,5%, 3% y 4,5% de aceite de Sacha inchi. La dureza y la viscosidad de los chocolates con Sacha inchi se redujeron significativamente en comparación con el control (5451 ± 658 g; $17,01 \pm 0,94$ Pa s, respectivamente). El contenido fenólico total no varió, mientras que la capacidad antioxidante aumentó hasta un IC50 de $2,48 \pm 0,10$ a medida que el contenido de Sacha inchi era mayor. La tensión de rendimiento de Casson y la viscosidad plástica de Casson disminuyeron al aumentar la cantidad del aceite. Los chocolates con un 4,5% de aceite tenían un color similar, mejor brillo, atributos preferibles de rotura y eran más aceptados ($7,50 \pm 0,08$) en comparación con el control ($p < 0,05$), medido con una escala hedónica. El aceite de Sacha inchi, puede mejorar las propiedades bioactivas de los chocolates oscuros obteniendo un alimento potencialmente funcional con características fisicoquímicas aceptables. Se puede considerar como un nuevo equivalente de manteca de cacao.	Medina-Mendoza, et al., 2021	Aceite
Development of Direct Expanded High Protein Snack Products Fortified With Sacha Inchi Seed Meal.	Se desarrollaron aperitivos de expansión directa o listos para el consumo (RTE), enriquecidos con harina desgrasada de semilla de Sacha inchi utilizando una extrusora de doble tornillo corrotante. Se prepararon mezclas compuestas de harina de Sacha inchi (20-60%) y harina de arroz (40-80%), la cocción se realizó por extrusión con un 10-15% de humedad en el barril, 10,88-15,14 kg/h de velocidad de alimentación y 400 rpm de velocidad del tornillo. Los resultados indican que el nivel de harina de Sacha inchi afectó significativamente a las características físicas al aumentar la dureza y la densidad de los productos de aperitivo. La relación de expansión y el índice de humedad de los productos de aperitivo se redujeron al aumentar el nivel de harina de	Jiapong & Ruttaratta-Namongkol, 2021	Torta

Changes in stability, tocopherols, fatty acids and antioxidant capacity of Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i>) oil during French fries deep-frying	semillas de Sacha inchi. El resultado de la evaluación sensorial muestra que todas las formulaciones de los bocadillos fueron generalmente aceptadas por los consumidores. El bocadillo enriquecido con un 40% de harina de Sacha inchi fue el producto más aceptable según las características generales. Contenía el mayor contenido de proteínas ($24,94 \pm 0,07\%$) con aproximadamente $1,79 \pm 0,16\%$ de fibra, $2,09 \pm 0,00\%$ de grasa, $3,42 \pm 0,02\%$ de ceniza, $5,61 \pm 0,14\%$ de humedad y $62,27 \pm 0,11\%$ de carbohidratos, respectivamente. El contenido fenólico total (TPC) fue de $205,46 \pm 11,66$ g GAE/g de peso seco y la capacidad antioxidante equivalente a Trolox (TEAC) fue de $135,40 \pm 1,10$ $\mu\text{molTE/g}$ de peso seco. El producto extruido desarrollado a partir de la harina de semillas de Sacha inchi es rico en proteínas y adecuado para los consumidores preocupados por su salud. El objetivo de este estudio fue evaluar los cambios del aceite de Sacha inchi durante la fritura de patatas fritas a 170°C o 180°C hasta 119 y 50 minutos, respectivamente; como control se usó el aceite de soja comercial. El aceite de Sacha inchi tenía un alto contenido de ácido α-linolénico (53,8%), ácido linoleico (33,4%) y tocoferoles totales (2540,1 mg/kg). Durante la fritura, el contenido de tocoferoles, la estabilidad del aceite y la capacidad antioxidante (ABTS, DPPH) disminuyeron siguiendo una cinética de orden cero; el γ-tocoferol mostró la mayor disminución. A pesar de la elevada insaturación del aceite de Sacha inchi y del antioxidante comercial (TBHQ) en el de soja, el de Sacha inchi mostró una hidrólisis ligeramente superior o similar (ácidos grasos libres y diacilglicerol), una oxidación primaria similar (K232, triacilglicerol oxidados) y una oxidación secundaria inferior (K268, oligopolímeros de triacilglicerol). Debido al alto contenido de tocoferol, el aceite de Sacha inchi mostró una menor degradación, este aceite es adecuado para la fritura de corta duración; además, puede mejorar el valor nutricional y el sabor de los alimentos fritos.	Rodríguez et al., 2021 Aceite
---	---	---

Sacha inchi Oil Press- cake: Physicochemical Characteristics, Food- related Applications and Biological Activity	Se realizó extracción del aceite de semillas de Sacha inchi con CO ₂ supercrítico a escala de laboratorio, a 60 °C, entre 400–500 bares de presión y un flujo de CO ₂ entre 40–80 g/min, obteniéndose una recuperación máxima del 58% en 180 min favorecida por el aumento en el tiempo de residencia del CO ₂ en el tanque de extracción. Posteriormente, se evaluó el proceso a escala piloto, alcanzando una recuperación máxima del 60% en 105 min de extracción, a una temperatura de 60 °C, presión de 450 bares y flujo de CO ₂ de 1270 g/min, sin afectar la composición de los ácidos grasos del aceite durante un periodo de extracción entre 30–120 min. El aceite de Sacha inchi fue fraccionado con CO ₂ supercrítico para la obtención de un aceite concentrado de omega-3, sin encontrar aumento considerable en la proporción de este compuesto debido al estrecho rango en el número de carbonos (16–18 carbonos) de los ácidos grasos presentes en el aceite, lo que dificulta su separación selectiva.	Torres et al., 2021	Aceite
Total phenolic, flavonoid, flavonol contents and antioxidant activity of inca peanut (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) leaves extracts	Se evaluaron los componentes fitoquímicos y la actividad antioxidante de las hojas de cacahuete de Inca. Las hojas frescas se extrajeron con agua (FW) y agua caliente (FH). Las hojas secas (DH), las hojas tostadas (RH) y las hojas de té comerciales (CH) se extrajeron con agua caliente. El cribado fitoquímico reveló la presencia de fenoles, flavonoides, taninos, glucósidos cardíacos, esteroides y terpenoides. Las hojas tostadas contenían el mayor compuesto fenólicos totales (21,36±1,90 µg GAE/mg), total de flavonoides (8,65±0,16 µg QE/mg), y total de flavonoles (0,249±0,004 µg QE/mg) y mostró la actividad antioxidante más potente mediante el ensayo DPPH (IC ₅₀ = 135,97±6,71 µg/mL) y el ensayo ABTS (IC ₅₀ = 37,53±3,87 µg/mL). El flavonoide tiene una correlación positiva con la actividad de barrido del radical DPPH. Estos resultados sugieren que la actividad antioxidante de las hojas de cacahuete de Inca podría atribuirse a la presencia de compuestos flavonoides. El extracto de las hojas tostadas mostró la mayor actividad antioxidante. Por lo tanto, los	Wuttisin et al., 2021	Hojas

Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.): An emerging source of nutrients, omega-3 fatty acid and phytochemicals	extractos de hojas de cacahuete de Inca podrían considerarse una buena fuente de antioxidantes y desarrollarse como alimento funcional. Esta revisión tiene como objetivo informar sobre los nutrientes, fitonutrientes, seguridad, toxicidad, beneficios para la salud y aplicaciones alimentarias de la semilla de Sacha inchi. Estudios científicos recientes han asociado el consumo de semillas/aceite con la reducción del riesgo de enfermedades inflamatorias crónicas. Sin embargo, la falta de concienciación y de conocimientos profundos ha hecho que se descuide tanto a nivel de consumidor como de industria.	Goyal et al., 2022	Semilla
Evaluation of Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) By-Products as Valuable and Sustainable Sources of Health Benefits	Se investigaron y compararon los valores nutritivos, las actividades antioxidantes, los fenólicos y las actividades in vitro relacionadas con la salud, de la cascarilla y la cáscara de Sacha inchi para aumentar su potencial económico como futuras fuentes de alimentos. Se detectó un mayor contenido de proteínas ($59,97 \pm 0,06$ vs $43,12 \pm 0,36$ g/100g), carbohidratos ($20,10 \pm 0,07$ vs $9,90 \pm 0,47$ g/100g) y fibra dietética total ($16,14 \pm 0,16$ vs $6,47 \pm 0,27$ g/100g) en la cascarilla, mientras que en la cáscara se encontró un mayor contenido de grasa ($4,66 \pm 0,04$ vs $3,01 \pm 0,01$ g/100g) y energía. También se detectaron varios fenoles tanto en la cascarilla como en la cáscara, siendo el ácido p-cumárico el fenólico más abundante en la cáscara ($148,74 \pm 2,46$ mg/100g bh) y el ácido cafeico en la cáscara ($4,44 \pm 0,04$ mg/100g bh). El contenido fenólico total era 1,6 veces mayor en la cáscara que en la cascarilla ($503,96 \pm 5,16$ vs $323,74 \pm 2,25$ mg/100g bh), lo que se traduce en una actividad antioxidante 1,8-2,7 veces mayor y una actividad antiglicación 1,2 veces mayor. Los distintos tipos y cantidades de fenoles también dieron lugar a diversas actividades inhibitoras de enzimas in vitro en la cascarilla y la cáscara. Los conocimientos recibidos de esta investigación podrían ser útiles para maximizar la utilización de los subproductos de la extracción del aceite de Sacha inchi como	Kittibunchakul et al., 2022	Cáscara

Enhancement of omega-3 content in Sacha inchi seed oil extracted with supercritical carbon dioxide in semi-continuous process	futuras fuentes de alimentos con valiosas composiciones nutricionales, fenólicos y potenciales beneficios para la salud. Se extrajo el aceite de Sacha inchi de los granos de la semilla utilizando la extracción con dióxido de carbono supercrítico (CO₂) en comparación con la extracción Soxhlet. Se investigó la influencia del tiempo de extracción, el tipo de disolventes (hexano, etanol, butanol e i-propanol) y el volumen de disolvente en el rendimiento y la composición del aceite en el Soxhlet. En la extracción con CO₂ supercrítico, se evaluaron los efectos del tiempo de extracción, la temperatura y la presión. Se caracterizaron las propiedades fisicoquímicas de los aceites de Sacha inchi extraídos con CO₂ supercrítico. Los resultados mostraron la ventaja de utilizar la extracción con CO₂ supercrítico para aumentar el contenido de omega-3 en el aceite extraído en un tiempo de extracción más corto. Se obtuvo un contenido de omega-3 del 46,08% en la extracción con CO₂ supercrítico a 400 bares y 60°C. La extracción con CO₂ supercrítico es un método seguro y respetuoso con el medio ambiente que produce un aceite libre de tóxicos.	Jitpinit., et al., 2022	Aceite
---	---	----------------------------	--------

Conclusiones

Se evidenció a partir de los estudios citados que el Sacha inchi es una planta con múltiples compuestos considerados como beneficiosos para la salud de las personas, donde sobresalen los ácidos grasos omega 3 (mayor que el aceite de oliva, soja, canola, girasol) y omega 6, proteínas y compuestos antioxidantes. Estos compuestos no solo están presentes en la semilla, algunos se encuentran distribuidos en otras partes, como las hojas, además de estar presentes en una cantidad considerable en los subproductos que deja la extracción del aceite. En la semilla, los principales componentes son los lípidos, seguido de las proteínas. En el aceite; los ácidos grasos omega 3 y 6, γ -tocoferol y δ -tocoferol. En la cáscara; fibra, minerales y compuestos fenólicos. En las hojas; compuestos fenólicos. La torta residual está compuesta principalmente por proteína, también por ácidos grasos omega y fibra. Esto permite considerar el hecho de poder darle un aprovechamiento integral a esta planta, dado que, tiene un gran potencial nutricional, funcional y económico, donde no solo sus semillas (parte principal usada) pueden proporcionar compuestos de interés para la industria de alimentos en aquellos países donde se cultiva, como es el caso de Colombia.

Es conocido que la generación de residuos puede resultar un problema de carga ambiental, si no se les da un manejo adecuado, en los últimos años, estos subproductos se han estudiado para identificar posibles usos, de tal forma que se obtengan beneficios para las industrias y para el medio ambiente. En el caso del Sacha inchi, la industria de aceite, genera como subproductos; la cáscara de la almendra y la torta, aunque son pocos los estudios, puesto que es un tema que recientemente está tomando auge, los reportes existentes, indican que estos dos subproductos presentan compuesto de interés desde el punto de vista nutricional y funcional, los cuales se pueden usar en la elaboración de diversos productos con valor agregado. Las semillas de sachá inchi y la harina de la torta prensada en frío, podría usarse para la elaboración de snacks y productos de panadería, como panes y galletas, también en bebidas similares a las “coladas”. El aceite, podría usarse como sustituto de grasas saturadas, ya sea en productos cárnicos, lácteos. Las hojas y cascara, podrían aportar compuestos antioxidantes que se pueden aislar y adicionarse a la formulación de productos funcionales. Los diversos estudios realizados, incitan a continuar investigando a detalle y aplicando la ingeniería de alimentos a favor de un mayor aprovechamiento, y diversificación de productos en el mercado.

La torta de Sacha inchi contiene todos los aminoácidos esenciales, algunos de ellos en cantidades iguales o superiores a las recomendadas por la FAO y según algunos estudios con una

buena digestibilidad, además de proporcionar ácidos grasos esenciales que quedan tras la extracción del aceite, haciendo de este subproducto una materia prima promisoría, con múltiples aplicaciones en alimentos, suplementos y aditivos alimenticios. Sea que se use la torta, el aceite, las semillas u otro componente aislado de esta planta para el desarrollo de productos novedosos, se requiere establecer una formulación adecuada, garantizar las propiedades fisicoquímicas óptimas de cada tipo de alimento, garantizar estabilidad y aceptabilidad sensorial y por supuesto seguridad alimentaria.

De manera general, las concentraciones de los constituyentes dependen de factores como el cultivo, tratamientos postcosecha, pretratamientos, métodos de extracción y cuantificación. Es indispensable la aplicación de tecnologías adecuadas con las condiciones óptimas de procesamiento para preservar los múltiples efectos nutricionales y bioactivos de los compuestos identificados, igualmente, para tener mejores rendimientos o eficacia en los diferentes procesos de transformación. En las investigaciones realizadas, la influencia de temperatura y el tiempo son las variables más estudiadas, pudiéndose considerar como principal objeto de estudio. En el caso de la semilla, se recurre al uso de tratamientos térmicos para eliminar compuestos anti nutricionales, el tostado es el tratamiento comúnmente utilizado. Definir los parámetros y su influencia o afectación sobre los compuestos de interés, debe ser el punto de partida. Dentro de las tecnologías de transformación, también se incluye las empleadas para la extracción de aceite y por ende la obtención de la torta, donde la extracción por prensado en frío y con fluidos supercríticos, han liderado las investigaciones existentes para el caso del aceite de Sacha inchi y han evidenciado los beneficios de su uso. Igualmente, se incluyen las metodologías de aislamiento o extracción de los diferentes compuestos bioactivos identificados, como los ácidos grasos, fitoesteroles, fenoles, tocoferoles, aunque, en el caso del Sacha inchi, son muy pocos los estudios relacionados donde se evalúen condiciones óptimas, siendo necesario más estudios sobre la cáscara y las hojas.

Bibliografía

- Ahangari, H., King, J. W., Ehsani, A., & Yousefi, M. (2021). Supercritical fluid extraction of seed oils-A short review of current trends. *Trends in Food Science & Technology*, 111, 249-260.
- Ahmed, M. H., Vasas, D., Hassan, A., & Molnár, J. (2022). The impact of functional food in prevention of malnutrition. *PharmaNutrition*, 100288.
- Alayón, A. N., & Echeverri J., I. (2016). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* linneo): ¿Una

- experiencia ancestral desaprovechada? Evidencias clínicas asociadas a su consumo. *Revista Chilena de Nutrición*, 43(2), 167-171. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000200009>
- Arévalo, J., Zegarra, C., Cabanillas, B., del Castillo, A., & Vargas-Arana, G. (2019). Composición nutricional y capacidad antioxidante de tres especies de sachá inchi *Plukenetia* spp. de la amazonía peruana. *Folia Amazónica*, 28, 65-74. <https://doi.org/10.24841/fa.v28i1.480>
- Aylas, A., Pingus, M., & Alva, D. (2019). Efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo por torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en las propiedades reológicas de la masa de pan dulce. *Ciencia & Desarrollo*, 16-21. <https://doi.org/10.33326/26176033.2015.20.505>
- Baldeón Clavijo, D., Velásquez Rodríguez, F., & Castellanos Estupiñán, J. E. (2015). Utilización de *plukenetia volubilis* (sachá inchi) para mejorar los componentes nutricionales de la hamburguesa. *Enfoque UTE*, 6(2), 59-76. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v6n2.60>
- Banwo, K., Olojede, A. O., Adesulu-Dahunsi, A. T., Verma, D. K., Thakur, M., Tripathy, S., ... Aguilar, C. N. (2021). Functional importance of bioactive compounds of foods with Potential Health Benefits: A review on recent trends. *Food Bioscience*, 43, 101320.
- Benítez, R., Coronel, C., Hurtado, Z., & Martín, 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(46), 28-32.
- Benítez, R., Coronell, C., & Martin, J. (2018). Chemical Characterization Sachá Inchi (*Plukenetia Volubilis*) Seed?: Oleaginosa Promising From the Colombian Amazon *International Journal of Current Science Research and Review*, 01(01), 1-12.
- Bisbal, J., Lloret, J., Lozano, G., & Fagoaga, C. (2020). Especies vegetales como antioxidantes de alimentos. *Nereis. Interdisciplinary Ibero-American Journal of Methods, Modelling and Simulation.*, 71-90. https://doi.org/10.46583/nereis_2020.12.577
- Bueno-Borges, L. B., Sartim, M. A., Gil, C. C., Sampaio, S. V., Rodrigues, P. H. V., & Regitano-d'Arce, M. A. B. (2018). Sachá inchi seeds from sub-tropical cultivation: effects of roasting on antinutrients, antioxidant capacity and oxidative stability. *Journal of Food Science and Technology*, 55(10), 4159-4166. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3345-1>
- Çakaloğlu, B., Özyurt, V. H., & Ötleş, S. (2018). Cold press in oil extraction. A review. *Ukrainian Food Journal*, 7(4), 640–654. <https://doi.org/10.24263/2304-974x-2018-7-4-9>
- Cárdenas, D. M., Rave, L. J. G., & Soto, J. A. (2021). Biological activity of sachá inchi (*Plukenetia volubilis* linneo) and potential uses in human health: A review. *Food Technology and Biotechnology*, 59(3), 253-266. <https://doi.org/10.17113/ftb.59.03.21.6683>
- Carlos, J., Zambrano, H., Teresa, O., & Cruz, B. (2016). Recursos y nuevas opciones en la alimentación animal: torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) Resources and new options in the animal feeding: sachá inchi cake (*Plukenetia volubilis*), 83-93.
- Castaño, D. L., Valencia, M. del P., Murillo, E., Mendez, J. J., & Eras, J. (2012). Composición de

ácidos grasos de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) y su relación con la bioactividad del vegetal. *Revista Chilena de Nutrición*, 39(1), 45-52.

- Castro, J. P., Vaca, C., Soto, E. J., Vargas Morán, J., García, G., Banon, J., ... Tuesta Chavez, T. (2020). Sachá inchi oil (*Plukenetia volubilis*) stabilized with antioxidants for addition in fresh cheese. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 20, 16638-16651. <https://doi.org/10.18697/ajfand.94.18595>
- Čepková, P. H., Jágr, M., Viehmannová, I., Dvoracek, V., Cachique, D. H., & Miksik, I. (2019). Diversity in seed storage protein profile of oilseed crop *Plukenetia volubilis* L. from Peruvian Amazon. *Int J Agric Biol*, 21.
- Chiou, A., Kalogeropoulos, N., Boskou, G., & Salta, F. N. (2012). Migration of health promoting microconstituents from frying vegetable oils to French fries. *Food Chemistry*, 133(4), 1255-1263. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.068>
- Chirinos, R., Aquino, M., Pedreschi, R., & Campos, D. (2017). Optimized Methodology for Alkaline and Enzyme-Assisted Extraction of Protein from Sachá Inchi (*Plukenetia volubilis*) Kernel Cake. *Journal of Food Process Engineering*, 40(2). <https://doi.org/10.1111/jfpe.12412>
- Chirinos, R., Necochea, O., Pedreschi, R., & Campos, D. (2016). Sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) shell: An alternative source of phenolic compounds and antioxidants. *International Journal of Food Science and Technology*, 51(4), 986-993. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13049>
- Chirinos, R., Pedreschi, R., Domínguez, G., & Campos, D. (2015). Comparison of the physico-chemical and phytochemical characteristics of the oil of two *Plukenetia* species. *Food Chemistry*, 173, 1203-1206. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.120>
- Chirinos, R., Zuloeta, G., Pedreschi, R., Mignolet, E., Larondelle, Y., & Campos, D. (2013). Sachá inchi (*Plukenetia volubilis*): A seed source of polyunsaturated fatty acids, tocopherols, phytosterols, phenolic compounds and antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 141(3), 1732-1739. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.078>
- Chowdhury, K., Banu, L. A., Khan, S., & Latif, A. (2007). Studies on the fatty acid composition of edible oil. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 42(3), 311-316.
- Chung, K.-T., Wong, T. Y., Wei, C.-I., Huang, Y.-W., & Lin, Y. (1998). Tannins and Human Health: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38(6), 421-464. <https://doi.org/10.1080/10408699891274273>
- Cisneros, F. H., Paredes, D., Arana, A., & Cisneros-Zevallos, L. (2014). Chemical composition, oxidative stability and antioxidant capacity of oil extracted from roasted seeds of Sachá-inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(22), 5191-5197. <https://doi.org/10.1021/jf500936j>
- Clavijo, D. B., Rodríguez, F. V., & Estupiñán, J. E. C. (2015). Utilización de *Plukenetia volubilis* (sachá inchi) para mejorar los componentes nutricionales de la hamburguesa. *Enfoque UTE*, 6(2), 59-76.

- de Vasconcelos, M. H. A., Tavares, R. L., Junior, E. U. T., Dorand, V. A. M., Batista, K. S., Toscano, L. T., ... da Silva Araujo, R. (2022). Extra virgin coconut oil (*Cocos nucifera* L.) exerts anti-obesity effect by modulating adiposity and improves hepatic lipid metabolism, leptin and insulin resistance in diet-induced obese rats. *Journal of Functional Foods*, 94, 105122.
- Cornelio-Santiago, H. P., Bodini, R. B., & de Oliveira, A. L. (2021). Potential of Oilseeds Native to Amazon and Brazilian Cerrado Biomes: Benefits, Chemical and Functional Properties, and Extraction Methods. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 98(1), 3-20. <https://doi.org/10.1002/aocs.12452>
- Cornelio-Santiago, H. P., Bodini, R. B., Mazalli, M. R., Gonçalves, C. B., Rodrigues, C. E. C., & Lopes de Oliveira, A. (2022). Oil extraction from pequi (*Caryocar brasiliensis* Camb.) and sacha inchi (*Plukenetia huayllabambana* sp. Nov.) almonds by pressurized liquid with intermittent purge: The effects of variables on oil yield and composition. *Journal of Supercritical Fluids*, 182(July 2021). <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2022.105527>
- de Souza, A. H. P., Gohara, A. K., Rodrigues, Â. C., de Souza, N. E., Visentainer, J. V., & Matsushita, M. (2013). Sacha inchi como fonte potencial de ácidos graxos essenciais e tocoferóis: Estudo multivariado da castanha e casca. *Acta Scientiarum - Technology*, 35(4), 757-763. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v35i4.19193>
- Douzane, M., Daas, M.-S., Meribai, A., Guezil, A.-H., Abdi, A., & Tamendjari, A. (2021). Physico-chemical and sensory evaluation of virgin olive oils from several Algerian olive-growing regions. *OCL*, 28, 55.
- Dostert, N., Roque Gamarra, J., Brokamp, G., Echeverría, A., Torre, M., & Weigend, M. (2009). Factsheet?: datos botánicos de Sacha Inchi. *Plukenetia volubilis* L.
- Dunford, N. T., & King, J. W. (2000). Phytosterol enrichment of rice bran oil by a supercritical carbon dioxide fractionation technique. *Journal of Food Science*, 65(8), 1395-1399.
- Export sacha (s.f.). Export sacha Colombia Recuperado el 25 de mayo de 2022 de <https://exportsacha.com.co/>
- Export sacha (s.f.). Export sacha Colombia Recuperado el 25 de mayo de 2022 de <https://exportsacha.com.co/wp-content/uploads/2021/07/Ficha-tecnica-Aceite-de-Sacha-Inchi.pdf>
- FAO (2002). *Nutrición humana en el mundo en desarrollo*. Colección FAO: Alimentación y nutrición N° 29. Roma
- Fanali, C., Dugo, L., Cacciola, F., Beccaria, M., Grasso, S., Dachà, M., ... Mondello, L. (2011). Chemical characterization of Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(24), 13043-13049. <https://doi.org/10.1021/jf203184y>
- Flores, D., & Lock, O. (2012). Revalorizando el uso milenario del sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) para la nutrición, la salud y la cosmética. *Revista de Fitoterapia*, 13(1), 23-30.

- Follegatti-Romero, L. A., Piantino, C. R., Grimaldi, R., & Cabral, F. A. (2009). Supercritical CO₂ extraction of omega-3 rich oil from Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds. *Journal of Supercritical Fluids*, 49(3), 323-329. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2009.03.010>
- Franco-Quino, C., Muñoz-Espinoza, D., Gómez-Herreros, C., Chau-Miranda, G., Cueva-Piña, L., Guardia-Ortiz, E., ... Herrera-Calderón, O. (2016). Características fitoquímicas y capacidad antioxidante in vitro de Aloe vera, *Plukenetia volubilis*, *Caiophora carduiifolia*, *Cecropia membranacea*. In *Anales de la Facultad de Medicina* (Vol. 77, pp. 9-13). UNMSM. Facultad de Medicina.
- García, P., Quinteros, A., García, P., Chumacero, J., & Castro, P. (2018). Storage evaluation of a functional food with skimmed milk enriched with fatty acids of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Agroindustrial Science*, 8, 39-43. <https://doi.org/10.17268/agroind.science.2018.01.06>
- García, W., Masgo, C., Mercado, A., Alvarez-Yanamango, E., Cáceres, J., & Chumpitaz, G. (2020). Aprovechamiento de subproductos de la extracción de aceite de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) y Castaña (*Bertholletia excelsa*) en la formulación de una bebida nutricional instantánea. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.195>
- Garrido, I., Monagas, M., Gómez-Cordovés, C., & Bartolomé, B. (2007). Extracción de antioxidantes a partir de subproductos del procesado de la almendra. *Grasas y Aceites*, 58.
- Gayas, B., & Kaur, G. (2017). Novel oil extraction methods in food industry: A review. *Journal of Oilseed Brassica*, 8(1), 1-11.
- Ghouila, Z., Sehaïlia, M., & Chemat, S. (2019). Vegetable Oils and Fats: Extraction, Composition and Applications. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3810-6_12
- González, N. (2021). Análisis Exergoambiental del Proceso de Obtención de Aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia Volubilis*) en Santander Colombia. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11634/32432>
- González, J., Medina, M., Garay, R., & Mendieta, O. (2017). Development of edible films from proteins extracted from inka peanut kernel cake (*Plukenetia volubilis* L.). *Informacion Tecnológica*, 28(5), 115-130. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642017000500013>
- Goyal, A., Tanwar, B., Kumar Sihag, M., & Sharma, V. (2022). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.): An emerging source of nutrients, omega-3 fatty acid and phytochemicals. *Food Chemistry*, 373(June 2021). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131459>
- Gulcin, İ. (2020). Antioxidants and antioxidant methods: an updated overview. *Archives of Toxicology*, 94(3), 651–715. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02689-3>
- Gutiérrez, L.-F., Rosada, L., & Jiménez, Á. (2011). Chemical composition of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and characteristics of their lipid fraction. *Grasas y Aceites*, 62. <https://doi.org/10.3989/gya044510>

- Hanssen, H.-P., & Schmitz-Hübsch, M. (2011). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) nut oil and its therapeutic and nutritional uses. In *Nuts and seeds in health and disease prevention* (pp. 991-994). Elsevier.
- Jiapong, S., & Ruttarattanamongkol, K. (2021). Development of Direct Expanded High Protein Snack Products Fortified With Sacha Inchi Seed Meal. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 10(4), 680-684. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2021.10.4.680-684>
- Jie, F., Yang, X., Wu, L., Wang, M., & Lu, B. (2022). Linking phytosterols and oxyphytosterols from food to brain health: origins, effects, and underlying mechanisms. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(13), 3613-3630.
- Jitpinit, S., Siraworakun, C., Sookklay, Y., & Nuithitikul, K. (2022). Enhancement of omega-3 content in sachu inchi seed oil extracted with supercritical carbon dioxide in semi-continuous process. *Heliyon*, 8(1), e08780.
- John, J. A., & Shahidi, F. (2010). Phenolic compounds and antioxidant activity of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*). *Journal of Functional Foods*, 2(3), 196-209. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jff.2010.04.008>
- Khieokhajonkhet, A., Muichanta, S., Aeksiri, N., Ruttarattanamongkol, K., Rojtinakorn, J., & Kaneko, G. (2021). Evaluation of sachu inchi meal as a novel alternative plant protein ingredient for red hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus*×*O. mossambicus*): Growth performance, feed utilization, blood biochemistry, and histological changes. *Animal Feed Science and Technology*, 278(January 2020), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115004>
- Kim, D. S., & Joo, N. (2019). Nutritional composition of Sachu inchi (*Plukenetia Volubilis* L.) as affected by different cooking methods. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 1235-1241. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1640247>
- Kittibunchakul, S., Hudthagosol, C., Sanporkha, P., Sapwarobol, S., Temviriyankul, P., & Suttisansanee, U. (2022). Evaluation of Sachu Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) By-Products as Valuable and Sustainable Sources of Health Benefits. *Horticulturae*, 8(4), 1-12. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8040344>
- Krist, S. (2020). Introduction. In *Vegetable Fats and Oils* (pp. 1-26). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30314-3_1
- Krist, S. (2020). Sachu Inchi Oil. *Vegetable Fats and Oils*, (D), 651-655. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30314-3_103
- Lagarda, M. J., García-Llatas, G., & Farré, R. (2006). Analysis of phytosterols in foods. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 41(5), 1486-1496.
- López-Moreno, M., Garcés-Rimón, M., & Miguel, M. (2022). Antinutrients: Lectins, goitrogens, phytates and oxalates, friends or foe? *Journal of Functional Foods*, 89, 104938.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.104938>

- López, K., Santa Cruz, C., & Gutiérrez, A. (2016). Perfil de proteínas de las semillas de "sacha inchi"(*Plukenetia volubilis* L. y *Plukenetia huayllabambana* Bussmann, Téllez & Glenn). *The Biologist* (Lima), 14(1).
- Malekbala, M. R., Soltani, S. M., Hosseini, S., Eghbali Babadi, F., & Malekbala, R. (2017). Current technologies in the extraction, enrichment and analytical detection of tocopherols and tocotrienols: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(14), 2935-2942. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1020532>
- Masmoudi, M., Baccouche, A., Borchani, M., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2021). Physico-chemical and antioxidant properties of oils and by-products obtained by cold press-extraction of Tunisian *Opuntia* spp. seeds. *Applied Food Research*, 1(2), 100024. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100024>
- Mayneris-Perxachs, J., Alcaide-Hidalgo, J. M., de la Hera, E., del Bas, J. M., Arola, L., & Caimari, A. (2019). Supplementation with biscuits enriched with hesperidin and naringenin is associated with an improvement of the Metabolic Syndrome induced by a cafeteria diet in rats. *Journal of Functional Foods*, 61, 103504.
- Medina-Mendoza, M., Rodríguez-Pérez, R. J., Rojas-Ocampo, E., Torrejón-Valqui, L., Fernández-Jeri, A. B., Idrogo-Vásquez, G., ... Castro-Alayo, E. M. (2021). Rheological, bioactive properties and sensory preferences of dark chocolates with partial incorporation of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil. *Heliyon*, 7(2), e06154. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06154>
- Mejía Rios, C. V. (2017). Evaluación de metabolitos secundarios y propiedades antioxidantes e hipoglucemiantes de lúcumo (*Pouteria lucuma*) en dos estados de madurez.
- Montero, L. (2019). Estudio de acceso al mercado surcoreano de la Sacha Inchi producida en Colombia Luisa.
- Mora, P., Romero, L., Landines, E., Ordoñez, R., & Valdez, M. (2020). Obtention, yields, chemical-microbiological properties and amino acids profile in a flour from Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*, 11, 5723-5728. <https://doi.org/10.26452/ijrps.v11i4.3215>
- Mottaghi, S., & Abbaszadeh, H. (2021). The anticarcinogenic and anticancer effects of the dietary flavonoid, morin: Current status, challenges, and future perspectives. *Phytotherapy Research*, 35(12), 6843-6861.
- MS, U., Ferdosh, S., Haque Akanda, M. J., Ghafoor, K., AH, R., Ali, M. E., ... Islam Sarker, M. Z. (2018). Techniques for the extraction of phytosterols and their benefits in human health: A review. *Separation Science and Technology*, 53(14), 2206-2223.
- Muangrat, R., Veeraphong, P., & Chantee, N. (2018). Screw press extraction of Sacha inchi seeds: Oil yield and its chemical composition and antioxidant properties. *Journal of Food Processing*

and Preservation, 42(6), e13635.

- Muñoz Jáuregui, A., Ramos, F., Ortiz, C., Castaneda, B., Mendoza, E., Yáñez, J., & Asencios, D. (2010). Evaluación del contenido de fitoesteros, 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, 234-241.
- Muñoz Jáuregui, A. M., Alvarado Ortiz, C., Escudero Ramos, F., Castañeda Castañeda, B., Mendoza Barnett, E., Lucero Cárdenas, L., ... Zelada Encina, C. (2013). Estudio de polifenoles, taninos y métodos químicos para determinar la actividad antioxidante de la semilla de Sachá Inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Horizonte Médico*, 13(1), 11-18.
- Nascimento, A. K. L., Melo-Silveira, R. F., Dantas-Santos, N., Fernandes, J. M., Zucolotto, S. M., Rocha, H. A. O., & Scortecchi, K. C. (2013). Antioxidant and antiproliferative activities of leaf extracts from *Plukenetia volubilis* Linneo (Euphorbiaceae). *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/950272>
- Nguyen, H. C., Vuong, D. P., Nguyen, N. T. T., Nguyen, N. P., Su, C. H., Wang, F. M., & Juan, H. Y. (2020). Aqueous enzymatic extraction of polyunsaturated fatty acid-rich sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seed oil: An eco-friendly approach. *Lwt*, 133(July), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109992>
- Paladino, S. (2008). Actividad antioxidante de los compuestos fenólicos contenidos en las semillas de la vid (*Vitis vinifera* L.).
- Paucar-Menacho, L. M., Salvador-Reyes, R., Guillén-Sánchez, J., Capa-Robles, J., & Moreno-Rojo, C. (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.
- Pardo, E., Baldovino, W., & Oviedo, L. (2021). Floración y fructificación de *Plukenetia volubilis* bajo variables orgánicas y climáticas en San Isidro, Montería, Córdoba Colombia. *BISTUA REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS*, 16(2), 18-28. <https://doi.org/10.24054/01204211.v2.n2.2018.552>
- PBD. (2009). Manual de producción de sachá inchi para el biocomercio y la agroforestería
- Pragasam, S. J., Venkatesan, V., & Rasool, M. (2013). Immunomodulatory and Antiinflammatory Effect of p-Coumaric Acid, a Common Dietary Polyphenol on Experimental Inflammation in Rats. *Inflammation*, 36(1), 169-176. <https://doi.org/10.1007/s10753-012-9532-8>
- Ramos-Escudero, F., González-Miret, M. L., Viñas-Ospino, A., & Ramos Escudero, M. (2019). Quality, stability, carotenoids and chromatic parameters of commercial Sachá inchi oil originating from Peruvian cultivars. *Journal of Food Science and Technology*, 56(11), 4901-4910. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03960-x>
- Ramos-Escudero, F., Morales, M. T., Ramos Escudero, M., Muñoz, A. M., Cancino Chavez, K., & Asuero, A. G. (2021). Assessment of phenolic and volatile compounds of commercial

- Sacha inchi oils and sensory evaluation. Food Research International, 140(July 2020). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110022>
- Ramos-Escudero, F., Muñoz, A. M., Ramos Escudero, M., Viñas-Ospino, A., Morales, M. T., & Asuero, A. G. (2019). Characterization of commercial Sacha inchi oil according to its composition: tocopherols, fatty acids, sterols, triterpene and aliphatic alcohols. Journal of Food Science and Technology, 56(10), 4503-4515. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03938-9>
- Rani, H., Sharma, S., & Bala, M. (2021). Technologies for extraction of oil from oilseeds and other plant sources in retrospect and prospects: A review. Journal of Food Process Engineering, 44(11), 1-19. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13851>
- Rawdkuen, S., Murdayanti, D., Ketnawa, S., & Phongthai, S. (2016). Chemical properties and nutritional factors of pressed-cake from tea and sachu inchi seeds. Food Bioscience, 15, 64-71. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2016.05.004>
- Rawdkuen, S., Rodzi, N., & Pinijsuwan, S. (2018). Characterization of sachu inchi protein hydrolysates produced by crude papain and Calotropis proteases. Lwt, 98(July 2017), 18-24. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.08.008>
- Rawdkuen, S., Rodzi, N., & Pinijsuwan, S. (2018). Characterization of sachu inchi protein hydrolysates produced by crude papain and Calotropis proteases. LWT, 98, 18-24. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.08.008>
- Ricci, A., Olejar, K. J., Parpinello, G. P., Mattioli, A. U., Tesli?, N., Kilmartin, P. A., & Versari, A. (2016). Antioxidant activity of commercial food grade tannins exemplified in a wine model. Food Additives & Contaminants: Part A, 33(12), 1761-1774. <https://doi.org/10.1080/19440049.2016.1241901>
- Rodríguez, Á., Corazon-Guivin, M., Cachique, D., Mejía, K., Del Castillo, D., Renno, J.-F., & García-Dávila, C. (2011). Diferenciación morfológica y por ISSR (Inter simple sequence repeats) de especies del género Plukenetia (Euphorbiaceae) de la Amazonía peruana: propuesta de una nueva especie. Revista Peruana de Biología, 17(3). <https://doi.org/10.15381/rpb.v17i3.7>
- Rodríguez, G., Avellaneda, S., Pardo, R., Villanueva, E., & Aguirre, E. (2018). Bread leaf enriched with extruded cake from sachu inchi (Plukenetia volubilis L.): Chemistry, rheology, texture and acceptability. Scientia Agropecuaria, 9(2), 199-208. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.04>
- Rodríguez, G., Squeo, G., Estivi, L., Quezada Berru, S., Buleje, D., Caponio, F., ... Hidalgo, A. (2021). Changes in stability, tocopherols, fatty acids and antioxidant capacity of sachu inchi (Plukenetia volubilis) oil during French fries deep-frying. Food Chemistry, 340(July 2020). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127942>
- Romero, L., Valdiviezo, C., & Bermeo, S. (2019). Caracterización del aceite de la semilla de Sachu Inchi (plukenetia volubilis) del cantón San Vicente, Manabí, Ecuador, obtenida mediante

- procesos no térmicos de extrusión. La Granja, 30, 77-87. <https://doi.org/10.17163/lgr.n30.2019.07>
- Ruiz, C., Díaz, C., Anaya, J., & Rojas, R. (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*). *Rev Soc Quím Perú*, 79(1), 29-36.
- Sahena, F., Zaidul, I. S. M., Jinap, S., Karim, A. A., Abbas, K. A., Norulaini, N. A. N., & Omar, A. K. M. (2009). Application of supercritical CO₂ in lipid extraction-A review. *Journal of Food Engineering*, 95(2), 240-253.
- Sánchez-Gimeno, A. C., Benito, M., Vercet, A., & Oria, R. (2008). Aceite de oliva virgen extra del Somontano: Evaluación de las modificaciones físico-químicas tras la fritura doméstica de patatas prefritas congeladas. *Grasas y Aceites*, 59(1), 57-61. <https://doi.org/10.3989/gya.2008.v59.i1.491>
- Sanchez-Reinoso, Z., Mora-Adames, W. I., Fuenmayor, C. A., Darghan-Contreras, A. E., Gardana, C., & Gutiérrez, L. F. (2020). Microwave-assisted extraction of phenolic compounds from Sacha Inchi shell: Optimization, physicochemical properties and evaluation of their antioxidant activity. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 153(January). <https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.107922>
- Sathe, S. K., Hamaker, B. R., Sze-Tao, K. W. C., & Venkatachalam, M. (2002). Isolation, purification, and biochemical characterization of a novel water soluble protein from Inca peanut (*Plukenetia volubilis* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(17), 4906-4908. <https://doi.org/10.1021/jf020126a>
- Sathe, S. K., Kshirsagar, H. H., & Sharma, G. M. (2012). Solubilization, Fractionation, and Electrophoretic Characterization of Inca Peanut (*Plukenetia volubilis* L.) Proteins. *Plant Foods for Human Nutrition*, 67(3), 247-255. <https://doi.org/10.1007/s11130-012-f0301-5>
- Savoire, R., Lanoisellé, J. L., & Vorobiev, E. (2013). Mechanical Continuous Oil Expression from Oilseeds: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(1), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0947-x>
- Shahidi, F. (2015). 1 - Antioxidants: Principles and applications. In F. B. T.-H. of A. for F. P. Shahidi (Ed.), *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition* (pp. 1-14). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-089-7.00001-4>
- Silveira Rodríguez, M. B., Monereo Megías, S., & Molina Baena, B. (2003). Alimentos funcionales y nutrición óptima:¿ Cerca o lejos? *Revista Española de Salud Pública*, 77, 317-331.
- Singh, S., Sharma, A., Monga, V., & Bhatia, R. (2022). Compendium of naringenin: Potential sources, analytical aspects, chemistry, nutraceutical potentials and pharmacological profile. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-32.

- Singh, J., & Bargale, P. C. (2000). Development of a small capacity double stage compression screw press for oil expression. *Journal of Food Engineering*, 43(2), 75-82. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00134-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00134-X)
- Srichamnong, W., Ting, P., Pitchakarn, P., Nuchuchua, O., & Temviriyankul, P. (2018). Safety assessment of *Plukenetia volubilis* (Inca peanut) seeds, leaves, and their products. *Food Science and Nutrition*, 6(4), 962-969. <https://doi.org/10.1002/fsn3.633>
- Štěrbová, L., Hlásná Čepková, P., Viehmannová, I., & Huansi, D. C. (2017). Effect of Thermal Processing on Phenolic Content, Tocopherols and Antioxidant Activity of Sacha Inchi Kernels. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(2). <https://doi.org/10.1111/jfpp.12848>
- Subroto, E., Manurung, R., Heeres, H. J., & Broekhuis, A. A. (2015). Mechanical extraction of oil from *Jatropha curcas* L. kernel: Effect of processing parameters. *Industrial Crops and Products*, 63, 303-310. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.06.018>
- Teh, S. S., & Birch, J. (2013). Physicochemical and quality characteristics of cold-pressed hemp, flax and canola seed oils. *Journal of Food Composition and Analysis*, 30(1), 26-31. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.01.004>
- Torres, E. G., Hernández, B., & Gutiérrez, L. (2021). Sacha Inchi Oil Press-cake: Physicochemical Characteristics, Food-related Applications and Biological Activity. *Food Reviews International*. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1900231>
- Triana-Maldonado, D., Torijano-Gutiérrez, S., & Giraldo-Estrada, C. (2017). Supercritical CO₂ extraction of oil and omega-3 concentrate from Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) from Antioquia, Colombia. *Grasas y Aceites*, 68, 172. <https://doi.org/10.3989/gya.0786161>
- Valdiviezo, C. J., Romero Hidalgo, L. E., & Bonilla Bermeo, S. M. (2019). Caracterización del aceite de la semilla de Sacha Inchi (*plukenetia volubilis*) del cantón San Vicente, Manabí, Ecuador, obtenida mediante procesos no térmicos de extrusión. *La Granja*, 30(2), 77-87. <https://doi.org/10.17163/lgr.n30.2019.07>
- Valles Ramírez, S., Medina-Vivanco, M., & Obregón-Lujerio, A. (2017). Obtención de una bebida nutritiva a partir de las semillas de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) . *Revista de La Sociedad Química Del Perú*. scielo .
- Vanegas-Azuero, A. M., & Gutiérrez, L. F. (2018). Physicochemical and sensory properties of yogurts containing sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and β -glucans from *Ganoderma lucidum*. *Journal of Dairy Science*, 101(2), 1020-1033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13235>
- Vásquez, D., Hincapié, G., Cardona, M., Jaramillo, D., & Vélez, L. (2017). Formulación de una colada empleando harina de sachu inchi (*Plukenetia volubilis* L.) proveniente del proceso de obtención de aceite. *Perspectivas En Nutrición Humana*, 19(2), 167-179. <https://doi.org/10.17533/udea.penh.v19n2a04>

- Vásquez, D., Jaramillo, J., Hincapié, G., & Vélez, L. (2017). Desarrollo de galletas empleando harina de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) obtenida de la torta residual. *UGCiencia*, (December), 1-13.
- Wang, S., Zhu, F., & Kakuda, Y. (2018). Sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Nutritional composition, biological activity, and uses. *Food Chemistry*, 265(April), 316-328. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.055>
- Wanyo, P., Meeso, N., & Siriamornpun, S. (2014). Effects of different treatments on the antioxidant properties and phenolic compounds of rice bran and rice husk. *Food Chemistry*, 157, 457-463.
- Wuttisin, N., Nararatwanchai, T., & Sarikaputi, A. (2021). Total phenolic, flavonoid, flavonol contents and antioxidant activity of inca peanut (*Plukenetia volubilis* L.) leaves extracts. *Food Research*, 5(1), 216-224. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(1\).346](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(1).346)
- Xiao, Z., Liu, R., Wu, H., Liu, Q., & Li, C. (2020). Industrial plant oil extraction. *Industrial Oil Plant: Application Principles and Green Technologies*. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4920-5_2
- Yusuf, A. K. (2018). A Review of Methods Used for Seed Oil Extraction. A.K. Yusuf Department of Chemistry, Al-Qalam University, Katsina, Nigeria. *International Journal of Science and Research*, 7(December), 233-238.
- Zeng, J., Xiao, T., Ni, X., Wei, T., Liu, X., Deng, Z. Y., & Li, J. (2022). The comparative analysis of different oil extraction methods based on the quality of flaxseed oil. *Journal of Food Composition and Analysis*, 107, 104373.
- Zeng, X., Jiang, W., Du, Z., & Kokini, J. L. (2022). Encapsulation of tannins and tannin-rich plant extracts by complex coacervation to improve their physicochemical properties and biological activities: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-14. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2075313>