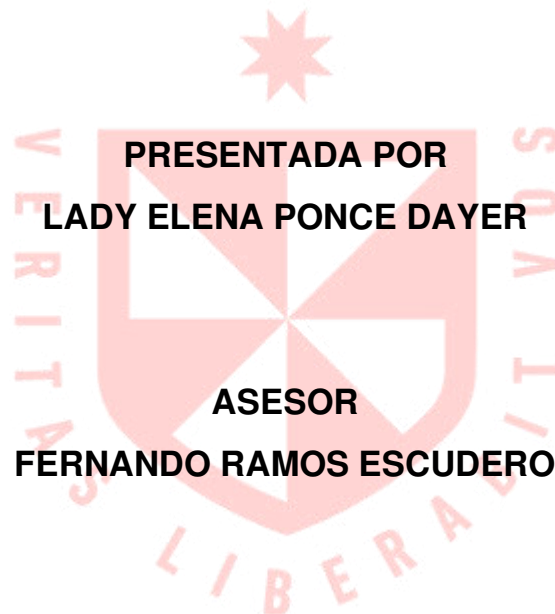


FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

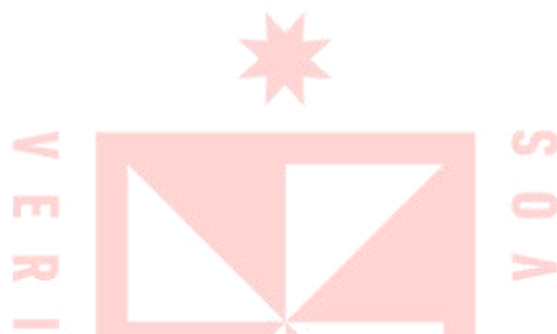
**INFLUENCIA DE LA ENCAPSULACIÓN SOBRE LOS
PARÁMETROS DE CALIDAD Y EL PERFIL DE ÁCIDOS
GRASOS DEL ACEITE DE SACHA INCHI (*Plukenetia
volubilis* Linneo)**



TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

LIMA – PERÚ

2021



CC BY-NC-SA

Reconocimiento – No comercial – Compartir igual

El autor permite transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría y las nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTÍN DE PORRES

**FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**INFLUENCIA DE LA ENCAPSULACIÓN SOBRE LOS
PARÁMETROS DE CALIDAD Y EL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS
DEL ACEITE DE SACHA INCHI
(*Plukenetia volubilis* Linneo)**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

PRESENTADA POR:

PONCE DAYER, LADY ELENA

LIMA - PERÚ

2021

A mi hijo Juan Carlos Valdivia Ponce, quien con su hermosa sonrisa y sus ocurrencias me inspira a ser una mejor persona cada día y es quien me da fuerzas para superar todo lo que se presente en mi camino.

Agradezco a Dios por darme la vida, por darme salud y por darme la familia que tengo.

Agradezco a mis padres Carlos y Nora, y a mi hermano Carlitos, quienes me han apoyado de forma incondicional en toda mi etapa universitaria y en mi etapa de madre.

Agradezco a mi esposo Jesús Valdivia por ser un buen padre, un gran amigo, un gran cómplice y por ser quien me empuja a seguir saliendo adelante.

Agradezco a mi asesor de tesis el Dr. Fernando Ramos-Escudero, por su paciencia, por haberme brindado el tiempo necesario para realizar este proyecto, por compartir sus conocimientos y por ser mi guía hasta el final.

Agradezco al Ingeniero Edy Barnett, a Mónica, a Ana María, a mi gran amigo Christian, y a mi gran amiga Gloria, por todo el apoyo que me brindaron durante el desarrollo de este trabajo.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación fue determinar los parámetros de calidad (acidez libre, valor de peróxidos, dienos y trienos conjugados y las sustancias reactivas del ácido tio-barbitúrico), la actividad antioxidante y el perfil de ácidos grasos. Las muestras analizadas fueron: seis muestras de aceite de sachá inchi encapsuladas (SIOC), diez muestras de aceite de semilla de sachá inchi (prensado) (SIOP) y dos muestras de aceite de sachá inchi en botella (SIOB). Los ensayos analíticos se llevaron a cabo mediante técnicas volumétricas, espectrofotométricas y cromatografía gaseosa (GC-FID). Los resultados de este estudio muestran que el 83.3% de las muestras analizadas son virgen extra y el 16.7% corresponde a la clasificación virgen. Con respecto al valor de peróxidos, dienos y trienos conjugados las muestras se encuentran dentro de los límites establecido por la NTP. Los productos secundarios medidos por el ácido tio-barbitúrico (TBA) obtuvieron valores de 0.50 – 2.98 mg MDA/L para las muestras de aceite en cápsulas. El contenido de fenoles y el porcentaje de inhibición por DPPH estuvieron en el rango 78.79 – 203.8 mg GAE/kg y 24.60 – 60.05 % respectivamente. El perfil de ácidos grasos del SIOC presentó las siguientes concentraciones: Palmítico (4.06 – 4.69%), esteárico (3.03 – 3.90%), oleico (9.32 – 11.85%), linoleico (30.12 – 33.37%) y α -linolénico (40.78 – 44.74%). En conclusión y en base a los resultados se considera el SIOC sin perjuicio para la salud pública.

Palabras Clave:

Plukenetia volubilis, sachá inchi, parámetros de calidad, ácidos grasos

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the quality parameters (free acidity, peroxide value, dienes and trienes conjugated and reactants substances to thio-barbituric acid), antioxidant activity and fatty acid profile. The samples analyzed were: six samples of encapsulated sacha inchi oil (SIOC), ten samples of sacha inchi seed oil (SIOP) and two samples of bottled sacha inchi oil (SIOB). Analytical tests were performed using volumetric, spectrophotometric and gas chromatography (GC-FID) techniques. The results of the study show that 83.3% of the samples are extra virgin and 16.7% correspond to the virgin classification. The value of peroxides, dienes and trienes conjugated, the samples are within the limits established by the NTP. Secondary products measured by thio-barbituric acid (TBA) obtained values of 0.50 - 2.98 mg MDA / L for oil samples in capsules. The total phenolic content and the percentage of inhibition by DPPH were in the range 78.79 - 203.8 mg GAE / kg and 24.60 - 60.05% respectively. The fatty acid profile of SIOC presented the following concentrations: Palmitic (4.06 - 4.69%), Stearic (3.03 - 3.90%), Oleic (9.32 - 11.85%), Linoleic (30.12 - 33.37%) and α -Linolenic (40.78 - 44.74%). In conclusion and based on the results, the SIOC is considered without prejudice to public health.

Keywords: *Plukenetia volubilis*, sacha inchi, quality parameters, fatty acids

NOMBRE DEL TRABAJO

Influencia de la encapsulación sobre los parámetros de calidad y el perfil de ácidos grasos del acei

AUTOR

Lady Elena Ponce Dayer

RECuento DE PALABRAS

18569 Words

RECuento DE CARACTERES

95212 Characters

RECuento DE PÁGINAS

82 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.0MB

FECHA DE ENTREGA

May 25, 2022 5:30 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

May 25, 2022 5:38 PM GMT-5

● **13% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de

- 12% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



Biblioteca FIA

Patricia Rodríguez Toledo
Bibliotecóloga

INTRODUCCIÓN

La especie *Plukenetia volubilis* Linneo es una semilla conocida como sacha inchi, o maní silvestre, que crece en la Amazonía peruana a altitudes de 200 y 1500 msnm, es una planta oleaginosa y viene siendo cultivada por la población indígena a lo largo de los siglos, como también en Bolivia, Surinam, Venezuela, Colombia, Ecuador, Brasil (Guillén et al., 2003 y Follegatti-Romero et al., 2009) y también se está desarrollando en países asiáticos como China, Tailandia y Vietnam, lugares que cumplen con las condiciones óptimas de crecimiento de altitud de 30- 2000 msnm, clima tropical, temperaturas de 10-26°C y humedad relativa de 78% (Arfini y Antonioli, 2013 y Gutiérrez et al., 2017).

El aceite obtenido de la semilla de sacha inchi es considerado un superalimento por su inigualable contenido de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), principalmente el ácido α -linolénico (ALA) y linoleico (LA) con 45.62% y 32.66% respectivamente, alto contenido proteico, alto contenido de γ - y δ -tocoferoles y fitoesteroles, (Chirinos et al., 2015 y Chasquibol et al., 2016). Estos ácidos grasos los conocemos como ácidos grasos esenciales ya que sabemos que como seres humanos no podemos producirlos y debemos obtenerlos a través de nuestra dieta diaria.

Hoy en día la semilla de sacha inchi está teniendo mayor reconocimiento a nivel mundial por todas sus propiedades y además por los importantes beneficios para la salud ya que contribuyen positivamente a la disminución de la obesidad, diabetes, alergias, enfermedades coronarias y neurodegenerativas, y además se considera como un alimento con un contenido sobresaliente de antioxidantes naturales los cuales son llamados compuestos biológicamente activos y están

dentro del grupo de productos nutracéuticos (Guillén et al., 2003 y Simopoulos, 2011), así mismo se observa el aumento de su exportación en diferentes presentaciones, siendo el principal producto el aceite de sacha inchi, seguida de presentaciones como semillas tostadas, en polvo, semillas natural, snacks y en cápsulas; teniendo a Corea del Sur, Estados Unidos, Japón, Francia, Canadá y España como los principales mercados de exportación (SIICEX, 2021), este incremento en las exportaciones se ha dado también debido a que en el año 2014, la Food and Drug Administration (FDA), le otorga al aceite de sacha inchi la condición Generally Recognized as Safe (GRAS) considerándolo un alimento seguro para el consumo humano según la autoridad sanitaria de Estados Unidos.

El sacha inchi (semilla) tiene alto contenido de aceite, el rendimiento de la semilla varía dependiendo del proceso de extracción que se realice, según Follegatti-Romero et al. (2009) los métodos de extracción por fluido supercrítico (CO₂), extracción por Soxhlet y extracción por prensado en frío dan rendimientos de 50%, 54% y 38% de aceite que corresponden a un 92%, 100% y un 71% de recuperación del aceite según los métodos mencionados.

El objetivo del presente trabajo es ver si el proceso de encapsulación del aceite de sacha inchi influye en los parámetros de calidad y el perfil de ácidos grasos comparado con el aceite de semilla de sacha inchi que es comercializado en botella en las tiendas comerciales de Lima y el aceite que fue obtenido por el método de prensado en frío.

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
REPORTE DE SIMILITUD - TURNITIN	vii
INTRODUCCIÓN	viii
ÍNDICE GENERAL	ixx
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xii
CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1 Situación problemática	1
1.2 Definición de problema	3
1.3 Formulación de problema	
1.4 Objetivos	
1.4.1 Objetivo general	
1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5 Importancia de la investigación	
1.6 Viabilidad de la investigación	5
1.6.1 Viabilidad Técnica	
1.6.2 Viabilidad Económica	6
1.6.3 Viabilidad Social	
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes de la investigación	7
2.1.1 Microencapsulación de aceite de sachá inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) mediante secado por aspersión	
2.1.2 Estabilización oxidativa del aceite de sachá inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> Linneo) con suspensiones de mortiño (<i>Vaccinium meridionale</i> SW)	
2.2 Bases teóricas	8
2.2.1 Antecedentes del sachá inchi	
2.2.2 Generalidades del sachá inchi	9
2.2.2.1 Origen y distribución geográfica	

	Página
2.2.2.2 Clasificación taxonómica	9
2.2.2.3 Morfología general	10
2.2.2.4 Composición química y valor nutricional	11
2.2.3 Formas de consumo del aceite de sachá inchi	15
2.2.4 Aceite vegetal	16
2.2.4.1 Ácidos grasos	
2.2.5 Parámetros de calidad y estabilidad oxidativa de los aceites	20
2.2.6 Oxidación lipídica	21
2.2.7 Estudios sobre el consumo de sachá inchi	23
2.2.8 Métodos de obtención de aceite de semillas oleaginosas	24
2.2.8.1 Extracción por prensado en frío	25
2.2.8.2 Extracción por disolventes	
2.2.8.3 Fluido supercrítico	26
2.2.9 Encapsulación	27
2.2.10 Concepto de cápsula	28
2.2.11 Composición de las cápsulas	
2.2.12 Tipos de cápsulas	30
2.2.11.1 Cápsulas de gelatina blanda	
2.2.11.2 Cápsulas de gelatina dura	31
3.3 Definición de términos básicos	33
CAPITULO III. METODOLOGÍA	
3.1 Materia prima	35
3.1.1 Aceite de sachá inchi en cápsulas	
3.1.2 Aceite de sachá inchi en botella	36
3.1.3 Semillas de sachá inchi	37
3.2 Reactivos e insumos	38
3.3 Material y equipo de laboratorio	
3.4 Métodos	40

	Página	
3.4.1	Determinación de la acidez libre	40
3.4.2	Determinación del valor de peróxidos	41
3.4.3	Determinaciones espectrofotométricas UV	
3.4.4	Determinación de fenoles totales	42
3.4.5	Medición de oxidación lipídica mediante el método de TBARS	
3.4.6	Determinación de la actividad antioxidante por DPPH	43
3.4.7	Determinación de ácidos grasos	44
3.4.8	Análisis estadístico	
CAPITULO IV. RESULTADOS		
4.1	Obtención de aceite	45
4.2	Parámetros de calidad del aceite de sachá inchi	
4.3	Polifenoles y actividad antioxidante	49
4.4	Perfil de ácidos grasos	52
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN		
5.1	Obtención de aceite	57
5.2	Parámetros de calidad del aceite de sachá inchi	58
5.3	Polifenoles y actividad antioxidante	61
5.4	Perfil de ácidos grasos	64
CONCLUSIONES		69
RECOMENDACIONES		71
FUENTES DE INFORMACIÓN		72

ÍNDICE DE GRÁFICOS

TABLAS		Página
Tabla N° 1.	Análisis químico proximal de la almendra de sachá inchi	11
Tabla N° 2.	Resumen de ácidos grasos según su saturación reportado por diferentes autores	12
Tabla N° 3.	Composición de ácidos grasos del aceite de sachá inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> y <i>Plukenetia huayllabambana</i>) reportado por diferentes autores	13
Tabla N° 4.	Contenido total de ácidos grasos saturados e insaturados en sachá inchi y de otras semillas oleaginosas	14
Tabla N° 5.	Estructura de los principales ácidos grasos de aceite de sachá inchi	18
Tabla N° 6.	Representación del mecanismo de autooxidación de los aceites.	22
Tabla N° 7.	Ventajas y desventajas del uso de las cápsulas	29
Tabla N° 8.	Características de las muestras de aceite de sachá inchi en cápsulas	35
Tabla N° 9.	Características de las muestras de aceite de sachá inchi en botella	36
Tabla N° 10.	Características de las muestras de semilla de sachá inchi	36
Tabla N° 11.	Tabla de peso y rendimiento de las muestras de semilla de sachá inchi	46
Tabla N° 12.	Valores de algunos parámetros de calidad de aceite de sachá inchi en cápsulas y otras presentaciones	48
Tabla N° 13.	Análisis de varianza de algunos parámetros de calidad de aceite de sachá inchi en cápsulas y otras presentaciones	49
Tabla N° 14.	Contenido de Valor de TBA, FENOLES TOTALES y DPPH de aceites de sachá inchi en cápsulas y otras presentaciones	51

	Página
Tabla N° 15. Análisis de varianza de Valor de TBA, FENOLES TOTALES y DPPH de aceites de sachá inchi en cápsulas y otras presentaciones	52
Tabla N° 16. Composición de ácidos grasos de aceites de sachá inchi en cápsulas y otras presentaciones	53
Tabla N° 17. Estadística descriptiva del contenido de ácidos grasos	55
Tabla N° 18. Resumen de contenido de ácidos grasos monoinsaturados (MUFA), poliinsaturados (PUFA), insaturados totales (TUFA) y ácidos grasos saturados (SFA) en los tres grupos de muestras analizadas	56

FIGURAS

Figura N° 1. Huacos fitomorfos encontrados en las culturas pre-incas.	8
Figura N° 2. A. Flores de planta de sachá inchi. B. Cápsula del fruto verde de sachá inchi. C. Frutos maduro y semillas de sachá inchi. D. Semillas de sachá inchi sin cáscara (almendra). Fuente PROMPERÚ (2016)	10
Figura N° 3. Esquema del procedimiento de Scheher o método de matrices rotativas, para la formación de cápsula blandas. (Fuente Navascués y Hernández, 2003)	31
Figura N° 4. Esquema del proceso de fabricación de las cápsulas de gelatina dura (Fuente Navascués y Hernández, 2003)	32
Figura N° 5. Proceso para la obtención del aceite de sachá inchi	37
Figura N° 6. La media de los principales ácidos grasos presentes en las diferentes muestras de aceite de sachá inchi	54
Figura N° 7. Porcentajes de principales ácidos grasos presentes en las diferentes muestras de aceite de sachá inchi	56

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación problemática

En los últimos años ha habido un incremento del consumo de alimentos saludables y funcionales, esto se debe a que hoy en día en el Perú, los consumidores van adquiriendo conocimientos acerca de la necesidad de una alimentación saludable, llena de nutrientes y que sea equilibrada para evitar problemas de salud a futuro; y uno de los cambios más significativos es que están reemplazando el consumo de grasas animales por las grasas vegetales, aumentando el consumo de aceites vegetales demandando principalmente el aceite de soja, palma, colza, sacha inchi entre otros.

La semilla de sacha inchi se conoce como una fuente rica de aceite con una composición excepcional de ácidos grasos poliinsaturados de tipo omega 3 (ω -3) y omega 6 (ω -6) siendo del total de ácidos grasos un aproximado del 78% (Chirinos et al., 2015 y Chasquibol et al., 2016), estos tipos de ácidos grasos brindan grandes beneficios para la salud y la nutrición, y principalmente protege al organismo de enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT), como enfermedades del tipo cardiovasculares, cáncer, enfermedades coronarias, diabetes, entre otros (Guillén et al., 2003 y Chasquibol et al., 2016).

Una de las presentaciones más comunes en la que se comercializa el aceite de sacha inchi es en botella de vidrio oscuro, pero cada vez que se consume el aceite, el oxígeno entra en contacto directo con éste, provocando algunas alteraciones en el producto que terminan afectando su calidad, como por ejemplo la aceleración del proceso de oxidación. Esto ocurre debido a que los aceites vegetales que poseen ácidos grasos poliinsaturados en gran porcentaje, llegan a ser más susceptibles a la oxidación, ocasionando la degradación de algunos de sus componentes y la formación de nuevos compuestos que afectan no solo las

características sensoriales (olores rancios, sabores indeseables, decoloración), sino también el valor nutricional. Por estas razones, es importante conocer la evolución de los componentes originales del aceite además de las características de los compuestos que se formen cuando el aceite se somete a condiciones oxidativas (Alberdi et al., 2019).

La segunda opción de presentación del aceite de sachá inchi es en cápsulas; cada dosis de aceite está envasada individualmente en una cápsula, por lo tanto cada vez que se consume una cápsula de aceite de sachá inchi no afectará la calidad de las demás dosis de aceite debido a que el resto de aceite no entrará en contacto directo con el oxígeno, lo que da a suponer que no se darán procesos de oxidación tan acelerados y por lo tanto se conservará mejor la calidad del producto restante y así también conservará mejor la calidad de sus nutrientes.

Con respecto al tiempo de vida útil, las cápsulas presentan largos periodos de vida útil, pero no se sabe si el contenido del aceite sigue con el mismo grado de calidad o si ha sido afectado con el tiempo, además no hay mucha información sobre el comportamiento del aceite de sachá inchi en cápsulas.

La finalidad de este proyecto es determinar los parámetros de calidad del aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) en cápsulas, y el perfil de ácidos grasos, haciendo una comparación de los resultados de diferentes marcas. Además, se obtendrá aceite de sachá inchi de 10 ecotipos diferentes brindados por el INIA, que se analizarán para determinar sus parámetros de calidad y compararlos con los resultados obtenidos de las muestras encapsuladas.

1.2 Definición de problema

El aceite de sachá inchi posee un gran contenido de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), siendo el ácido α -linolénico (omega 3) y el ácido linoleico (omega 6) los más predominantes; este gran contenido de ácidos grasos poliinsaturados presente en el aceite viene a ser un factor que afecta su estabilidad oxidativa, volviéndose más susceptibles al proceso oxidativo siendo una de las principales causas del deterioro del aceite durante su producción, almacenamiento y distribución. Esto se debe a la degradación de algunos de sus componentes y a la formación de otros nuevos compuestos, ya que las especies reactivas al oxígeno reaccionan con los lípidos y otros compuestos orgánicos que conducen al daño estructural de los aceites vegetales (Custodio-Mendoza et al., 2019) y como consecuencia afectan la seguridad, el valor nutricional y las características sensoriales del aceite. Por estas razones, es de gran importancia conocer la evolución de los componentes originales del aceite y la identidad y características de los nuevos compuestos formados, cuando el aceite se somete a condiciones oxidativas (Alberdi et al., 2019).

1.3 Formulación de problema

¿Es posible determinar la influencia de la encapsulación sobre los parámetros de calidad y el perfil de ácidos grasos del aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo)?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar la influencia de la encapsulación sobre los parámetros de calidad y el perfil de ácidos grasos del aceite de sachá inchi en cápsulas de diferentes marcas y hacer una comparación con diferentes muestras de aceite de sachá inchi obtenidos de un reciente proceso de prensado en frío.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar el índice de acidez
- Analizar valor de peróxidos
- Determinar dienos (232 nm) y trienos conjugados (270 nm).
- Analizar la oxidación lipídica mediante las sustancias reactivas al ácido tio-barbitúrico (TBARS)
- Determinación de fenoles totales
- Determinación de la actividad antioxidante por 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)
- Analizar el perfil de ácidos grasos

1.5 Importancia de la investigación

Hoy en día en el Perú, el aceite de sachá inchi se viene consumiendo y comercializando gracias a los grandes efectos benéficos que brinda por poseer un gran contenido de ácidos grasos poliinsaturados, y en los últimos años su producción y exportación a diferentes países en diferentes presentaciones ha ido en aumento, sin embargo, no hay mucha información sobre el aceite de sachá inchi en cápsula.

El alto contenido de ácidos grasos del tipo poliinsaturados hace que el aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) sea más susceptible al deterioro oxidativo (Maurer et al., 2012). Los ácidos grasos poliinsaturados son los componentes del aceite más sensibles a los agentes oxidantes exógenos como oxígeno, ultravioleta y temperatura; y a los agentes oxidantes endógenos como las lipasas y lipooxigenasas.

La finalidad de este proyecto es obtener valores reales en donde podamos observar la influencia de la encapsulación sobre los parámetros de calidad y el perfil de ácidos grasos del aceite de sacha inchi, y además se determinará en qué condiciones se encuentra el aceite al momento en que iba a ser consumido, debido a que, desde el proceso de elaboración hasta el momento de consumo, el aceite de sacha inchi está expuesto a un determinado tiempo y a condiciones del ambiente que pueden alterar la calidad del producto.

Estos resultados no sólo beneficiarán al consumidor sino también beneficiarán al productor, ya que en algunos casos los productores no realizan los análisis necesarios de sus productos para determinar si el producto se encuentra en óptimas condiciones durante el tiempo de vida útil que indican.

El aceite de sacha inchi resulta de gran interés para las industrias alimenticias, farmacéuticas y estética, a nivel mundial debido a las propiedades y beneficios que presenta. Además, es importante saber acerca de su composición, con la finalidad de predecir su estabilidad, sus características y las ventajas que poseen al consumirlo.

1.6 Viabilidad de la investigación

1.6.1 Viabilidad Técnica

Se estima que este proyecto es viable debido a que se cuenta con la tecnología necesaria para realizar este proyecto en la USMP. Los métodos que se utilizarán sí se pueden realizar en dicha instalación.

1.6.2 Viabilidad Económica

Si será viable ya que la universidad brindará sus instalaciones para la realización del trabajo y los equipos necesarios. A parte de lo mencionado los demás gastos serán solventados por el tesista.

1.6.3 Viabilidad Social

Es viable y además es un aporte a la sociedad ya que se informará la calidad en la que se encuentra el aceite de sacha inchi que se distribuye en cápsulas y se tendrá información comparativa en la que se evaluará qué marca presenta un mejor producto.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Microencapsulación de aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) mediante secado por aspersión

La finalidad del microencapsulado del aceite de sachá inchi fue evitar aquellas reacciones oxidativas de degradación. Se empleó la maltodextrina y la goma arábiga en proporción (1:1), a 150 °C. se obtuvieron rendimientos de $82.10\% \pm 0.99$ y eficiencia de $93.90\% \pm 0.56$. La maltodextrina y la goma arábiga son los agentes formadores de la pared polimérica en la microencapsulación del aceite de sachá inchi. Este aceite mantuvo un porcentaje de humedad de $4.60\% \pm 0.02$ a las 26 semanas. Se observó que las microcápsulas tenían forma de esfera y superficie tipo lisa y libre de poros, evitando así la exposición del aceite de sachá inchi a las diferentes condiciones del ambiente (Pastuña et al., 2016).

2.1.2 Estabilización oxidativa del aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) con suspensiones de mortiño (*Vaccinium meridionale* SW)

Se observó el efecto de la suspensión de mortiño (*Vaccinium meridionale* SW) que influye sobre la estabilidad oxidativa de las muestras de aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) a diferentes concentraciones (1000, 1500 y 2000 mg/L), expuesto a condiciones de oxidación aceleradas por 12 horas (60°C y a 1700 mL/min flujo de aire). Los resultados con concentraciones entre 1500 y 2000 ppm de suspensión de mortiño arrojaron un valor mayor al 50% de porcentajes de inhibición de productos de oxidación formados como compuestos polares, valor de peróxido y trienos conjugados (Zapata et al., 2015).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Antecedentes del sachá inchi

El sachá inchi es una planta originaria del Perú que ha sido cultivada por las culturas pre-incas Mochica y Chimú hace aproximadamente 3000 a 5000 años, muestra de ello hallaron huacos fitomorfos en algunas tumbas, que representaban el fruto del sachá inchi y su planta trepadora, que fue llevada posteriormente a la selva (antisuyo) durante el imperio (ver Figura N° 1) (Correa y Bernal, 1992).

El sachá inchi, cuyo nombre científico le dio el naturalista Linneo (quien fue su descubridor), fue catalogado por vez primera en 1753 en la Amazonía peruana. El nombre de la semilla proviene de dos palabras de origen quechua; “sachá” que significa silvestre y la palabra “inchi” que hace referencia al maní que produce (Arfini y Antonioli, 2013).

La primera vez que mencionaron a nivel científico la palabra sachá inchi fue en 1980 en la Universidad de Cornell en USA, en donde realizaron análisis de contenido graso y proteico donde demostraron que las semillas del sachá inchi tienen alto contenido de proteínas (33%) y de aceite (48.7%) (Hazen y Stoewesand, 1980).



Figura N° 1. A. Huacos fitomorfos encontrados en las culturas pre-incas.
Fuente IIAP (2009)

2.2.2 Generalidades del sachá inchi

2.2.2.1 Origen y distribución geográfica

El sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) es de la familia Euphorbiaceae distribuida en Perú fundamentalmente en la selva alta y baja, como Madre de Dios, Huánuco, Junín, Pasco, Amazonas, Loreto, Ucayali, San Martín y Cuzco; crece de 100 hasta los 2000 metros de altura, en zonas muy precipitadas de 1084 mm³ en promedio al año y de 10 y 36.6 °C de temperatura (Guillén et al., 2003). En el continente americano, principalmente se encuentra en Perú, Bolivia, Surinam, Antillas Menores, Venezuela, Colombia, Ecuador y Brasil (Arfini y Antonioli, 2013), con una gran expansión económica en algunos países del sudeste asiático, como China, Tailandia y Vietnam (Gutiérrez et al., 2017).

2.2.2.2 Clasificación taxonómica

Arévalo (1996), describe al sachá inchi con la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: Vegetal
División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Orden: Euphorbiales
Familia: Euphorbiaceae
Subfamilia: Acalyphoideae
Tribu: Plukenetieae
Subtribu: Plukenetiinae
Género: *Plukenetia*
Especie: *volubilis* L

Nombre común de la semilla *Plukenetia volubilis* L.: Sacha inchi, Sacha inchi, Sacha maní, Maní del monte, Maní del inca.

2.2.2.3 Morfología general

La planta de sachá inchi es trepadora y monoica sus hojas acorazonadas (aovado) miden de 10 -12 cm de largo y de ancho 8 cm. Sus flores pueden ser masculinas o femeninas, las capsulas son en forma de estrella de 4, 5, 6 o 7 lóbulos que contienen semillas. Las semillas son de forma lenticulares, comprimidas en la parte lateral y de color marrón ovaladas de 1.5 a 2 cm de diámetro y 0.7 a 0.8 cm de ancho, abultada al centro, en el interior están los cotiledones (almendra) cubiertos por una película blanquecina. Tiene un peso de 0.771 a 0.774 gramos. Las almendras del sachá inchi vienen a ser la materia prima para producir su aceite (ver Figura N° 2).



Figura N° 2. A. Flores de planta de sachá inchi. B. Cápsula del fruto verde de sachá inchi. C. Frutos maduro y semillas de sachá inchi. D. Semillas de sachá inchi sin cáscara (almendra). Fuente PROMPERÚ (2016).

2.2.2.4 Composición química y valor nutricional

El sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo), contienen en promedio un 48% de aceite y 27% de proteínas (principalmente triptófano y treonina) (Guillén et al., 2003), su composición química presenta un alto contenido de γ - y δ -tocoferoles con un valor de 127.6 y 84 mg/100 g de aceite respectivamente además posee cantidades considerables de fitosteroles como campesterol, estigmasterol y β -sitosterol con valores de 15.3, 58.7 y 127.4 mg/100 g de aceite respectivamente, éstos últimos son importantes para la salud humana debido a su potencial para disminuir los niveles de colesterol en suero humano según Chirinos et al. (2015), y también la presencia de fenoles que tienen la capacidad de proteger al organismo del daño oxidativo, siendo todos estos los responsables del alto contenido de antioxidante de sus derivados.

Tabla N° 1. Análisis químico proximal de la almendra de sachá inchi

COMPONENTES	CONTENIDO (%)	
	<i>Plukenetia volubilis</i>	<i>Plukenetia huayllabambana</i>
Grasa	49.0	54.3
Proteína	29.6	24.5
Ceniza	2.7	3.8
Fibra	6.6	7.4
Carbohidratos	12.1	10.0

Fuente: Ruiz et al. (2013)

En el Perú se ha identificado las especies *Plukenetia volubilis*, *P. brachybotrya*, *P. polyandenia*, *P. lorentensis* y la nueva especie *P. huayllabambana* la cual se ha descrito recientemente (Dostert et al., 2009). La *Plukenetia huayllabambana* se caracteriza porque rinden un mayor porcentaje de aceite y mayor contenido de ácido α -linolénico (ALA) a comparación del *Plukenetia volubilis*. Según Ruiz et al. (2013), la variedad de *Plukenetia volubilis* presenta 49% de rendimiento de aceite y la variedad *Plukenetia huayllabambana* presenta un 54.3%. En la Tabla N°1 se muestran los valores de la composición química de la semilla de sachá inchi.

Tabla N°2. Resumen de ácidos grasos según su saturación reportado por diferentes autores

Aceite de Sacha Inchi	Ácidos grasos (%)			Relación $\omega 6/\omega 3$	Referencias
	Saturados	Monoinsaturados	Poliinsaturados		
<i>Plukenetia volubilis</i>	10.11	9.47	78.28	0.72	Chirinos et al., 2015
<i>Plukenetia volubilis</i>	7.9-9.1	10.8-13.2	78.0-81.1	0.83- 1.09	Chirinos et al., 2013
<i>Plukenetia volubilis</i>	7.2	9.6	83.2	0.68	Ruiz et al., 2013
<i>Plukenetia huayllabambana</i>	10.36	9.38	78.01	0.52	Chirinos et al., 2015

Fuente: Elaboración propia

El aceite que se obtiene de la semilla *Plukenetia volubilis* está compuesto principalmente por ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) seguido por los monoinsaturados (MUFA) y en menor proporción los saturados (SFA). Según diferentes autores la cantidad de poliinsaturados supera el 78% (Tabla N° 2). También se puede observar que los ácidos grasos del aceite de sachá inchi tienen una proporción de $\omega 6/\omega 3$ que varían de 0.68-1.09, que es cercana a la

relación 1:1 que según Simopoulos (2011) considera una relación óptima para la salud humana.

Tabla N° 3. Composición de ácidos grasos del aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* y *Plukenetia huayllabambana*) reportado por diferentes autores

Aceite de sachá Inchi	Origen de la semilla	Ácidos grasos (%)					Referencias
		Palmítico (C16:0)	Esteárico (C18:0)	Oleico (C18:1)	Linoleico (C18:2)	α-Linolénico (C18:3)	
<i>Plukenetia volubilis</i>	San Martín - Perú	2.76	2.00	6.82	33.18	55.24	Rodríguez et al., 2015
<i>Plukenetia volubilis</i>	San Martín-Perú	6.30	3.81	9.47	32.66	45.62	Chirinos et al., 2015
<i>Plukenetia volubilis</i>	San Martín-Perú	3.80	2.30	8.70	34.60	50.60	Ruiz et al., 2013
<i>Plukenetia volubilis</i>	Perú	4.67	3.50	10.70	33.50	44.00	Maurer et al., 2012
<i>Plukenetia volubilis</i>	Perú	4.30	3.00	9.00	36.20	46.80	Fanali et al., 2011
<i>Plukenetia volubilis</i>	Bogotá-Colombia	4.40	2.40	9.10	33.40	50.80	Gutiérrez et al., 2011
<i>Plukenetia huayllabambana</i>	Amazonas - Perú	6.61	3.75	9.38	26.67	51.34	Chirinos et al., 2015
<i>Plukenetia huayllabambana</i>	Amazonas-Perú	5.30	1.90	9.60	29.30	53.90	Ruiz et al., 2013

Fuente: Elaboración propia

Los ácidos grasos de tipo poliinsaturados predominantes son el α-linolénico (ALA) y el linoleico (LA), y se puede observar que el ácido oleico (AO) es el ácido graso monoinsaturado presente, además presentan valores muy bajos de ácidos grasos saturados como palmítico y esteárico (Rodríguez et al., 2015, Chirinos et al., 2015 y Chasquibol et al., 2016). Se puede observar en la Tabla N° 3, la composición de los ácidos grasos del aceite de sachá inchi de las

variedades de *Plukenetia volubilis* y *Plukenetia huayllabambana* reportado por diferentes autores, todos los estudios reportan que esta semilla posee un alto porcentaje de ácidos grasos de tipo insaturados y un bajo porcentaje de ácidos grasos saturados.

Según la Tabla N°4, la semilla se sacha inchi posee 80.9 % de poliinsaturados siendo una de las semillas con mayor cantidad de ácidos grasos poliinsaturados comparado con otras semillas oleaginosas como girasol, linaza y maíz que presentan 15.4%, 64.8%, 54.7% de PUFA respectivamente (Maurer et al., 2012); la semilla que presenta un valor cercano es la chía que posee 82% de PUFA según Villanueva et al. (2017); éstos ácidos grasos se caracterizan porque brindan grandes beneficios a la salud y la nutrición teniendo una gran diversidad en la aplicación tanto de la industria alimentaria como en la industria farmacéutica; además de todas estas características, el consumo más extendido de sacha inchi es en forma de aceite.

Tabla N°4. Contenido total de ácidos grasos saturados e insaturados en sacha inchi y de otras semillas oleaginosas

Ácidos grasos (%)	Semilla						
	Sacha Inchi ¹	Girasol ¹	Linaza ¹	Maíz ¹	Chía ²	Colza ³	Soja ³
Saturados	7.4	6.5	9.4	13.7	10.90	3.62	11.44
Monoinsaturados	10	77.9	22.1	30.5	7.10	72.60	27.62
Poliinsaturados	80.9	15.4	64.8	54.7	82	23.80	60.93

Fuente: 1. Maurer et al. (2012), 2. Villanueva et al. (2017), 3. Navas (2010)

2.2.3 Formas de consumo del aceite de sachá inchi

En la actualidad una de las formas de consumo del aceite de sachá inchi es de consumo directo, similar a la forma más tradicional de consumir el aceite de oliva, y es valorado por sus útiles propiedades fisicoquímicas y buenos atributos sensoriales (olor y sabor). El aceite puede usarse como un ingrediente funcional debido a su gran contenido de ácidos grasos insaturados y una relación favorable de ω -6 / ω -3 (Wang et al., 2018).

El aceite de la semilla de sachá inchi también se puede consumir en formulaciones alimenticias, incorporando este ingrediente en productos alimenticios y brindando un producto de mejor calidad y con mayor atractivo por el alto valor nutricional además de otros beneficios funcionales dependiendo de los beneficios que se quiera para el producto final con el fin de cumplir con las expectativas del consumidor como por ejemplo tener buen atributo sensorial, ya que la aceptación o rechazo del consumidor hacia un producto depende principalmente de éste (Wang et al., 2018).

De hecho, en estos últimos años se ha visto un incremento extraordinario en la demanda de los productos; esto es gracias a que hay mayor información disponible a la opinión pública la cual ayuda a ampliar su conocimiento sobre los beneficios de los alimentos y sus aportes sobre la salud, repercutiendo de esta manera en sus dietas alimenticias (Arfini y Antonioli, 2013).

Por otra parte, en la industria cosmética y farmacéutica, lo usan para el cuidado personal ya que tiene un efecto nutritivo en la piel y le provee al cabello un aspecto suave y brillante, hoy en día algunas preparaciones que contienen el aceite de sachá inchi ya poseen patentes registradas que poseen efectos antiinflamatorios y antienvjecimiento, además algunos autores proponen el uso del aceite para tratamientos médicos de enfermedades coronarias, artritis y diabetes aunque aún faltan estudios

clínicos que demuestren su efectividad sobre lo mencionado (Wang et al., 2018).

2.2.4 Aceite vegetal

Los aceites de origen vegetal de tipo comestibles son productos alimenticios constituidos principalmente por glicéridos de ácidos grasos obtenidos de fuentes vegetales únicamente (CODEX STAN 210, 1999). Debido a que contienen macronutrientes como ácidos grasos esenciales y glicéridos, compuestos fenólicos, carotenoides, minerales y vitaminas liposolubles los aceites vegetales comestibles son esenciales en la dieta de las personas (Custodio-Mendoza et al., 2019).

2.2.4.1 Ácidos grasos

Los ácidos grasos son biomoléculas orgánicas de naturaleza lipídica formada por una cadena hidrocarbonada lineal larga, que tiene en un extremo un solo grupo carboxilo ($-\text{COOH}$). Los ácidos grasos se diferencian unos de otros por su longitud, por el número de dobles enlaces y por las posiciones de dobles enlaces entre carbono y carbono ($\text{C}=\text{C}$), lo cual determina su clasificación en saturados, monoinsaturados y poliinsaturados (Navas, 2010).

2.2.4.1.1 Ácidos grasos saturados

Son aquellos compuestos que no tienen ningún doble enlace es decir presentan un enlace simple entre carbono y carbono, y todos los átomos de carbono están saturados de hidrogeno a excepción de los terminales, es decir están unidos a dos átomos de hidrogeno. Estos ácidos pueden ser de cadenas cortas o largas, según su peso molecular, dentro de los cuales podemos encontrar el ácido

mirístico (C14:0) y palmítico (C16:0) (Navas, 2010). Ver Tabla N° 5.

Se pueden encontrar principalmente en alimentos de origen animal, el consumo en exceso trae efectos negativos al organismo, como incremento de colesterol total, infartos, enfermedades coronarias, promueve al desarrollo de enfermedades hepáticas, cerebrales y diabéticas (FAO, 2012).

2.2.4.1.2 Ácidos grasos monoinsaturados

Los ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) son aquellos que poseen un solo enlace doble en su estructura, por ello se observa que tienen solo un doble enlace entre carbono-carbono. El ácido graso oleico (C18:1) es un ejemplo de este tipo de ácidos el cual es fácil encontrarlo en la mayoría de grasas naturales (Navas, 2010). Ver Tabla N° 5.

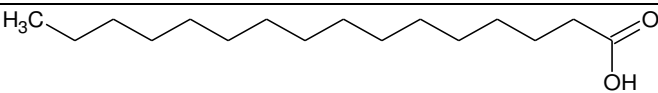
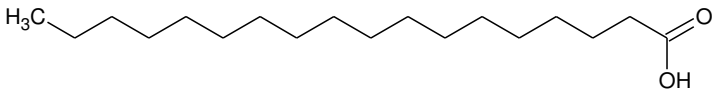
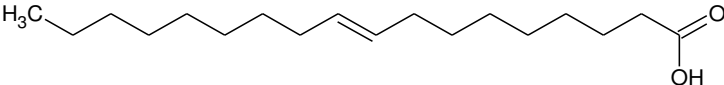
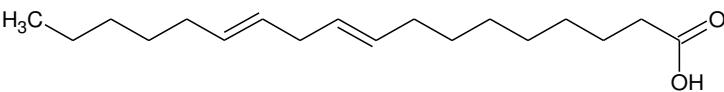
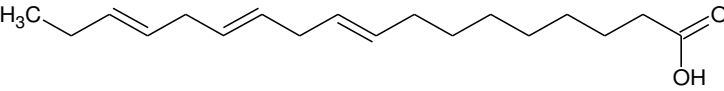
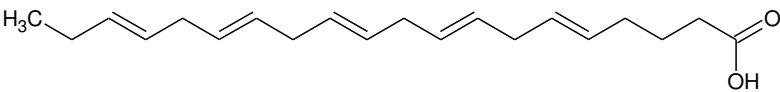
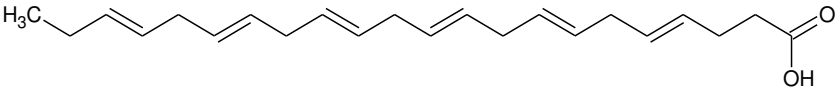
Su consumo promueve la prevención de enfermedades cardiovasculares, de presión arterial y cerebral, mediante la aportación de colesterol bueno, promoviendo la salud y reducción de radicales libres, causantes principales de enfermedades cancerígenas y degenerativas (FAO, 2012).

2.2.4.1.3 Ácidos grasos poliinsaturados

Los ácidos grasos de tipo poliinsaturados (PUFA), tienen un grupo polar carboxilo que se encuentra unido a una cadena hidrocarbonada de 16 a 20 carbonos con enlaces

dobles en dos o más pares de carbono. Los ácidos grasos de 18 carbonos como el ácido graso linoleico (C18:2) y el ácido graso α -linolénico (C18:3) son los más comunes de los PUFA también llamados omega 6 y omega 3, respectivamente (Navas, 2010). Ver Tabla N° 5.

Tabla N° 5. Estructura de los principales ácidos grasos de aceite de sachá inchi

Nombre común	Estructura	Tipo de ácido graso
Ácido palmítico (AP)		Saturado C16:0
Ácido esteárico (AE)		Saturado C18:0
Ácido oleico (AO)		Monoinsaturado (ω -9) C18:1
Ácido linoleico (AL)		Poliinsaturado (ω -6) C18:2
Ácido α -linolénico (ALA)		Poliinsaturado (ω -3) C18:3
Ácido eicosapentaenoico (EPA)		Poliinsaturado de cadena larga C20:5
Ácido docosahexaenoico (DHA)		Poliinsaturado de cadena larga C22:6

Fuente: Elaboración propia

Los ácidos grasos de cadena larga como el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el docosahexaenoico (DHA), de tipo omega 3, deben incorporarse en la dieta, ya que el cuerpo humano carece de las enzimas necesarias para sintetizarlos; por ello son denominados ácidos grasos esenciales (FAO, 2012). Ver en la Tabla N° 5 la estructura química del EPA y DHA.

Estos ácidos grasos mencionados no pueden actuar directamente sobre el organismo humano, primero deben ocurrir una serie de reacciones de elongación y desaturación para que recién se produzcan los beneficios en la salud y nutrición del consumidor. Diversos estudios afirman que estos ácidos grasos son importantes en prevención de diversas enfermedades de tipo cardiaca coronarias, así como de la hipertensión, y tienen un efecto hipocolesterolémico cuando se consumen como suplementos alimenticios (Follegati-Romero et al., 2009).

La relación del consumo de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, omega 6/omega 3 ($\omega 6/\omega 3$), ha ido en aumento, según algunos estudios la relación ideal debe ser de 1:1 y máximo 2:1, dependerá del tipo de dieta, ya que se ha determinado que una relación alta de $\omega 6/\omega 3$ promueve la patogénesis de diferentes enfermedades del sistema inflamatorio y autoinmune, y además de las enfermedades cardiacas, mientras que las relaciones bajas ejercen efectos supresivos (Simopoulos, 2011). El aceite de sacha inchi presenta una proporción $\omega 6/\omega 3$ en un rango de 0.68-1.09, considerado como un rango óptimo para la salud del consumidor.

2.2.5 Parámetros de calidad y estabilidad oxidativa de los aceites

La calidad y estabilidad de los aceites son los factores más importantes capaces de influir en su aceptabilidad. Los parámetros de calidad pueden definir el grado de conservación y el grado de pureza del aceite después de su proceso de extracción, basándose en las normas establecidas para aceites. Algunos parámetros como el índice de acidez determinan la cantidad de ácidos grasos libres, expresados en ácido linolénico, los valores bajos obtenidos indican frescura de aceite, la buena calidad del aceite y que no hay hidrólisis química o enzimática de los glicerolípidos, otro parámetro importante es el valor de peróxidos que indica el grado de oxidación, el cual se relaciona con los hidroperóxidos que son productos de la oxidación primaria; los compuestos formados durante la oxidación primaria producto de la oxidación del aceite absorben a 232 nm y los compuestos formados producto de la oxidación secundaria como aldehídos, cetonas y ácidos absorben a 270 nm, que corresponde a la medición de dienos conjugados y trienos conjugados respectivamente, los cuales se forman debido al reordenamiento de aquellos dobles enlaces de los ácidos grasos de tipo insaturados.

La estabilidad oxidativa es otro parámetro importante para medir la calidad del aceite, que viene a ser la susceptibilidad del aceite a la oxidación alterando significativamente las propiedades nutracéuticas, la estabilidad de su calidad sensorial (generando olores y sabores indeseables) ocasionado por la oxidación de los omegas y por la descomposición de vitaminas A, E y D, causando que se deprecie el producto y sea rechazado por el consumidor (Zapata et al., 2015).

2.2.6 Oxidación lipídica

La oxidación lipídica es la reacción química más agresiva en los alimentos, la cual es inducida por la presencia de ROS (especies reactivas de oxígeno), luz, radiación UV, tiempo y temperatura; las reacciones radicales tienen lugar formando varios compuestos orgánicos como cetonas, alcoholes, ácidos, hidrocarburos y aldehídos como productos secundarios asociados a la ranciedad oxidativa. La presencia de tales compuestos no solo afecta negativamente las propiedades organolépticas de los aceites vegetales, sino que también podría ser potencialmente dañina para la salud humana (Custodio-Mendoza et al., 2019).

La oxidación lipídica da como resultado muchos productos de oxidación primarios y secundarios, siendo uno de ellos el malondialdehído (MDA), que se han utilizado ampliamente en la evaluación del estado oxidativo en diversas muestras alimenticias y biológicas. La presencia de malondialdehído en aceite no solo disminuye la calidad y sus características nutricionales, sino que además representa un riesgo potencial para la salud humana, debido a que es altamente reactivo con las proteínas y los ácidos nucleicos. Al estar involucrado en muchas enfermedades, la MDA se considera mutagénica, cancerígena y citotóxica, y se ha utilizado ampliamente como un marcador de estrés oxidativo. (Custodio-Mendoza et al., 2019).

El proceso consta de tres etapas: iniciación, propagación y terminación (Laguerre et al., 2007).

La etapa de iniciación empieza principalmente en aquellos ácidos grasos que son altamente insaturados, esto es debido que los grupos metilenos que están adyacentes a los enlaces dobles son altamente reactivos, mayormente es iniciada por agentes externos formando un radical libre, estos radicales libres son inestables y necesitan abstraer un

hidrogeno para estabilizarse. Después de finalizar la etapa de iniciación la oxidación se acelera y en consecuencia incrementan el contenido de peróxido y el consumo de oxígeno.

La etapa de propagación se va dar en dos partes, en la iniciación se ha formado un radical el cual va a reaccionar con el oxígeno triplete y va a producir el radical peroxilo. Posteriormente el peroxilo va a abstraer un átomo de hidrógeno de otra molécula de ácido graso insaturado llegando a formar hidroperóxidos y un nuevo radical libre que va a repetir el proceso formando una reacción de cadena, hasta ser interrumpido por las reacciones de terminación.

En la siguiente etapa de terminación va a continuar el proceso de oxidación con la transformación de hidroperóxidos formando productos secundarios más estables. Los hidroperóxidos se descomponen cuando el doble enlace adyacente al grupo hidroperóxilo se rompe ocasionando que se produzca un radical alcoxilo o hidroxilo ocasionando la formación de hidrocarburos, alcoholes, aldehídos y cetonas volátiles, además de los no volátiles como aldehídos no volátiles, trigliceroles oxidados y sus polímeros (Laguerre et al., 2007).

Tabla N° 6. Representación del mecanismo de autooxidación de los aceites.

Iniciación	$RH \rightarrow R^{\bullet} + H^{\bullet}$
Propagación	$R^{\bullet} + O_2 \rightarrow ROO^{\bullet}$ $ROO^{\bullet} + RH \rightarrow ROOH + R^{\bullet}$
Terminación	$R^{\bullet} + ROO^{\bullet} \rightarrow ROOR$ $ROO^{\bullet} + ROO^{\bullet} \rightarrow ROOR + O_2$ $R^{\bullet} + R^{\bullet} \rightarrow R-R$

Fuente: Laguerre et al., 2007

2.2.7 Estudios sobre el consumo de sachá inchi

Según estudios realizados en Perú sobre el consumo de aceite de sachá inchi han demostrado que su consumo es seguro y confiable. El consumo cotidiano de sachá inchi puede ser ayudar a prever algunas enfermedades cardiovasculares en América Latina, donde es conocido que el aceite de oliva es poco consumido a pesar de ser reconocido por sus propiedades cardioprotectoras.

En un estudio realizado a ratones de la cepa Nish a quienes se les dio un consumo diario balanceado y dosis en forma creciente de aceite de sachá inchi, del cual se obtuvieron reportes de una dosis letal DL50 de 111,65 mL/kg de peso. La mortalidad, en dosis mayor a 64 mL/kg peso, fue de una dosis dependiente y se relacionó con una disminución de peso y diarrea. En ratas macho Holtzman, utilizaron dosis repetidas por un tiempo de 60 días, en donde se comprobó que es inocuo el consumo de aceite de sachá inchi con una DL50 mayor a 37 g / kg de peso corporal, esto demostraría que es seguro el consumo del aceite de sachá inchi en esta especie (Gorriti et al., 2010).

En otro estudio realizado en *Rattus rattus* var albinus que consumieron desde un inicio una dieta rica en grasas, se les dio aceite de sachá inchi, gemfibrozilo o solución fisiológica con la finalidad de hacer una comparación en el efecto hipolipemiante de los tratamientos (disminuir los niveles de lípidos en sangre). Se pudo observar que los niveles de triglicéridos séricos habían disminuido a la primera y segunda semana del tratamiento en porcentajes de 35,42 % y 45,57 % respectivamente para sachá inchi; 34,81 % y 44,83 % respectivamente para gemfibrozilo y 30,03 % y 27,24 % respectivamente para solución fisiológica, con esto se concluyo lo que demuestra una eficacia similar del aceite con respecto a los medicamentos ensayados (Vicuña et al., 2012).

En un estudio realizado a pacientes con hipertrigliceridemia se obtuvieron como resultado una reducción de 25,9%; 25,5% y 30,9% gracias al consumo de omega 3 en cantidades de 2, 3, y 4 g/día respectivamente, por 12 semanas. Este resultado es importante si comparamos con el resultado obtenido con el consumo de aceite de oliva quien da un valor de reducción de 4,3%, y también disminuyendo el colesterol HDL y LDL (Kastelein et al., 2014).

Finalmente, un estudio en personas que aparentemente estaban sanas, se les dio a consumir entre 10 a 15 ml de aceite de sachá inchi en las mañanas durante 16 semanas las cuales presentaron una buena aceptabilidad y no presentaron efectos secundarios clínicos. En estas personas solo se reportó un aumento en la frecuencia de las deposiciones a diferencia de los animales quienes reportaron diarrea como efecto secundario. Por todo esto se llegó a la conclusión de que el consumo de aceite de sachá inchi en cantidades de 10-15 ml es seguro y se puede recomendar para el consumo humano. Se obtuvieron también que los valores de colesterol total y LDL habían disminuido y que los valores de HDL habían aumentado, y no se presentaron modificaciones en los niveles de triglicéridos ni en la glucosa, hubo un ligero incremento de insulina e índice de HOMA aunque no alcanzaron niveles de insulinoresistencia (Gonzales y Gonzales, 2014).

2.2.8 Métodos de obtención de aceite de semillas oleaginosas

Los alimentos leguminosos han tenido un gran impacto en los últimos años, debido a sus propiedades nutraceuticas que tienen frente a las necesidades humanas (Codex, 1999). Muchas de estas leguminosas son comercializadas en presentación líquida, siendo los aceites los más distribuido en los diversos mercados del mundo. Existen diversos métodos para extraer los aceites.

2.2.8.1 Extracción por prensado en frío

Este método consiste en la aplicación de una fuerza mecánica (presión) en la superficie de la matriz alimenticia, el cual provocará la desestabilización de sus componentes celulares hasta liberar su contenido. Las semillas oleaginosas poseen alto contenido lipídico (aceites) ricos en ácidos grasos insaturados y proteínas llamadas oleosinas, su rendimiento estará en función de su variedad botánica, los parámetros utilizados en el prensado y las condiciones en la que se encuentre antes de entrar al proceso (Señorans, 2006).

Este método tiene la ventaja de obtener aceites de buena calidad debido a que su proceso no requiere de temperaturas mayores de 45 °C ni sustancias químicas que intervengan, de esta manera las propiedades biológicas y funcionales que poseen estas matrices oleaginosas son conservadas en los aceites extraídos. Sin embargo, una de las desventajas de este método en comparación de otros, es que el rendimiento obtenido es relativamente bajo, ya que, al ser prensado, una parte del aceite queda retenido en los residuos sólidos (Señorans, 2006).

2.2.8.2 Extracción por disolventes

Este método es conocido como extracción sólido-líquido, su aplicación consiste en el uso de disolventes orgánicos el cual permitirá la solubilidad de los componentes dipolares de una matriz alimenticia, permitiendo la extracción de su contenido mediante la separación de masa en fases.

Los disolventes orgánicos más convencionales que se usan para la extracción de lípidos son el hexano, cloroformo, metanol y el éter isopropílico, sin embargo, estos disolventes orgánicos presentan

diferentes comportamientos frente al contenido lipídico de las matrices alimenticias, esto debido a que los lípidos conformados por ácidos grasos, tienen propiedades anfipáticas el cual posee regiones polares y apolares que pueden interactuar con disolventes de su misma polaridad para llevar a cabo su solubilidad, por lo que su selectividad estará en función a la eficacia que tienen al extraer (Ullauri, 2010).

Soxhlet es uno de los métodos más antiguos de extracción y su procedimiento está basado en la inmersión de un solvente sobre una matriz alimenticia, que mediante la sifonación y condensación de un disolvente orgánico (éter de petróleo o hexano) calentado dentro un sifón, este disolvente irá lavando y solubilizando la matriz hasta obtener todo el contenido lipídico, el cual se obtendrá en un balón de vidrio que está fijado en la base del sistema con calefacción. Una vez completado el ciclo de extracción, el disolvente que se encuentra en el balón es separado del aceite mediante presión atmosférica o vacío a temperaturas bajas (Ullauri, 2010).

2.2.8.3 Fluido supercrítico

La técnica de extracción de Fluido supercrítico (SC-CO₂) utiliza un gas inerte como el CO₂, no genera contaminación del producto obtenido ya que trabaja directamente con la matriz vegetal, mediante una molienda previa, el comportamiento del CO₂ como fluido supercrítico se logra por encima de su punto crítico, que corresponde a 2,8 atm de presión y 31 °C, estado en el cual adquiere el poder de solvatación de un líquido y el de difusibilidad de un gas. Con esta técnica se obtienen altos rendimientos de aceite y de alta pureza que con otras técnicas de extracción además de estar libre de humedad y residuos de solventes, ya que el CO₂ utilizado en estado supercrítico es una sustancia inerte y al salir a las condiciones

atmosféricas se vuelve gas y se separa fácilmente del aceite extraído). Con la tecnología mencionada, se logrará extraer compuestos sensibles al calor, fácilmente oxidables, como los PUFA, y así se evita el uso de algún solvente tóxico como el n-hexano, dejando algún residuo en el producto, esto gracias a que el CO₂ no es tóxico, no es inflamable, es barato y se separa fácilmente del extracto y de la matriz sólida. El dióxido de carbono supercrítico (SC-CO₂) se ha establecido como un buen disolvente alternativo para la extracción de lípido (Follegatti-Romero et al., 2009).

2.2.9 Encapsulación

En la industria alimentaria, la encapsulación puede definirse como una tecnología de envasado de sólidos, líquidos o materiales gaseosos en pequeñas cápsulas que liberan su contenido a velocidades controladas durante períodos prolongados y en condiciones específicas (Nedovic et al., 2011).

La sustancia encapsulada tiene el nombre de material central, relleno, fase interna, fase de carga útil o agente activo y la sustancia que encapsula puede llamarse membrana, recubrimiento, cubierta, material de soporte, material de pared, fase externa o matriz. El material que se usa es la fase externa debe ser de calidad alimentaria y ser capaz de formar una barrera para el agente activo y sus alrededores (Nedovic et al., 2011).

La encapsulación es una tecnología que proporciona barreras entre los compuestos bioactivos sensibles y el medio ambiente (condiciones adversas de temperatura, humedad, oxígeno y radiaciones UV) principalmente y, además permite enmascarar el mal sabor u olor, estabilizar los ingredientes de los alimentos o aumentar su biodisponibilidad. Entre las razones más importantes de este proceso es proporcionar una estabilidad mejorada en los productos finales y durante el

procesamiento. Además, permite la liberación del contenido a una velocidad controlada a lo largo del tiempo o bajo condiciones específicas en el lugar deseado (Nedovic et al., 2011).

2.2.10 Concepto de cápsula

La palabra cápsula deriva del latín «capsa», que significa caja, que designa distintas cosas en forma de cajita o que se refiere a pequeño recipiente. Las cápsulas pueden ser de gelatina dura o rígidas (hard gelatin capsules) o de gelatina blanda (soft gelatin), en cuyo caso también se las denomina cápsulas elásticas (soft elastic capsules). Las cápsulas constituyen la segunda forma farmacéutica sólida de administración oral utilizada con mayor frecuencia después de los comprimidos (Navascués y Hernández, 2003).

2.2.11 Composición de las cápsulas

El material de encapsulación se selecciona en base a la funcionalidad que el encapsulado debe proporcionar al producto final, las posibles restricciones para el material de revestimiento, la concentración de encapsulados, los requisitos de estabilidad, el tipo de liberación y las restricciones de costos. Los materiales utilizados en el diseño de la cubierta protectora de los encapsulados deben ser de material alimenticio, biodegradables y capaces de formar una barrera entre la fase interna y sus alrededores (Nedovic et al., 2011).

Los materiales más utilizados para la encapsulación en aplicaciones alimentarias es la gelatina disuelta en agua desmineralizada; la viscosidad y el poder gelificante de la gelatina son dos propiedades esenciales para la fabricación en las cápsulas. Los plastificantes son las sustancias auxiliares o coadyuvantes, según el uso previsto de las cápsulas, (la glicerina el más

utilizado), colorantes, conservantes, humectantes y materiales gastrorresistentes. Los plastificantes se encargan de proporcionar la elasticidad y la flexibilidad de las cápsulas. En el caso de las de gelatina dura tienen menos de un 5%, y las de gelatina blanda, tienen entre 20% y 40%. Además, se cuenta con los colorantes que se utilizan para colorear las cápsulas o como opacificantes. Los conservantes se añaden para prevenir el crecimiento bacteriano y fúngico durante la fabricación. Los materiales gastrorresistentes son utilizados para controlar la liberación intestinal de las cápsulas. La selección de los materiales de recubrimiento depende de la naturaleza del material del núcleo, el proceso de encapsulación y el uso final del producto. El uso de las cápsulas presenta ventajas y desventajas que se pueden apreciar en la Tabla N° 7 (Navascués y Hernández, 2003 y Nedovic et al., 2011). Ver en anexo 1 las especificaciones e información técnica de las cápsulas.

Tabla N° 7. Ventajas y desventajas del uso de las cápsulas

Ventajas	Desventajas
Son insípidas y permiten enmascarar características organolépticas desagradables del principio activo.	No pueden fraccionarse ni utilizarse en pacientes con problemas de deglución.
Protegen el fármaco de agentes del exterior como el polvo, el aire o la luz (pero no de la humedad).	Un mayor coste de producción a nivel industrial con respecto a otras formas (comprimidos).
Permiten administrar en una sola forma farmacéutica uno o más fármacos en la dosis exacta deseada.	Requieren unas condiciones de conservación especiales en cuanto a humedad y temperatura.
Facilitan a los pacientes la identificación del medicamento por el color.	Dificultades a la hora de conseguir una uniformidad de peso en las cápsulas rígidas.

Fuente: (Navascués y Hernández, 2003).

2.2.12 Tipos de cápsulas

2.2.11.1 Cápsula de gelatina blanda

Estas cápsulas son formadas, rellenas y cerradas en una misma operación por lo tanto están formadas por una sola pieza, y presentan diversos tamaños y formas (perlas, ovoide, elíptica, etc.). Le proporciona una protección frente a la oxidación o hidrólisis en medios oleosos, sin embargo, no se puede incorporar sustancias líquidas que sean capaces de migrar a través de la cubierta como agua a una proporción superior a 5% ni compuestos orgánicos volátiles.

Para su elaboración primero se realiza la elaboración de la masa de la cubierta en la cual la gelatina se sumerge en glicerol (plastificante) y se lleva a baño maría, en este momento se agregan los demás coadyuvantes pendientes y se concentra la disolución hasta obtener la viscosidad que se desea.

El método industrial que más se utiliza es el de las matrices giratorias (Método Scherer) que tiene rendimientos de hasta 100 000 capsulas por hora y que posee una exactitud de dosificación de 1 %. El procedimiento consiste en hacer fluir la gelatina sobre dos cilindros de modo que se forme sobre ella dos láminas de gelatina continuas, las cuales pasan entre unas matrices rotatorias troqueladas, al mismo tiempo el material de relleno es inyectado mediante bombas volumétricas entre las dos láminas. La fuerza que ingresa el líquido inyectado expande la lámina de la gelatina, los extremos de las capsulas son cortados por presión y calor (ver Figura N° 3).

Las cápsulas mayormente se envasan en blíster de plástico o aluminio los cuales se encargan de asegurar una mayor protección de las formas unitarias. De preferencia deben mantenerse a temperaturas menores de 30°C y en lugares secos.

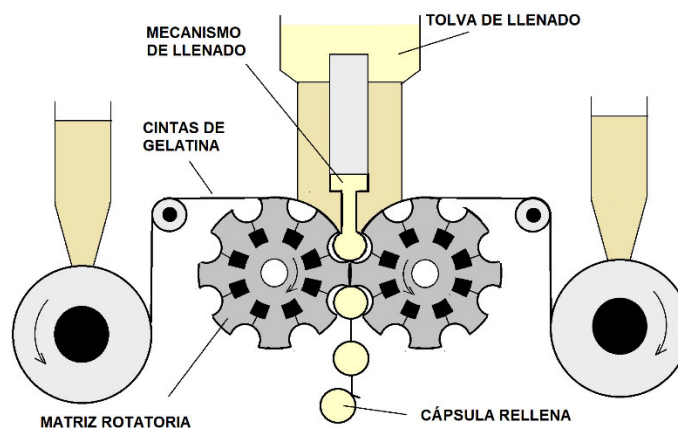


Figura N° 3. Esquema del procedimiento de Scherer o método de matrices rotativas, para la formación de cápsula blandas. (Fuente Navascués y Hernández, 2003)

2.2.11.2 Cápsulas de gelatina dura

Están formadas por dos secciones cilíndricas redondeadas en un extremo, una de ellas de mayor longitud que se encargará de contener el material de relleno mientras que la más corta y de mayor diámetro actúa como un tipo de cierre de la cápsula ajustando sobre el cuerpo para formar una sola unidad cerrada (ver Figura N° 4).

Para su elaboración primero se prepara la gelatina, luego de 2 horas que esté bien disuelta la gelatina se somete al vacío para eliminar el aire atrapado en la solución. Se ajusta la viscosidad puesto que de ello va a depender el espesor final de las paredes de la cubierta. La mezcla se transfiere a moldes especiales donde se

forman las cápsulas. Luego se realiza el secado de la película de las cápsulas, corte y formación de cuerpos y tapas. Las cápsulas son diseñadas de tal forma que el cerrado se va producir por el simple ajuste de la tapa sobre el cuerpo. El llenado puede ser de forma manual o a escala industrial. En algunos casos para asegurar el sellado colocan una gota de gelatina en la zona de contacto. Luego del llenado y sellado tiene que pasar por un proceso de limpieza y abrillantamiento antes de ser envasado.

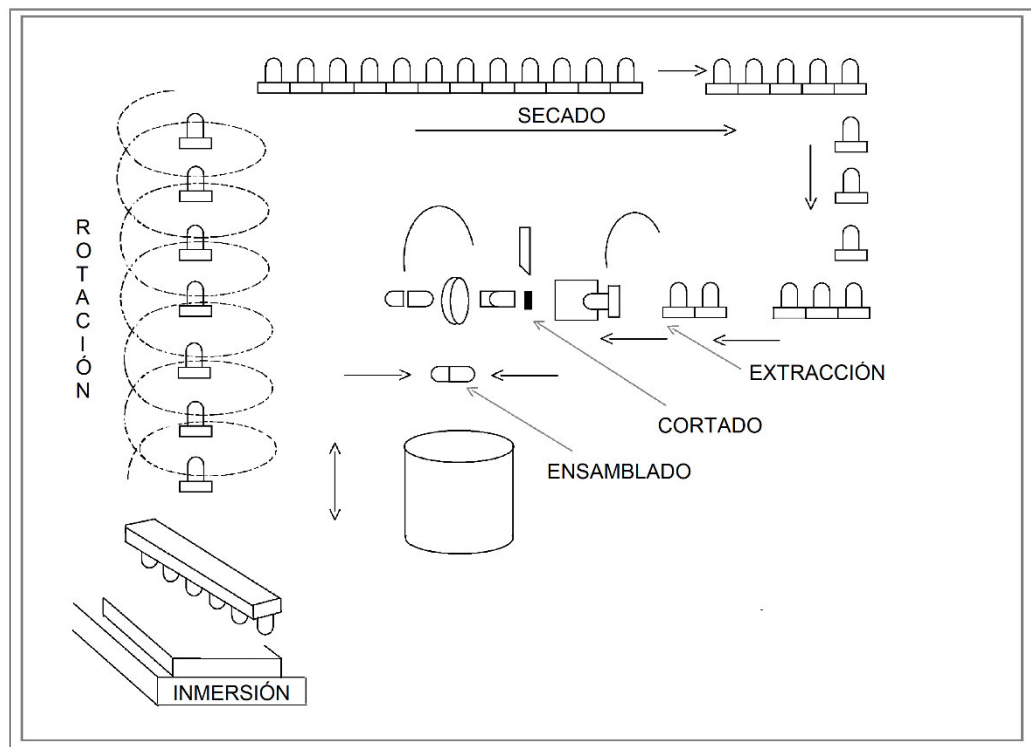


Figura N° 4. Esquema del proceso de fabricación de las cápsulas de gelatina dura (Fuente Navascués y Hernández, 2003).

Las cápsulas son almacenadas en envases formados por hojas de aluminio termosoldadas y son introducidas en cajas de cartón protegiéndolo de cambios bruscos de temperatura y humedad.

3.3 Definición de términos básicos

Estabilidad oxidativa: Es un parámetro que ayuda a evaluar la calidad del aceite midiendo la resistencia (susceptibilidad) de los lípidos a la oxidación, determinando la concentración de productos de oxidación intermedios y finales (Zapata et al., 2015 y Ramos-Escudero et al., 2019).

Productos de oxidación: Estos van a alterar significativamente las propiedades nutracéuticas y sensoriales del aceite, lo cual va a generar olores y sabores indeseables provocando así la pérdida del valor nutricional debido a la oxidación de los omegas y la descomposición algunas vitaminas como A, E y D (Zapata et al., 2015).

Hidroperóxidos: Son los productos de oxidación iniciales y estos compuestos son inestables, por lo que se descomponen fácilmente en alcoholes, aldehídos, ácidos grasos libres y cetonas (Liu et al., 2014).

Ácidos grasos esenciales (AGE): Son ácidos poliinsaturados que no pueden ser producidos por el hombre o los animales, de manera endógena, pero que deben derivarse de fuentes dietéticas, de manera exógena. El ácido linoleico y el ácido α -linolénico son compuestos parentales de las familias n-6 y n-3 (PUFA) de ácidos grasos esenciales.

Estrés oxidativo: Es cuando hay un desequilibrio entre los compuestos oxidantes (llamados radicales libres) y antioxidantes (atrapadores de radicales libres) en el organismo. Si la cantidad de compuestos oxidantes es mayor que la cantidad de antioxidantes, estos van a contribuir al desarrollo de enfermedades como cáncer, arteriosclerosis, el envejecimiento y proceso neurodegenerativos como la enfermedad del Alzheimer.

Radical libre: Es una sustancia química que tiene en su estructura uno o más electrones no apareados. Es muy reactiva y capaz de formar otros radicales libres en cadena, lleva a una rápida propagación con moléculas aledañas y mayor daño potencial.

Antioxidante: Son compuestos químicos que tienen la capacidad de prevenir o disminuir el proceso de oxidación causado por la concentración de radicales libres formados por exceso en el organismo humano y especies reactivas de oxígeno (ERO).

CAPITULO III METODOLOGÍA

3.1 Materia prima

3.1.1 Aceite de sachá inchi en cápsulas

Seis frascos de aceite de sachá inchi en cápsula. Las muestras fueron obtenidas de diversas tiendas naturistas, farmacias y supermercados de Lima, de los distritos de La Molina, San Borja y San Luis. Las características de las muestras se observan en la Tabla N° 8.

Tabla N° 8. Características de las muestras de aceite de sachá inchi en cápsulas

N° MUESTRA	CÓDIGO	MARCA	TIPO DE CÁPSULA	VOLUMEN	ENVASE FINAL	LUGAR DE PRODUCCION
1	SIOC01	ECO WASI	DURA	500 mg	FRASCO DE PLÁSTICO VERDE	PERÚ
2	SIOC02	KAITA	DURA	500 mg	FRASCO DE PLÁSTICO VERDE	PERÚ
3	SIOC03	SACHA PERU	DURA	500 mg	FRASCO DE PLÁSTICO BLANCO	PERÚ
4	SIOC04	HELTY	BLANDA	500 mg	FRASCO DE PLÁSTICO AMBAR	PERÚ
5	SIOC05	BLAMAC	BLANDA	500 mg	FRASCO DE PLÁSTICO AMBAR	PERÚ
6	SIOC06	FARMA RECETAS	BLANDA	500 mg	CAJA DE CARTON Y BLISTER	MÉXICO

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Aceite de sachá inchi en botella

Dos muestras de aceite de sachá inchi en botella de vidrio, obtenidas de un supermercado de Lima, las características se muestran en la Tabla N° 9.

Tabla N° 9. Características de las muestras de aceite de sachá inchi en botella

N° MUESTRA	CÓDIGO	MARCA	ENVASE	COLOR DE ENVASE	VOLUMEN (ML)	LUGAR DE PRODUCCIÓN
1	SI0B01	NUTRIOMEGA	BOTELLA DE VIDRIO	VERDE OSCURO	250	PERÚ
2	SI0B02	ECO WASI	BOTELLA DE VIDRIO	VERDE OSCURO	250	PERÚ

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 10. Características de las muestras de semilla de sachá inchi

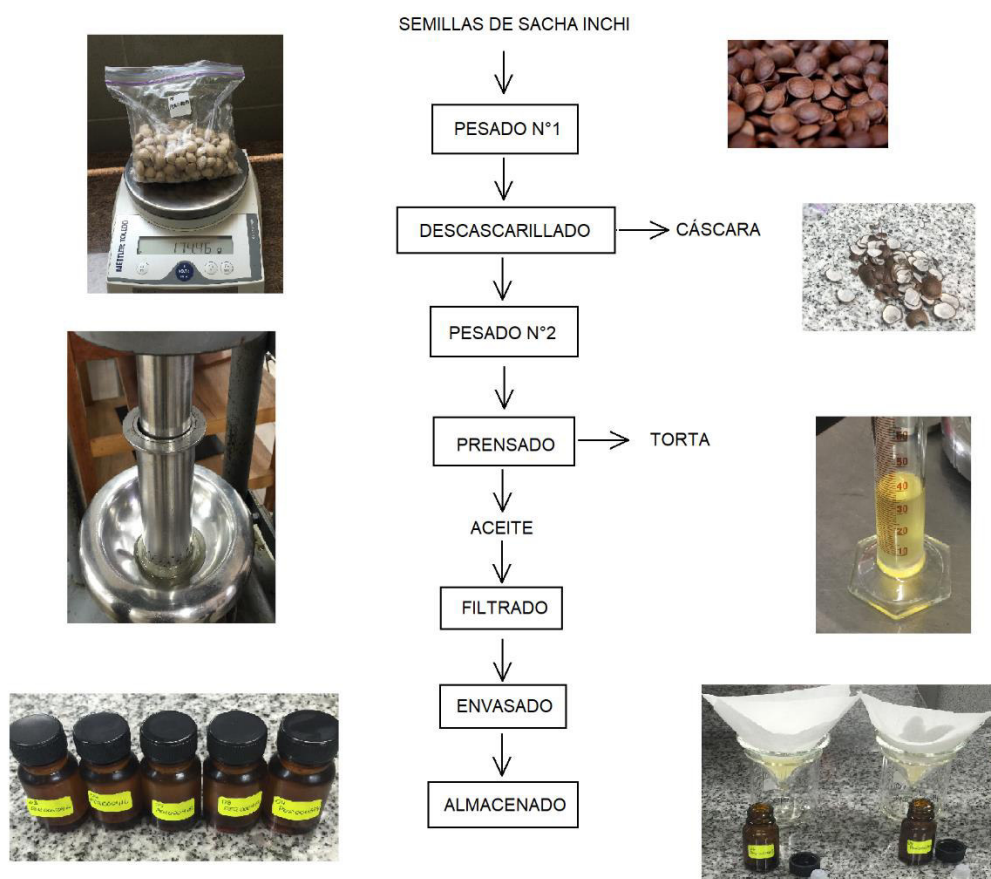
N° MUESTRA	CÓDIGO NACIONAL	IDENTIFICACIÓN	DEPARTAMENTO	PESO TOTAL DE LA MUESTRA (gr.)
1	PER000419	SAN FERNANDO	SAN MARTÍN	237.86
2	PER000418	MOYOBAMBA	SAN MARTÍN	246.86
3	PER000397	BARRANQUITA	SAN MARTÍN	213.86
4	PER000401	CABALLOCOCHA	LORETO	257.03
5	PER000396	CUMBAZA	SAN MARTÍN	240.66
6	PER000405	MUYUY	LORETO	224.02
7	PER000394	SHILCAYO	SAN MARTÍN	197.86
8	PER017598	SHAPAJA	SAN MARTÍN	260.38
9	PER000416	CHAZUTA	SAN MARTÍN	229.74
10	PER000398	HABANA	LORETO	243.46

Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Semillas de sachá inchi

Para realizar este proyecto se obtuvieron semillas de sachá inchi (especie: *Plukenetia volubilis* L.), del Instituto de Innovación Agraria – INIA, quienes garantizan que las semillas son de alta calidad y son del lugar de procedencia que manifiestan. Las características están en la Tabla N° 10. Las muestras de aceite fueron obtenidas por prensado en frío, utilizando una prensa hidráulica ubicada en la USMP, según muestra la Figura N° 5.

Figura N° 5. Proceso para la obtención del aceite de sachá inchi



Fuente: Elaboración propia

3.2 Reactivos e insumos

- Ácido acético (Fermont)
- Ácido gálico (Sigma - Aldrich)
- Ácido tricloroacético- TCA (Merck)
- Ácido tiobarbitúrico- TBA (Sigma - Aldrich)
- Persulfato
- 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)
- Carbonato de Sodio
- Alcohol absoluto (Spectrum)
- Cloroformo (Merck)
- Almidón como indicador (Fermont)
- Fenolftaleína (Sigma - Aldrich)
- Folin Ciocalteu (Sigma - Aldrich)
- Hidróxido de potasio (Merck)
- Isooctano (J.T. Backer)
- Tiosulfato de sodio (J.T. Backer)
- Yoduro de potasio (Merck)
- Acetona (Matheson)

3.3 Material y equipo de laboratorio

Materiales de laboratorio

- Baguetas
- Buretas
- Celdas de cuarzo
- Cocinilla
- Cuchara espátula

- Embudo con vástago
- Embudo sin vástago
- Espátula
- Fiola 10mL, 25 mL, 50mL, 100 mL
- Gotero
- Gradilla
- Magnetos
- Matraces
- Micropipeta de 100 uL
- Micropipeta de 1000 uL
- Pinza mariposa
- Pipeta
- Probeta
- Soporte universal
- Tips de 100 uL
- Tips de 1000 uL
- Tubos de centrifuga
- Vasos beackers 10 mL, 50 mL, 100 mL
- Vasos precipitados

Equipos

- Espectrofotómetro (Marca: Thermo Scientific, Modelo: UV-Vis Genesys 10S)
- Prensa Hidráulica (USMP)
- Agitador vórtex para tubo (Marca: MXS)
- Agitador magnético (Marca: Thermo Scientific Super- Nuova Multi-Place)
- Balanza analítica (Marca: Sartorius).
- Equipo de baño María (Marca: JSR, Modelo JSIB-22T)

3.4 Métodos

La determinación de parámetros de calidad del aceite de sachá inchi se realizó mediante la utilización de diferentes parámetros que son utilizados para realizar la clasificación de los aceites en función de las diferentes categorías existentes, Norma Técnica peruana (NTP, 2018) y el Reglamento de la Comunidad Europea (2015).

3.4.1 Determinación de la acidez libre

La determinación de los ácidos libres de las muestras de aceite de sachá inchi se realizó según la metodología propuesta por el Reglamento de la Comunidad Europea (2015). Se depositó 5 gramos de aceite en un matraz y se le agregó 50 ml de alcohol absoluto. Luego se agregó 3 gotas de fenolftaleína al 1% en etanol y se agitó vigorosamente en un vortex. Se valoró con KOH 0.1 M hasta el viraje del indicador en donde la coloración rosa permaneció al menos por 10 segundos. Se realizaron tres repeticiones por cada muestra. La expresión de la acidez libre se expresó en porcentaje de ácido linolénico.

$$\text{Acidez libre (\%)} = V \times N \times 278 / 10 \times P$$

Donde:

V: Volumen de la disolución valorada de hidróxido de potasio utilizada en mL.

N: Concentración exacta, de la dilución de hidróxido de potasio utilizada.

M: Masa molecular del ácido en que se expresa el resultado (ácido linolénico, M=278).

P: Peso en gramos del aceite de sachá inchi.

3.4.2 Determinación del valor de peróxidos

La determinación del valor de peróxidos de las muestras de aceite de sacha inchi fue desarrollado siguiendo el método propuesto por el Reglamento de la Comunidad Europea (2015). Se pesó 2 g de aceite con precisión y se le añadió 10 mL de cloroformo (se disolvió mediante agitación rápidamente la muestra), luego se adicionó 15 mL de ácido acético y 1 mL de la disolución saturada de yoduro de potasio. Se agitó por un tiempo de 30 segundos y se dejó reposar por 5 minutos en oscuridad. Posteriormente se añadió 75 mL de agua destilada. Se valoró el yodo liberado con la disolución de tiosulfato sódico (0,002 N), utilizando la disolución de almidón como indicador.

$$\text{Valor de peróxidos (mEq O}_2\text{/kg)} = V \times N \times 1000 / P$$

Donde:

V: Volumen de la disolución valorada de tiosulfato sódico empleados en el ensayo.

N: Normalidad exacta de la disolución de tiosulfato sódico empleado.

P: Peso de la muestra en gramos.

3.4.3 Determinaciones espectrofotométricas UV

Las determinaciones espectrofotométricas UV fueron medidas mediante el método propuesto por el Reglamento de la Comunidad Europea (2015). Una alícuota de aceite de sacha inchi fue diluida con ciclohexano (0,5%, p/v), los espectros UV fueron medidos entre 200 y 300 nm. Los valores de K_{232} y K_{270} fueron calculados en base a las absorbancias a 232 y 270 respectivamente. Se realizaron tres repeticiones por cada muestra. Los coeficientes de extinción de las longitudes de onda fueron calculados de la siguiente manera:

$$K_{\lambda} = L / C \times E$$

Donde:

λ : Longitud de onda a 232 nm o 270 nm.

L: Lectura de absorbancia a 232 nm o 270 nm.

E: Espesor de la cubeta en cm (1 cm de paso óptico)

C: Concentración de la disolución en g/100 mL.

3.4.4 Determinación de fenoles totales

El contenido total de compuestos fenólicos se estimó utilizando el método colorimétrico Folin-Ciocalteu (Singleton y Rossi, 1965). Se tomó una alícuota de 5 g. de cada muestra de aceite luego se adicionó 1500 μ L del reactivo de Folin-Ciocalteu.

La mezcla se dejó reposar durante 1 minuto a temperatura ambiente y se añadió 1200 μ L de carbonato sódico (solución saturada). Después de 24 horas en oscuridad, se midió la absorbancia a 725 nm. La concentración de compuestos fenólicos totales se expresó como mg de ácido gálico equivalente por kilogramo de muestra utilizando una ecuación que se obtuvo a partir de una curva de calibrado de ácido gálico para cuantificar fenoles totales.

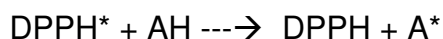
3.4.5 Medición de oxidación lipídica mediante el método de TBARS

El método que se utilizó es según Ahn y Kim (1998). Se tomaron 100 mg de lípidos y se añadieron secuencialmente el siguiente reactivo: 2 ml de solución de TBA/ácido tricloroacético (TCA) (20 mM TBA en 150 g/L de TCA).

La mezcla se calentó en un baño de agua a 90°C por 15 min y se enfrió a temperatura ambiente. Después, se añadió 2 mL de cloroformo y la mezcla se centrifugó a 1.000 rpm durante 15 min en un agitador magnético. La absorbancia del sobrenadante se midió a 532 nm en un espectrofotómetro, contra un blanco que contenía 0,1 ml de H₂O y 2 ml de solución TBA/TCA. Se realizaron tres repeticiones por cada muestra. Los resultados se expresaron en mg de malondialdehído (MDA) por Litro de aceite.

3.4.6 Determinación de la actividad antioxidante por DPPH

Las muestras se prepararon disolviendo 50 µL de cada muestra de aceite en 450 µL de benceno y se sacó una alícuota 50 µL de la mezcla y se hizo reaccionar con 950 µL de DPPH. Se llevó a un agitador vórtex a máxima velocidad por un minuto y luego se dejó reposar por el lapso de 1 hora a temperatura ambiente. Seguido a eso se midió la absorbancia a 515 nm en un espectrofotómetro. Se realizaron tres repeticiones por cada muestra.



El porcentaje de inhibición (capacidad antioxidante) se calculó midiendo la absorbancia a 515 nm, utilizando la siguiente fórmula.

$$\text{Inhibición (\%)} = [(A_{\text{Control}} - A_{\text{muestra}}) / A_{\text{Control}}] \times 100$$

Donde, A_{Control} es la absorbancia del control y A_{muestra} la absorbancia de la muestra a 515 nm.

3.4.7 Determinación de ácidos grasos

Análisis de ácidos grasos mediante cromatografía de gases con detector de ionización de llama

Los esteres metílicos de ácidos grasos (FAMEs) fueron obtenidos de acuerdo con el método estándar (IUPAC, 1987). Una alícuota de aceite de 50 mg aproximadamente fue disuelto con 2 mL de n-hexano y luego fue transesterificado con 300 μ L de una disolución de etanólica de hidróxido de potasio. Después de un minuto el sobrenadante traslúcido fue colectado y analizado en un cromatógrafo de gases (Agilent Technologies, Santa Clara) equipado con una columna capilar SE-54, 30 m x 0.25 mm x 0.25 μ m de espesor (Supelco). Las condiciones de análisis fueron idénticas como se describe en Ramos-Escudero et al., (2019). La composición de ácidos grasos fue expresada en porcentaje (%).

3.4.8 Análisis estadístico

Los datos fueron agrupados y presentados en tablas; se expresan en valores medios \pm desviación estándar, las pruebas se realizaron por triplicado. Los valores fueron evaluados mediante la prueba de diferencias de medias de Tukey utilizado en ANOVA con sus respectivas pruebas de significancia al 95 % ($p < 0.05$) para determinar la existencia de diferencias significativas entre las muestras. El procesamiento de los datos se realizó utilizando un software estadístico Action Stat (versión libre 3.6.331.450 build 7- 28/05/2019- Brasil).

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1 Obtención de aceite

La obtención del aceite fue a partir de diez ecotipos de semillas de sachá inchi (etiquetadas: SIOP01 - SIOP10). En la Tabla N° 11, se resume el rendimiento del sistema de extracción. El rendimiento del aceite con respecto del peso total de la semilla fue de 9.73 – 19.72 % y el rendimiento del aceite con respecto a la almendra osciló entre 14.89 - 29.74 %.

4.2 Parámetros de calidad del aceite de sachá inchi

La medición de la calidad en los lípidos está enfocada en los parámetros de calidad fisicoquímica y en su estabilidad oxidativa, ya que la oxidación viene a ser una de las causas principales de su deterioro; y éstas se evalúan en función de muchos parámetros como: el valor de peróxidos, índice de acidez, dienos y trienos conjugados, determinación de fenoles totales, medición de oxidación lipídica mediante el método de TBARS y la determinación de la actividad antioxidante por DPPH.

El índice de acidez evalúa la cantidad de ácidos grasos libres en el aceite (expresado en porcentaje de ácido α -linolénico como indicador patrón, ácido graso más abundante en el aceite de sachá inchi), es un factor importante para clasificar el aceite en grados comerciales (Ramos-Escudero et al., 2019; NTP, 2018). El índice de acidez se define como el número de miligramos de KOH que se requieren para neutralizar los ácidos grasos libres, contenidos en un gramo de grasa.

Tabla N° 11. Tabla de peso y rendimiento de las muestras de semilla de sachu inchi

CÓDIGO DE MUESTRA	CÓDIGO NACIONAL	PESO DE SEMILLA (g)	PESO DE ALMENDRA (g)	PESO DE CÁSCARA (g)	VOLUMEN DE ACEITE OBTENIDO (mL)	RENDIMIENTO DE ALMENDRA SOBRE LA SEMILLA (%)	RENDIMIENTO DE ACEITE SOBRE PESO DE LA SEMILLA (%)	RENDIMIENTO DE ACEITE SOBRE PESO DE LA ALMENDRA (%)
SIOP01	PER000419	237.86	151.45	86.41	35	63.67	14.71	23.11
SIOP02	PER000418	246.86	158.00	88.86	36	64.00	14.58	22.78
SIOP03	PER000397	213.86	140.45	73.41	35	65.67	16.37	24.92
SIOP04	PER000401	257.03	167.95	89.08	25	65.34	9.73	14.89
SIOP05	PER000396	240.66	152.78	87.88	33	63.48	13.71	21.60
SIOP06	PER000405	224.02	150.90	73.12	36	67.36	16.07	23.86
SIOP07	PER000394	197.86	137.36	60.50	32	69.42	16.17	23.30
SIOP08	PER017598	260.38	174.46	85.92	47	67.00	18.05	26.94
SIOP09	PER000416	229.74	150.96	78.78	31	65.71	13.49	20.54
SIOP10	PER000398	243.46	161.41	82.05	48	66.30	19.72	29.74

Fuente: Elaboración propia

El valor de peróxido (VP), se ha reconocido como un índice útil, éste valor mide la concentración de hidroperóxido que resulta del proceso de oxidación como productos de oxidación primaria, su unidad de medida es en unidades miliequivalentes de oxígeno por kilogramo de aceite. Por lo general el PV alcanza un valor máximo durante el proceso de oxidación seguido de una disminución (Liu et al., 2014).

El método de determinaciones espectrofotométricas evalúa el desplazamiento de un doble enlace hacia el carbono del grupo metil más cercano, dando como resultado la formación de un dieno conjugado (DC), en el cual presentan intensa absorción a 232 nm, y cuando se degrada los peróxidos forman los llamados compuestos secundarios que da como resultado la formación de trienos conjugados (TC), presentando una intensa absorción a 270 nm, el aumento en el contenido de DC y TC es proporcional a la absorción de oxígeno; mientras mayor sea el nivel de dieno conjugado y trieno conjugado, será menor la estabilidad oxidativa. Los valores de dieno y trieno conjugado son considerados buenos indicadores de oxidación primaria y oxidación secundaria respectivamente.

Como se puede apreciar en la Tabla N° 12, el 50 % de las muestras analizadas de aceite en cápsulas presentan valores de acidez por debajo de 1% y el otro 50 % presentan valores entre 1 y 2%. Cuando se evalúa el conjunto de las muestras analizadas de aceite de sachá inchi en cápsula el valor de la media es 0.86%. El 100 % de las muestras de aceite de semilla presentaron valores menores a 1%, de igual manera las muestras SIOB01 y SIOB02.

Tabla N° 12. Valores de algunos parámetros de calidad de aceite de sachá inchi en cápsulas y otras presentaciones.

Muestra	Acidez libre (%)	Valor de peróxido (mEq O₂/Kg)	Dienos conjugados	Trienos conjugados	ΔK
SIOC01	0.53 ± 0.00	1.85 ± 0.22	0.35 ± 0.00	0.11 ± 0.00	0.10
SIOC02	0.53 ± 0.01	3.71 ± 0.04	0.46 ± 0.00	0.09 ± 0.00	0.08
SIOC03	0.40 ± 0.02	2.03 ± 0.09	0.38 ± 0.00	0.09 ± 0.00	0.08
SIOC04	1.13 ± 0.00	1.77 ± 0.03	0.40 ± 0.00	0.06 ± 0.00	0.07
SIOC05	1.23 ± 0.01	1.22 ± 0.03	0.42 ± 0.00	0.07 ± 0.00	0.07
SIOC06	1.34 ± 0.02	3.22 ± 0.04	0.60 ± 0.00	0.10 ± 0.00	0.10
SIOP01	0.63 ± 0.02	1.70 ± 0.01	0.60 ± 0.00	0.06 ± 0.00	0.06
SIOP02	0.60 ± 0.03	5.45 ± 0.06	0.57 ± 0.00	0.05 ± 0.00	0.05
SIOP03	0.59 ± 0.02	2.12 ± 0.04	0.58 ± 0.07	0.06 ± 0.02	0.07
SIOP04	0.54 ± 0.03	2.45 ± 0.05	0.61 ± 0.00	0.06 ± 0.00	0.06
SIOP05	0.96 ± 0.04	1.14 ± 1.32	0.49 ± 0.00	0.05 ± 0.00	0.05
SIOP06	0.99 ± 0.04	2.09 ± 2.41	0.58 ± 0.00	0.06 ± 0.00	0.06
SIOP07	0.57 ± 0.02	1.67 ± 0.04	0.60 ± 0.00	0.07 ± 0.00	0.07
SIOP08	0.51 ± 0.05	3.04 ± 0.08	0.63 ± 0.05	0.08 ± 0.02	0.08
SIOP09	0.55 ± 0.01	1.80 ± 0.01	0.62 ± 0.00	0.07 ± 0.00	0.07
SIOP10	0.37 ± 0.01	1.92 ± 0.04	0.57 ± 0.00	0.06 ± 0.00	0.07
SIOB01	0.47 ± 0.11	2.20 ± 0.03	0.48 ± 0.02	0.12 ± 0.01	0.12
SIOB02	0.72 ± 0.15	1.44 ± 0.04	0.31 ± 0.00	0.10 ± 0.00	0.08

Fuente: Elaboración propia

Para el caso, del valor de peróxidos se puede ver que la totalidad de las muestras analizadas presentan valores menores a 10 mEq O₂/kg. La media del valor de peróxido de las muestras analizadas de aceite en cápsulas de cubierta blanda mostró un valor de 2.04 mEq O₂/kg. Sin embargo, este valor es relativamente menor en comparación con la media de las muestras de cápsula de cubierta dura (2.49 mEq O₂/kg).

Tabla N° 13. Análisis de varianza de algunos parámetros de calidad de aceite de sachá inchi en cápsulas y otras presentaciones.

	Cápsulas	Prensado	Botella	Fcal	Pr > F	Sig.
Acidez libre (%)	0.86 ± 0.42	0.63 ± 0.19	0.60 ± 0.18	2.89	0.0700	ns
Valor de peróxido (mEq O ₂ /Kg)	2.30 ± 0.95	2.34 ± 1.20	1.82 ± 0.54	0.35	0.7067	ns
Dienos conjugados	0.44 ± 0.09 ^b	0.59 ± 0.04 ^a	0.39 ± 0.12 ^b	40.93	0.0000	***
Trienos conjugados	0.09 ± 0.02 ^b	0.06 ± 0.01 ^c	0.11 ± 0.02 ^a	37.17	0.0000	***
ΔK	0.08 ± 0.01 ^b	0.06 ± 0.01 ^c	0.10 ± 0.02 ^a	26.65	0.0000	***

Fuente: Elaboración propia

El valor de dienos conjugados estaba en un rango de 0.35 – 0.60 y para trienos conjugado un rango de 0.06 – 0.11, en el caso de aceite de sachá inchi en cápsulas. Según la Tabla N°13, la media de dienos y trienos conjugados es de 0.44 y 0.09 respectivamente y un ΔK de 0.08. Como se puede ver en la Tabla N° 12, el valor de DC y TC del 100 % de las muestras analizadas son menores a 0.63 y 0.12 respectivamente.

4.3 Polifenoles y actividad antioxidante

La prueba del ácido tio-barbitúrico (TBA) evalúa la formación de malonaldehído (MDA), considerado como un producto secundario principal de la oxidación lipídica. Esta reacción tiene la desventaja de la falta de especificidad ya que otros productos químicos que contienen grupos carbonilo también reaccionan con TBA formando las sustancias reactivas al ácido tio-barbitúrico (TBARS) (Custodio-Mendoza et al., 2019).

Los compuestos fenólicos, gracias a sus propiedades antioxidantes, tienen el poder de retardar la degradación oxidativa de los lípidos y mejorar la calidad y el valor nutricional de los alimentos asegurando la estabilidad oxidativa de los

ácidos grasos poliinsaturados que imparten el sabor característico al aceite (Fanali et al., 2011).

La determinación de la actividad antioxidante por DPPH, se utiliza para cuantificar la capacidad captadora de radicales libres de las muestras, se puede apreciar cómo los porcentajes de inhibición del radical DPPH, que indican que tan buenos secuestradores de radicales pueden ser mediante la técnica DPPH, ya que nos indica que parte del radical queda sin estabilizar. Una muestra con buena actividad antioxidante por DPPH se encuentra en el orden de un porcentaje de inhibición mayor del 50 % (Yepes et al., 2017).

Los valores de TBA de las muestras de aceite de sachá inchi en cápsulas estuvieron en rangos de 0.50 – 2.98 mg MDA/L, según la Tabla N° 14. Las muestras SIOC01, SIOC02 y SIOC03 presentan valores más altos de TBA siendo estos 1.19, 2.98 y 1.78 mg MDA /L respectivamente, en comparación con las muestras SIOC04, SIOC05 y SIOC06 que presentan valores como 0.55, 0.50 y 0.97 mg MDA /L respectivamente.

Como se puede observar en la Tabla N° 15, la media de TBA en orden de menor a mayor corresponden a las muestras de aceite en botella, aceite encapsulado y finalmente las muestras de aceite de semilla, con valores de 0.48, 1.33 y 4.28 mg MDA/L respectivamente.

Según la Tabla N° 14, los valores de los compuestos fenólicos totales de las seis muestras de aceite de sachá inchi en cápsulas están en el rango de 78.79 y 203.82 mg GAE/kg. Las muestras de cápsulas de cubierta dura presentan mayor variación de valores de compuestos fenólicos totales mientras que las muestras de cápsulas de cubierta blanda presentan resultados más cercanos que van de 162.51 mg GAE/kg. a 167.13 mg GAE/kg. Según la Tabla N° 15, las muestras de aceite en cápsula, aceite de semilla y aceite en botella presentan una media de 145.7, 51.02 y 97.33 mg GAE/kg respectivamente. El contenido más bajo de

compuestos fenoles fue de 25.96 y el contenido más alto fue de 203.82 que corresponden a las muestras SIOP10 y SIOC03 respectivamente.

Tabla N° 14. Contenido de Valor de TBA, FENOLES TOTALES y DPPH de aceites de sachá inchi en cápsulas y otras presentaciones.

Muestra	Valor TBA (mg MDA/L)	FENOLES TOTALES (mg GAE/kg)	DPPH (% Inhibición)
SIOC01	1.19 ± 0.02	97.90 ± 2.75	24.60 ± 8.42
SIOC02	2.98 ± 0.24	78.79 ± 3.81	49.02 ± 4.51
SIOC03	1.78 ± 0.55	203.82 ± 2.96	40.92 ± 2.82
SIOC04	0.55 ± 0.04	164.06 ± 10.69	53.85 ± 2.97
SIOC05	0.50 ± 0.02	162.51 ± 4.38	48.56 ± 4.53
SIOC06	0.97 ± 0.17	167.13 ± 0.16	69.05 ± 7.18
SIOP01	5.68 ± 3.32	63.55 ± 19.62	57.09 ± 2.23
SIOP02	5.39 ± 1.87	90.40 ± 8.65	69.24 ± 3.11
SIOP03	6.19 ± 1.39	54.66 ± 0.48	68.87 ± 3.94
SIOP04	7.62 ± 1.78	69.18 ± 0.22	69.87 ± 6.12
SIOP05	2.92 ± 0.16	37.96 ± 0.70	76.13 ± 2.99
SIOP06	2.78 ± 0.36	59.31 ± 4.92	73.47 ± 4.24
SIOP07	4.44 ± 0.55	36.37 ± 4.92	68.27 ± 3.92
SIOP08	2.77 ± 0.26	43.05 ± 16.85	60.17 ± 4.37
SIOP09	2.47 ± 0.40	29.76 ± 8.55	57.03 ± 5.50
SIOP10	2.51 ± 0.39	25.96 ± 4.82	56.69 ± 21.93
SIOP01	0.58 ± 0.32	110.18 ± 6.76	50.95 ± 1.13
SIOP02	0.38 ± 0.05	84.47 ± 1.18	48.32 ± 1.75
AV. TOTAL	2.87	87.73	57.89

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 15. Análisis de varianza de Valor de TBA, FENOLES TOTALES y DPPH de aceites de sachá inchi en cápsulas y otras presentaciones.

	Cápsulas	Prensado	Botella	Fcal	Pr > F	Sig.
Valor TBA (mg MDA/L)	1.33 ± 0.93 ^b	4.28 ± 1.85 ^a	0.48 ± 0.14 ^b	23.60	0.0000	***
FENOLES TOTALES (mg GAE/kg)	145.70 ± 4.13 ^a	51.02 ± 6.97 ^b	97.33 ± 3.97 ^b	29.88	0.0000	***
DPPH (% Inhibición)	47.67 ± 14.67 ^b	65.68 ± 7.28 ^a	49.64 ± 1.86 ^b	16.59	0.0000	***

Fuente: Elaboración propia

Las muestras de aceite de sachá inchi en cápsulas presentaron una actividad inhibitoria o captación de radicales DPPH en un rango de 24.60 – 69.05 %, así también se puede ver que las muestras de aceite de sachá inchi en cápsulas de cubierta dura presentan una media menor que las de cubierta blanda, siendo estos valores 38.18 % y 57.17 % de inhibición DPPH respectivamente. El menor y mayor valor obtenido de todas las muestras analizadas corresponde a la muestra SIOC01 y SIOP05 que presentan porcentajes de inhibición de 24.60 % y 76.13%, según la Tabla N° 14.

4.4 Perfil de ácidos grasos

El perfil de ácidos grasos nos ayuda a determinar qué proporción de cada ácido graso posee el aceite que se está analizando y poder conocer su valor nutricional. Los ácidos grasos libres son significativos porque aumentan la susceptibilidad del aceite a la oxidación, dependiendo de las proporciones de cada ácido presente se podrá determinar la estabilidad del aceite además de definir la calidad de éste, según Maurer et al., (2012).

Tabla N° 16. Composición de ácidos grasos de aceites de sachá inchi en cápsulas y otras presentaciones

Muestra	Palmítico	Esteárico	Oleico	Linoleico	α -linolénico	$\omega 6/\omega 3$
SIOC01	4.58	3.42	9.32	31.47	40.78	0.77
SIOC02	4.06	3.24	10.75	32.40	44.74	0.72
SIOC03	4.69	3.78	11.85	30.12	41.03	0.73
SIOC04	4.58	3.90	11.37	33.37	44.73	0.75
SIOC05	4.51	3.53	10.43	32.74	42.34	0.77
SIOC06	4.29	3.03	10.81	31.45	44.68	0.70
SIOP01	4.62	3.15	11.12	32.45	44.11	0.74
SIOP02	4.53	3.54	10.75	33.48	41.45	0.81
SIOP03	4.12	3.22	9.78	33.92	43.57	0.78
SIOP04	4.05	3.18	11.86	32.87	43.08	0.76
SIOP05	4.98	3.78	11.09	31.58	42.89	0.74
SIOP06	4.15	3.37	10.98	30.64	44.78	0.68
SIOP07	4.33	3.25	9.88	33.09	43.61	0.76
SIOP08	3.98	3.07	9.71	30.68	41.87	0.73
SIOP09	4.68	3.51	11.29	33.74	44.06	0.77
SIOP10	4.01	3.17	10.78	33.48	43.75	0.77
SIOB01	4.98	3.41	10.11	35.83	42.70	0.84
SIOB02	4.73	3.21	9.92	34.65	42.01	0.82
AV. SIOC	4.45	3.48	10.76	31.93	43.05	0.74
AV. SIOP	4.35	3.32	10.72	32.59	43.32	0.75
AV. SIOB	4.86	3.31	10.02	35.24	42.36	0.83

Fuente: Elaboración propia

Los perfiles de ácidos grasos de las diferentes muestras de aceite de sachá inchi se presentan en la Tabla N° 16, se reportan los ácidos grasos mayoritarios como: palmítico, esteárico, oleico, linoleico y α -linolénico.

Los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) presentes en la muestra de aceite de sachá inchi en cápsula presentó una media de α -linolénico de 43.05% y linoleico de 31.93%, mientras que las muestras de aceite de semilla presentan una media de 43.32% de α -linolénico y 32.59% de linoleico y finalmente las muestras de aceite en botella una media de 42.36% de α -linolénico y 35.24% de linoleico. El ácido graso oleico es el ácido graso monoinsaturado (MUFA) de mayor predominancia que se encuentra en las muestras de aceite de sachá inchi en

cápsula, las muestras de aceite de semilla y las muestras de aceite en botella con una media de 10.76%, 10.72% y 10.02% respectivamente.

Los ácidos grasos saturados (SFA) presentes en las muestras de aceite de sachá inchi analizadas son principalmente ácido graso palmítico y esteárico, estos ácidos grasos se encuentran en menores cantidades siendo 4.45% y 3.48% respectivamente para las muestras de aceite de sachá inchi en cápsula. Comparando los valores encontrados con las otras muestras analizadas tenemos valores muy cercanos siendo 4.35% y 3.32% para los ácidos grasos palmítico y esteárico respectivamente para las muestras de aceite de semilla y también las muestras de aceite de sachá inchi en botella presentaron valores de ácido graso palmítico y esteárico de 4.86% y 3.31% respectivamente.

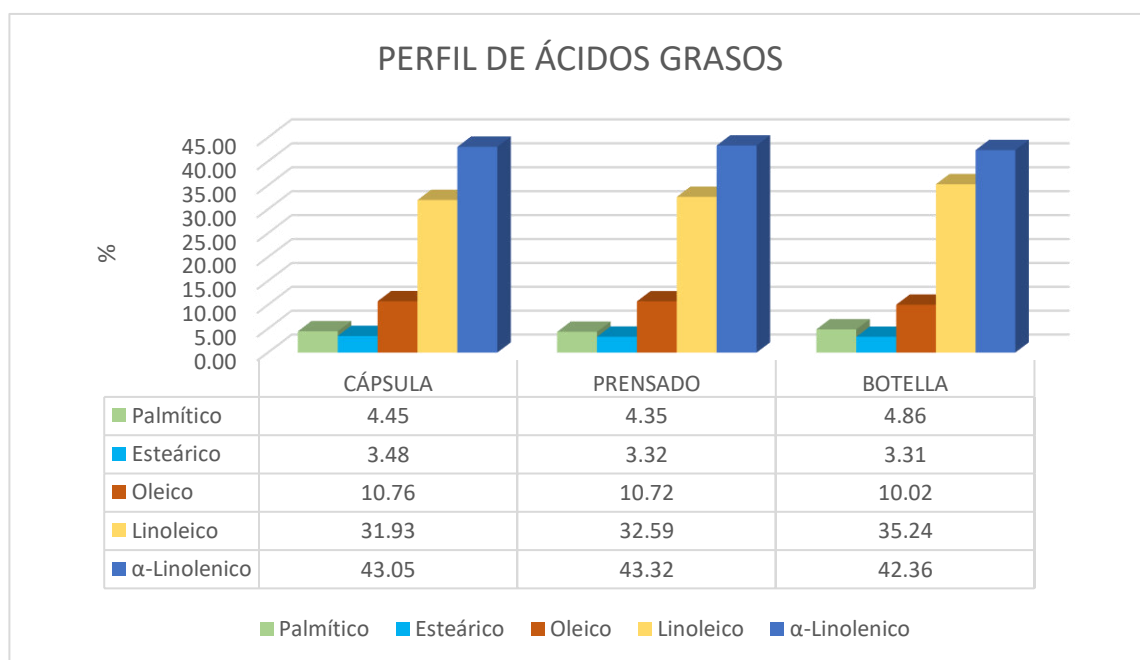


Figura N° 6. La media de los principales ácidos grasos presentes en las diferentes muestras de aceite de sachá inchi

Fuente: Elaboración propia

Las proporciones de $\omega 6/\omega 3$ de ácidos grasos encontradas de las muestras de aceite de sachá inchi en cápsulas estuvieron dentro del rango de 0.70 – 0.77. El

menor valor reportado de la proporción de $\omega 6/\omega 3$ es de 0.68 y al mayor valor es de 0.84 que corresponden a las muestras SIOP06 y SIOB01 respectivamente, según la Tabla N° 16, mientras que las muestras de aceite de semilla van de 0.68 – 0.81 y las muestras de aceite en botella reportan un valor de 0.82 – 0.89.

Las muestras de aceite de sachá inchi en cápsula presentan una media de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), monoinsaturados (MUFA) y ácidos grasos saturados (SFA) de 74.98%, 10.76% y 7.94% respectivamente, según la Tabla N° 18.

Tabla N° 17. Estadística descriptiva del contenido de ácidos grasos

	MUFA	PUFA	TUFA	TSFA
Cápsulas				
N	6	6	6	6
Σ	0.87	6.00	13.84	0.57
R	0.94	11.58	29.66	1.27
\bar{X}	10.76	37.49	28.58	3.97
Cv	8.05	16.01	48.45	14.46
Semillas Prensadas				
N	10	10	10	10
Σ	0.72	5.61	13.83	0.59
R	1.24	10.61	31.77	1.01
\bar{X}	10.72	37.96	28.88	3.83
Cv	6.67	14.78	47.89	15.49
Botellas				
N	2	2	2	2
Σ	0.13	4.15	15.21	0.90
R	0.19	7.12	31.90	1.55
\bar{X}	10.02	38.80	29.20	4.08
Cv	1.34	10.69	52.07	22.08

Fuente: Elaboración propia

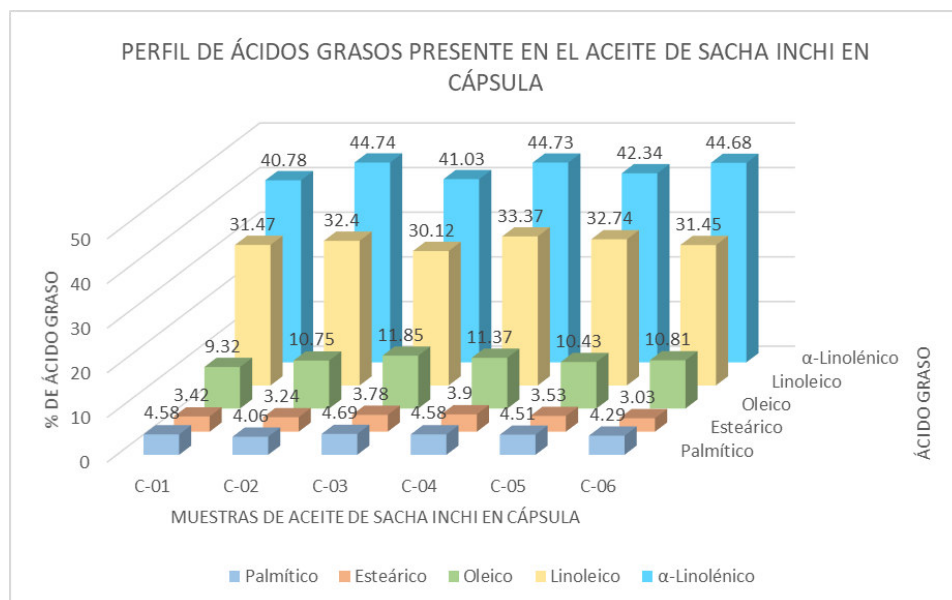


Figura N° 7. Porcentajes de principales ácidos grasos presentes en las diferentes muestras de aceite de sachá inchi

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 18. Resumen de contenido de ácidos grasos monoinsaturados (MUFA), poliinsaturados (PUFA), insaturados totales (TUFA) y ácidos grasos saturados (SFA) en los tres grupos de muestras analizadas.

Muestra	MUFA (%)	PUFA (%)	TUFA (%)	SFA(%)
CÁPSULAS	10.76	74.98	85.73	7.94
PRENSADO	10.72	75.91	86.63	7.67
BOTELLA	10.02	77.60	87.61	8.17

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1 Obtención de aceite

Los rendimientos de aceite obtenidos mediante el proceso de extracción por prensado en frío fueron de 23.17% y 15.26% sobre el peso de la almendra y sobre el peso de la semilla completa respectivamente, estos valores son relativamente bajos debido a que en el proceso de obtención no se utilizó una manga de tela que tenía la función de cumplir como filtro para que no pasen partículas pequeñas de la torta al aceite durante el proceso de extracción, debido a esto se acortaba el tiempo de extracción para evitar acortar la vida útil del aceite obtenido. Éstos valores fueron menores a los alcanzados por Chirinos et al., (2015), quienes presentaron 35.4% y 44.1% de rendimiento de aceite para la variedad *Plukenetia volubilis* y la *Plukenetia huayllabambana*, así mismo Gutiérrez et al., (2011), reportaron rendimientos de extracción obtenidos con hexano de $42.0 \pm 1.1\%$.

Gutiérrez et al. (2011) analizaron semillas de sachá inchi de Colombia y obtuvieron un rendimiento de 41.2%; a diferencia de ellos, Follegatti-Romero et al. (2009), mostraron mayores valores de rendimiento de aceite de sachá inchi obtenidos con SC-CO₂ (Técnica de extracción de fluido supercrítico) donde demuestra que el rendimiento aumentaba con la presión de extracción para todas las temperaturas, consiguiendo el rendimiento máximo de aceite del 50.1%, que corresponde a una recuperación del 92.3%.

Fernández-Sobrados et al. (2018), reportaron un rendimiento de aceite de moringa cercano al encontrado en el presente estudio para el sachá inchi (23.17%), de 24.70% mediante una extracción convencional y un rendimiento de 28.43% extraído con el método enzimático, obteniéndose una diferencia significativa entre ambas extracciones, atribuyéndole el incremento en el

rendimiento del aceite a la actividad de la enzima (hemicelulasa). Otras semillas oleaginosas como colza, linaza y girasol, presentan rendimientos de 39.9%, 37.8% y 35.5% respectivamente, mientras que la semilla de la uva presenta un rendimiento muy bajo del 6.9% (Navas, 2010).

Dos Santos et al., (2019), mostraron rendimientos de aceite de pecana extraído por fluido supercrítico utilizando CO₂ y gas licuado de petróleo (GLP), que presentaron los valores más altos (52.26% y 76.21%), en las condiciones de 250 bar a 20 ° C y 10 bar a 20 ° C respectivamente. Si bien es cierto, el GLP presenta un mayor rendimiento de aceite en un tiempo más corto con una consiguiente reducción en el consumo de solvente y el proceso puede llevarse a cabo a presiones y temperaturas más bajas reduciendo los costos, sin embargo, es altamente inflamable, tóxico y debido a estas características requiere más cuidado, atención y control durante la extracción a diferencia del CO₂ que no es inflamable ni tóxico, es un solvente lipídico adecuado y deja la matriz tratada libre de residuos de solvente.

5.2 Parámetros de calidad del aceite de sachá inchi

Para evaluar la calidad del aceite de sachá inchi se determinaron el valor de acidez libre y valor de peróxidos, los resultados son mostrados en la Tabla N° 12 en la cual se puede observar que se obtuvieron valores muy bajos de acidez, presentando valores por debajo de 1% (de α -linolénico) las muestras de aceite de sachá inchi en cápsulas SIOC01, SIOC02 y SIOC03 (cubierta dura), clasificando al aceite como aceite virgen extra y las otras muestras de aceite de sachá inchi SIOC04, SIOC05 y SIOC06 (cubierta blanda) presentan valores mayores a 1% y menores a 2% lo que significa que están dentro de los parámetros a considerar como aceite virgen según la Norma Técnica Peruana (2018), al tener las muestras un bajo contenido de ácidos grasos libres, se puede deducir que se ha llevado un buen tratamiento fitosanitario y manejo post-cosecha de la materia prima, ya que cuando un aceite posee alto índice de acidez apunta al uso de materia prima de baja calidad y a su mal manejo o

almacenamiento, por lo tanto no es recomendable su consumo según Paucar-Menacho et al., (2015).

Los resultados de acidez libre de las diez muestras de aceite de semilla (SIOP01 al SIOP10), y las muestras de aceite de sachá inchi en botella (SIOB01 y SIOB02), dieron resultados menores a 1% por consiguiente es posible afirmar que el proceso de obtención del aceite se realizó en óptimas condiciones, cabe mencionar que el valor de acidez libre es uno de los índices de calidad determinados con mayor frecuencia durante la producción, comercialización y almacenamiento de aceites comestibles.

Los valores obtenidos de valor de peróxido de todas las muestras fueron muy bajos siendo el menor valor obtenido 1.14 mEq O₂/kg y el máximo valor obtenido 5.45 mEq O₂/kg, según la norma técnica peruana NTP, 2018 el valor máximo permitido es de 10 miliequivalentes de oxígeno/kg de aceite, es decir corresponden a muestras de aceite no oxidadas y aptas para el consumo humano. Según Ramos-Escudero et al. (2019), la acidez libre y el valor de peróxido de las 27 muestras de aceite comercial de sachá inchi analizadas estuvieron en rangos de 0.16–1.86 (% de ácido α -linolénico) y 1.87–17.47 (meq O₂ / kg), respectivamente, presentando valores altos de peróxido que superan los límites de lo permitido según la NTP, 2018, lo que concluye que un gran porcentaje de sus muestras presentan un alto grado de oxidación.

Según Chirinos et al. (2015), informaron valores de acidez libre y valor de peróxido bajos para el aceite de semilla de la variedad *Plukenetia volubilis* (0.19% y 2.90 meq O₂ / kg), y para la variedad de *Plukenetia huayllabambana* 0.15% y 1.83 meq O₂ / kg, respectivamente, valores muy por debajo de los obtenidos en el presente estudio.

La acidez y el valor de peróxido son índices comúnmente utilizados para evaluar la calidad inicial de los aceites comerciales de sachá inchi (Chasquibol et al.,

2016), por lo tanto, podemos decir que las muestras de aceite analizadas no presentan deterioro oxidativo ni son propensas a generar una rancidez oxidativa a corto plazo durante el almacenamiento.

Las muestras de aceite de sachá inchi en cápsula muestran valores bajos de dienos conjugados (DC) y trienos conjugados (TC) que van en un rango de 0.35 – 0.60 y 0.06 – 0.11, respectivamente, según la Tabla N° 12. A pesar de que existen pocas publicaciones con información sobre los límites permitidos de DC y TC para el aceite de sachá inchi y no especifican estos valores en la NTP, 2018, se sabe que se forman debido a la degradación de los ácidos grasos insaturados, que contienen dos o más dobles enlaces, que son sensibles a las oxidaciones autocatalíticas (Ramos-Escudero et al., 2019).

Según la Tabla N° 13, los valores de absorción de DC y TC son para las muestras de aceite de sachá inchi en cápsulas (0.44 y 0.09), aceite de semilla (0.59 y 0.06) y aceite en botella (0.39 y 0.11), además presentan un ΔK de 0.08, 0.06, 0.10 respectivamente; los valores reflejan bajas concentraciones, lo que evidencia el buen estado de los aceites. Ramos-Escudero et al. (2019) encontraron valores de K_{232} en un rango de 1.96 - 2.29, valores de K_{270} de 0.08 - 0.20 y valores de ΔK de -0.005 - +0.005, resultados mayores a los encontrados el presente estudio. Según Chirinos et al. (2015) informaron valores de DC de 1.22 y 1.07 para las muestras de aceite de sachá inchi de las variedades de *Plukenetia volubilis* y *Plukenetia huayllabambana* respectivamente, aunque no se detectaron TC en ambas especies.

Fernández-Sobrados et al. (2018), reportaron para el aceite de moringa 1,25 y 0,11 para DC y TC respectivamente, estos valores son mayores a los encontrados en el presente estudio para el aceite de sachá inchi, aun así, eran bajas concentraciones y evidenciaban un buen estado del aceite.

Los dienos conjugados no se encuentran normalmente en los ácidos grasos, por lo tanto, su presencia es indicativa de un proceso oxidativo. Los bajos valores de acidez libre junto con los valores bajos de peróxido, dienos conjugados y trienos conjugados son indicativos de reacciones de oxidación no perjudiciales en los aceites durante los procesos de selección, molienda y extracción según Chirinos et al. (2015).

5.3 Polifenoles y actividad antioxidante

Según los valores mostrados en la Tabla N° 14, las muestras SIOC01, SIOC02 y SIOC03 presentan valores más altos de TBA, que corresponden a las muestras de aceite de sacha inchi en cápsula de cubierta dura, con respecto a las muestras SIOC04, SIOC05 y SIOC06 que corresponden a las muestras de aceite de sacha inchi en cápsulas de cubierta blanda, en ambos casos el valor de TBA es menor a 2.98 mg MDA/L. La concentración de MDA es proporcional a los ácidos grasos poliinsaturados oxidados, por lo tanto, es considerado uno de los marcadores más importantes del estado de oxidación lipídica como marcador de control de calidad y como biomarcador de estrés oxidativo (Custodio-Mendoza et al., 2019). Las muestras de aceite de sacha inchi en cápsula presenta una menor formación de productos secundarios con respecto a las muestras de aceite de sacha inchi de semilla, según los valores mostrados en la Tabla N° 15.

Según Custodio-Mendoza et al. (2019), al analizar dos muestras de mezclas de aceite, la primera con mayor contenido de aceite de oliva virgen y la segunda con menor contenido de aceite de oliva virgen pudo concluir que habían mayor contenido de MDA en aquellos aceites que tienen una menor proporción de aceite virgen, es decir que el contenido de MDA (malondialdehído) aumenta de acuerdo con el nivel de aceite refinado en el producto, entre 2.8-3.9 µg/g frente a 0.7-1.8 µg/g que se encuentran en la muestra de menor cantidad de aceite de oliva refinado (mayor cantidad de aceite virgen). En el caso del aceite de oliva de orujo, la cantidad de MDA se encontró en el rango de 5.0-9.2 µg/g; Este alto contenido podría estar relacionado con el procesamiento, ya que este aceite se extrae de

los desechos de aceite virgen y refinado por métodos químicos, procesos que a menudo se llevan a cabo a altas temperaturas que pueden mejorar la oxidación lipídica. La evaluación de la MDA en aceites fue utilizando un una microextracción por difusión de gas (GDME) con un procedimiento de derivatización de ácido tiobarbitúrico (TBA) seguido de cromatografía líquida de alto rendimiento con análisis de detección de ultravioleta y fluorescencia (HPLC-UV-FLD).

Los valores obtenidos de fenoles totales se pueden ver en la Tabla N° 14, las muestras de aceite de sachá inchi en cápsulas de cubierta dura presentan una media de 126.84 mg GAE/kg, menor a la media de las muestras de cápsulas de cubierta blanda (164.57 mg GAE/kg) y por ende tiene menor capacidad de retardar la degradación oxidativa de los lípidos, ya que los compuestos fenólicos actúan como antioxidantes preventivos o terminadores de radicales libres. Las muestras de aceite de sachá inchi en cápsula (145.7 mg GAE/kg), presentan mayor cantidad de compuestos fenólicos totales que las muestras de aceite de semilla (51.02 mg GAE/kg) y aceite de botella (97.33 mg GAE/kg), según la Tabla N° 15.

El contenido polifenólico, gracias a sus propiedades antioxidantes asegura la estabilidad oxidativa de los ácidos grasos poliinsaturados que imparten el sabor característico al aceite afirman Fanali et al. (2011), quienes obtuvieron un resultado de 62 mg GAE/kg para la muestra de aceite de sachá inchi analizada. Según Liu et al. (2014), reportaron una concentración de fenoles de 65.8 ± 0.27 mg GAE/kg de aceite de sachá inchi de Xishuangbanna (China).

Según Fernández-Sobrados et al. (2018), el contenido de polifenoles totales del aceite de semillas de moringa es de 53.4 mg GAE/kg, este aceite se considera equivalente al aceite de oliva en términos de sus propiedades químicas y es más estable que el aceite de canola, aceite de soja y aceite de palma cuando se usa para freír los alimentos.

De acuerdo con la Tabla N° 14 se puede apreciar que los porcentajes de inhibición del radical DPPH son menores para las muestras de aceite de sachá inchi en cápsula de cubierta dura a comparación de las muestras de cubierta blanda. La media del porcentaje de inhibición de las muestras de aceite en cápsula (47.67 %) es menor a la media de las muestras de aceite de semilla que muestran un 65.68 %, siendo así éstas mejores secuestradores de radicales por la técnica DPPH, ya que una muestra con un porcentaje de inhibición mayor al 50%, es una muestra con buena actividad antioxidante por DPPH.

Según Dos Santos et al. (2019), mostraron valores de actividad antioxidante por DPPH del aceite de pecana obtenidos mediante extracción por fluido supercrítico usando CO₂ (P-CO₂) en condiciones de 150 bar a 20°C y 250 bar a 60°C, presentando una actividad antioxidante de 85.14 % y 94.29 %, respectivamente, mientras que mediante la extracción por fluido supercrítico utilizando gas licuado de petróleo como disolvente a presión (P-GLP) exhibió valores de 75.59 % y 94.48 % y en condiciones de 10 bar a 20°C y 25 bar a 20°C respectivamente.

Según Yepes et al. (2017), reportaron valores bajos de inhibición del radical DPPH, en un orden de 6,15% para la pulpa de aguacate y 3,4 % para el aceite extraído de este fruto, lo anterior indica que tanto la pulpa como el aceite no son buenos secuestradores de radicales por la técnica DPPH, ya que gran parte del radical queda sin estabilizar.

5.4 Perfil de ácidos grasos

Se encontraron los ácidos grasos α -linolénico, linoleico, oleico, esteárico y palmítico en todas las muestras de aceite de sachá inchi analizadas, éstos ácidos grasos han sido reportados en el aceite de sachá inchi también por Chirinos et al. (2015). Los ácidos grasos más predominantes de las muestras de aceite de sachá inchi en cápsula fueron α -linolénico (43.05%) y linoleico (31.93 %) siendo los ácidos grasos más importantes en el aceite de sachá inchi. Según Chirinos et al. (2015), los valores de linoleico y α -linolénico y linoleico encontrados fueron de 45.62 % y 32.66 % respectivamente siendo valores muy cercanos a nuestros resultados, a diferencia de Rodríguez et al. (2015) y Paucar-Menacho et al. (2015) que reportan valores de α -linolénico y linoleico dentro del rango de 55.24 – 50.65 % y 33.18 – 11.17 % respectivamente, presentando alta variabilidad con respecto a los valores obtenidos en el presente estudio. Debido a los altos contenidos de ácidos grasos esenciales poliinsaturados como α -linolénico (ω 3) y linoleico (ω 6), el aceite sachá inchi es conocido como un suplemento nutricional ya que proporciona nutraceuticos más útiles que otros aceites de semillas comunes (Fanali et al., 2011).

El ácido graso monoinsaturado de mayor predominancia en las muestras de aceite de sachá inchi en cápsula fue el ácido graso oleico, el cual se obtuvo una media de 10.76 %; este valor es concordante con el valor reportado por Maurer et al. (2012), que obtuvo 10.7 %; aunque este contenido es mayor al reportado por Rodríguez et al. (2015).

Los ácidos grasos saturados palmítico y esteárico fueron los ácidos grasos menos predominantes, en las muestras de aceite de sachá inchi en cápsula, se obtuvo valores promedio de 4.45 % y 3.48 % respectivamente. Según Maurer et al. (2012) y Fanali et al. (2011), los valores de ácido graso palmítico y esteárico encontrados en el aceite de sachá inchi fueron de 4.67 - 4.3 % y 3.5 - 3.0 % respectivamente, los cuales son muy cercanos a nuestros resultados a diferencia de Paucar-Menacho et al. (2015) y Chirinos et al. (2015) que reportan valores de

ácido graso palmítico y esteárico de 10.83 - 6.30 % y 4.16 - 3.81 % siendo mayores a los obtenidos en el presente estudio.

Según se puede observar en la Tabla N° 18, los valores de ácido graso poliinsaturados (PUFA), monoinsaturados (MUFA) y saturados (SFA) obtenidos de las muestras de aceite de sacha inchi en cápsula analizadas presentan valores de 74.98 %, 10.76 % y 7.94 % siendo muy cercanos a los valores obtenidos de las muestras de aceite obtenida por prensado en la USMP que son 75.91 %, 10.72 % y 7.67 % y a las muestras de aceite en botella obtenidas de un supermercado local que son 77.60 %, 10.02 % y 8.17 % respectivamente, concluyendo así que hay poca variabilidad entre los resultados obtenidos.

Los resultados del aceite de sacha inchi presentan un valor de PUFA (74.98 %) mayor a los valores de PUFA de los aceites de linaza (64.8 %), de girasol (15.4 %) y de maíz (54.7 %) reportados por Maurer et al. (2012), aunque es todo lo contrario para el valor de los ácidos grasos monoinsaturados (MUFA), debido a que el aceite de sacha inchi reporta un valor de 10.76 % presentando así el menor valor a comparación de los aceites de linaza, girasol y maíz que reportan valores de 22.1 %, 77.9 % y 30.5 % respectivamente. Para el caso de los ácidos grasos saturados el aceite de sacha inchi (7.94 %) presentó valores mayores que el aceite de girasol (6.5 %), pero menor a los aceites de maíz (13.7 %) y linaza (9.4 %).

Según Follegatti-Romero et al. (2009) obtuvo valores de ácidos grasos oleico, linoleico y α -linolénico de 8.41 %, 34.08 % y 50.41 % en el cual podemos ver que presentan valores mayores de α -linolénico a diferencia del presente estudio que se obtuvo 43.05 % de α -linolénico para las muestras de aceite de sacha inchi en cápsulas y 43.32 % de α -linolénico para las muestras de aceite obtenidas en la USMP; esto puede ser debido a su proceso de obtención de aceite que fue mediante extracción por fluido supercrítico a diferencia del proceso que se realizó

en el presente estudio que fue por prensado en frío, el mismo proceso por el cual se obtuvieron las muestras de aceite de sachá inchi en cápsula.

Chirinos et al. (2015) reporta valores de α -linolénico de 51.34 % y linoleico de 26.67 % para el aceite de sachá inchi de la variedad *Plukenetia huayllabambana* y 45.62 % y 32.66 % respectivamente para el aceite de sachá inchi de la variedad *Plukenetia volubilis*, se puede observar que la variedad *Plukenetia huayllabambana* presenta alto contenido de α -linolénico a comparación de la variedad *Plukenetia volubilis*.

Según la NTP (2018), el aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) debe cumplir como mínimo con algunas características nutricionales como tener un valor mayor a 42 % para ácido α -linolénico, un valor mayor al 32 % para linoleico y un valor mayor a 8.5 % para ácidos oleico. Los valores de la media de las muestras de aceite de sachá inchi en cápsula se encuentran dentro de estos parámetros, aunque superó un poco los valores máximos que exige la norma para los ácidos palmítico y esteárico que son 4.4 % y 3.2 % respectivamente, ya que los valores obtenidos en el presente estudio son de 4.45 % y 3.48 % respectivamente.

Los valores reportados por Dos Santos et al. (2019), sobre el perfil de ácidos grasos del aceite de pecana extraído con fluido supercrítico están en el rango de 64.84 % – 71.60 % de ácido oleico el cual es el predominante en esta semilla, seguida del ácido linoleico que está presente en un rango de 21.56 % – 29.02 %.

Según Yepes et al. (2017), reportaron un perfil lipídico alto en ácidos grasos insaturados (77.38 %) con respecto a los ácidos grasos saturados (22.11 %) para el aguacate, con un 21.52 % de ácido graso palmítico como ácido graso saturado predominante y al ácido oleico con un 53.25 %, ácido linoleico con un 12.87 % y sólo un 0.76 % de ácido graso linolénico, por parte de los ácidos grasos insaturados.

Los resultados del presente estudio presentan una baja relación de ω_6/ω_3 , el promedio de la proporción de ω_6/ω_3 de las muestras de aceite de sachá inchi en cápsula es de 0.74, las muestras de aceite de semilla es de 0.75 y finalmente las muestras de aceite en botella reportan un valor de 0.83, según Chirinos et al. (2015) reporta un valor de ω_6/ω_3 de 0.72 muy cercano al reportado por las muestras de aceite de sachá inchi en cápsula y las muestras de aceite de semilla, además también se encuentra en el rango de 0.72 – 0.76 que reporta Wang et al., (2018) a diferencia de Paucar-Menacho et al. (2015) que presenta una proporción de ω_6/ω_3 muy alta de 4.34. La relación de ω_6/ω_3 debería de ser 1:1 para considerarse una relación óptima para la salud humana según Simopoulos (2011), y todas las muestras analizadas son cercanas a 1.

Existen evidencias científicas que demuestran que los omegas 3 y 6 son constituyentes importantes de la estructura de las membranas celulares, cumplen funciones energéticas y de reserva metabólica además de formar la estructura básica de algunas hormonas y de las sales biliares. Según Alvites-Misajel (2017), el aceite de sachá inchi presenta índices aterogénicos y trombogénicos muy bajos y la relación hipo/hipercolesterolémico favorables en comparación con los aceites de oliva y ajonjolí, y presenta índices muy similares al aceite de chía orgánica y convencional, los alimentos bajos en estos índices aterogénicos, trombogénicos e hipercolesterolémicos son buenos para retardar la aterosclerosis y así el riesgo de trastornos cardiovasculares en humanos. En este estudio se indica que el omega 3 juega un papel importante en la regulación del índice trombogénico, mientras que el omega 6 es dominante en el índice aterogénico. Por lo tanto, se sabe que el consumo de una dieta alta en ω_6/ω_3 , como se encuentra en las dietas occidentales hoy en día, promueven la patogénesis de muchas enfermedades cardiovasculares, cáncer e inflamación.

Según Rodríguez et al. (2015) el aceite de sachá inchi sometido a Rancimat (110 °C, 15 L/h de aire por 50 minutos) evidencia decaimiento de ácidos grasos monoinsaturados desde 6.813 % a 3.728 % y poliinsaturados desde 88.421 % a 51.995 % con el consiguiente aumento de los ácidos grasos saturados, presentando un valor inicial de $\omega6/\omega3$ de 0.6 y un valor final de $\omega6/\omega3$ de 0.62, presentando una mínima variación.

CONCLUSIONES

1. Las muestras de aceite de sachá inchi en cápsula de cubierta dura (SIOC01, SIOC02 y SIOC03) presentaron menores porcentajes de índice de acidez (% ácido graso linoléico) caracterizándose como aceite de sachá inchi virgen extra y las otras muestras de aceite de sachá inchi envasadas en cápsula blanda se clasifican como aceite de sachá inchi virgen, según la NTP (2018). Esto quiere decir que se requirió un menor número de miligramos de KOH para neutralizar los ácidos grasos libres presentes en el aceite.

2. Todas las muestras de aceite de sachá inchi en cápsulas, analizadas dentro del periodo de vida útil que indicaba en el envase, presentaron bajos valores de peróxidos encontrándose dentro del valor permitido, en el rango de 1.22 – 3.71 mEq O₂/kg.

3. Los valores obtenidos de dienos y trienos conjugados de todas las muestras de aceite de sachá inchi en cápsulas analizadas alcanzaron valores muy bajos cercanos a cero, encontrando el valor de la media de 0.44 y 0.09 respectivamente, esto quiere decir que hubo poca degradación de los ácidos grasos insaturados que son los más sensibles a las oxidaciones autocatalíticas.

4. La composición del perfil de ácidos grasos obtenido por medio de cromatografía de gases, de las muestras de aceite de sachá inchi en cápsulas, presentó una menor proporción de ácidos grasos saturados como palmítico (4.06 – 4.69 %) y esteárico (3.03 – 3.90 %), con respecto a los ácidos grasos insaturados como oleico (9.32 – 11.85 %), linoleico (30.12 – 33.37 %) y α -linoléico (40.78 – 44.74 %). El valor promedio de los ácidos grasos palmítico, esteárico, oleico, linoleico y α -linoléico son de 4.35 %, 3.32 %, 10.72 %, 32.59 % y 43.32 % respectivamente para las muestras de aceite de sachá inchi prensado y 4.86 %, 3.31 %, 10.02 %, 35.24 % y 42.36 % respectivamente para las muestras de aceite de sachá inchi en botella.

5. Las muestras de aceite de sachá inchi en cápsula presentaron alto contenido de fenoles totales en un rango de 78.79 – 203.82 mg GAE/kg, con una media de 145.7 mg GAE/kg, siendo la muestra SIOC03 (muestra en cápsula de cubierta dura) la que obtuvo el mayor valor con 203.82 mg GAE/kg frente a las demás y la muestra SIOC02 (muestra en cápsula de cubierta dura) la que obtuvo 78.79 mg GAE/kg, el menor contenido de fenoles de todas las muestras de aceite de sachá inchi en cápsula.

6. Las muestras de aceite de sachá inchi en cápsulas presentaron valores de TBA en el rango de 0.50 – 2.98 mg MDA/L, mientras que el valor de la media fue de 1.33 mg MDA /L.

7. Las muestras de aceite de sachá inchi en cápsulas analizadas arrojaron un valor de porcentaje de inhibición de DPPH en un rango de 24.60 – 69.05 %, presentando una media de 47.67 %. El menor valor encontrado pertenece a la muestra SIOC01 (cápsula de cubierta dura) y el mayor porcentaje de inhibición corresponde a la muestra SIOC06 (cápsula de cubierta blanda).

RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio de estabilidad de las muestras de aceite de sachá inchi encapsulados en un determinado tiempo o mediante pruebas aceleradas.
2. Hacer un análisis de los parámetros de calidad de una muestra de aceite de sachá inchi en cápsulas de cubierta dura y cubierta blanda por un determinado tiempo, y analizar cada cierto tiempo para determinar la influencia del tipo de cubierta sobre el aceite.
3. Realizar un estudio de vida útil de las muestras de aceite de sachá inchi que son comercializadas en botella, el estudio sería simulando un consumo diario en donde se expone a los factores del ambiente y determinar su vida útil real. Ya que se sabe que una vez abierto ya empieza el periodo de oxidación, entre otros procesos de degradación del aceite, pero no existe un análisis que demuestre el tiempo máximo en el que debe consumirse ese aceite y que se encuentre en niveles aceptables
4. Incentivar al desarrollo de nuevos productos aprovechando los insumos que quedan antes y después de la elaboración del aceite de sachá inchi, como las hojas, cáscaras, torta, entre otros, aplicándolo no sólo en la industria alimentaria sino también en la industria farmacéutica, cosmética y como biocombustible.
5. Incentivar el desarrollo de nuevos productos a base de aceite de sachá inchi con la adición de insumos naturales que además de alargar el tiempo de vida útil del aceite puedan mejorar sus características funcionales y nutricionales.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- Alberdi-Cedeño, J., Ibargoitia, M. L., y Guillén, M. D. (2019). Monitoring of minor compounds in corn oil oxidation by Direct Immersion-Solid Phase Microextraction-Gas Chromatography/Mass Spectrometry. New oil oxidation markers. *Food Chemistry*. doi:10.1016/j.foodchem.2019.04.001
- Alvites-Misajel, K. (2017). *Comparación del perfil de ácidos grasos del aceite de chía (Salvia hispánica L.) orgánica y convencional (variedades blanca y negra) cultivadas en el Perú, como una alternativa para aceites vegetales comestibles*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10757/621861>
- Ahn, D.U. y Kim, S.M. (1998). Prooxidant Effects of Ferrous Iron, Hemoglobin, and Ferritin in Oil Emulsion and Cooked Meat Homogenates Are Different from Those in Raw Meat Homogenates. *Poultry Science*, 77, 348-355.
- Arévalo. G. (1996). *El cultivo de sacha inchi (Plukenetia volubilis L.) en la Amazonía*. Recuperado de <http://www4.congreso.gob.pe/comisiones/1999/ciencia/cd/inia/inia-i5/inia-i5.htm#TopOfPage>
- Arfini F. y Antonioli F. (2013). *Sacha inchi. Investigación sobre las condiciones para el reconocimiento de la indicación geográfica en el Perú*. Università degli Studi di Parma, Centro Universitario per la Cooperazione Italiana-CUCI, Terre des Hommes Italia.
- Chasquibol, N.A., Gómez-Coca, R.B., Yácono, J.C., Guinda, Á., Moreda, W., del Aguila, C. y Pérez-Camino MC. (2016). Markers of quality and genuineness of commercial extra virgin sacha inchi oils. *Grasas y Aceites*. 67. e169. <http://dx.doi.org/10.3989/gya.0457161>.
- Chirinos, R., Pedreschi, R., Domínguez, G., y Campos, D. (2015). Comparison of the physico-chemical and phytochemical characteristics of the oil of two *Plukenetia* species. *Food Chemistry*, 173, 1203–1206. doi:10.1016/j.foodchem.2014.10.120
- CODEX STAN 210. (1999). Norma del Codex para aceites vegetales especificados. Lima, Perú.

- Correa, J. y Bernal, H. (1992). *Tomo VII Especies vegetales promisorias de los países del convenio Andrés Bello*. p. 577-596.
- Custodio-Mendoza, J. A., Valente, I. M., Ramos, R. M., Lorenzo, R. A., Carro, A. M., & Rodrigues, J. A. (2019). Analysis of free malondialdehyde in edible oils using gas-diffusion microextraction. *Journal of Food Composition and Analysis*, 103254. doi:10.1016/j.jfca.2019.103254
- Dos Santos, J., Confortin, T., Toderó, I., Souza, A., Reis, S., Pagnossim, C., Wagner, R., Mazutti, M. y Severo da Rosa, C. (2019). Simultaneous extraction of oil and bioactive compounds from pecan nut using pressurized solvents. *The Journal of Supercritical Fluids*. Volume 153. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.104598>
- Fanali, C., Dugo, L., Cacciola, F., Beccaria, M., Grasso, S., Dachá, M., Dugo P. y Mondello, L. (2011). Chemical Characterization of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(24), 13043–13049. doi:10.1021/jf203184y
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) (2012). “*Fats and fatty acids in human nutrition: Report of an expert consultation. FAO Food and Nutrition Paper No. 91*”. Recuperado el 20/06/2019 de: <http://www.fao.org/3/i1953s/i1953s.pdf>
- FDA (Food and Drug Administration). (2014). *GRAS Notices*. Disponible en: <https://wayback.archive-it.org/7993/20171031004405/https://www.fda.gov/Food/IngredientsPackagingLabeling/GRAS/NoticeInventory/ucm425865.htm>
- Follegatti-Romero, L. A., Piantino, C. R., Grimaldi, R., y Cabral, F. A. (2009). Supercritical CO₂ extraction of omega-3 rich oil from Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds. *The Journal of Supercritical Fluids*, 49(3), 323–329. doi:10.1016/j.supflu.2009.03.010
- Gonzales. G. y Gonzales. C. (2014). A randomized, double-blind placebo-controlled study on acceptability, safety and efficacy of oral administration of sachá inchi oil (*Plukenetia volubilis* L.) in adult human subjects. *Food and Chemical Toxicology*, 65:168–76.

- Gorriti A. y Arroyo J. (2010), Toxicidad oral a 60 días del aceite de sacha inchi (*Plukenetia volúbilis* L.) y linaza (*Linum usitatissimum* L.). *Revista Peruana Medicina Experimental y Salud Pública*, 27:352-60.
- Guillén, M. D., Ruiz, A., Cabo, N., Chirinos, R., y Pascual, G. (2003). Characterization of sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil by FTIR spectroscopy and ¹H NMR. Comparison with linseed oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80(8), 755–762. doi:10.1007/s11746-003-0768-z
- Gutiérrez, L. F., Rosada, L. M., y Jiménez, Á. (2011). Chemical composition of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and characteristics of their lipid fraction. *Grasas y Aceites*, 62(1), 76–83. doi:10.3989/gya044510
- Gutiérrez, L-F., Segura, Y.Q., Sanchez-Reinoso, Z., Díaz, D.L. y Abril, J.I. (2017). Physicochemical properties of oils extracted from γ -irradiated Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds. *Food Chemistry*. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.148>
- Hazen, D. y Stoewesand, Y. (1980). *Resultados de análisis del aceite y proteína del cultivo de sacha inchi*. Universidad de Cornell. USA
- IUPAC (1987). Standard Method 2.302. Standard methods for the analysis of oils, fats and derivatives. Determination of FAMES by capillary GC. Oxford, Great Britain: *Blackwell Scientific*.
- Kastelein, J., Maki, K., Susekov, A., Ezhov, M., Nordestgaard, B., Machielse, B., Kling, D. y Davidson, M. (2014). Omega-3 free fatty acids for the treatment of severe hypertriglyceridemia: The Epanova for Lowering Very high triglycerides (EVOLVE) trial. *Journal of Clinical Lipidology*. 8: 94-106.
- Laguerre, M., Lecomte, J., Villeneuve, P. (2007). Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: Existing methods, new trends and challenges. *Progress in Lipid Research*. 46: p. 244 - 282.
- Liu, Q., Xu, Y., Zhang, P., Na, Z., Tang, T., Shi, Y. (2014). Chemical composition and oxidative evolution of Sacha Inchi (*Plukentia volubilis* L.) oil from Xishuangbanna (China). *Grasas Aceites*, 65(1): e012. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/gya.075713>.

- Maurer, N., Hatta-Sakoda, B., Pascual-Chagman, G. y Rodriguez-Saona, L. (2012). Characterization and authentication of a novel vegetable source of omega-3 fatty acids, Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil. *Food Chemistry*, 134(2): 1173–1180. doi:10.1016/j.foodchem.2012.02.143
- Navas, H. (2010). *Componentes minoritarios y propiedades antioxidantes de aceites vírgenes y tortas residuales obtenidos por presión en frío a partir de fuentes vegetales convencionales y no convencionales*. Tesis Doctoral. Universidad de Castilla La Mancha, Facultad de Ciencias Químicas. España.
- Navascués, I. y Hernández F. (2003). *Notas galénicas: cápsulas*. Panace@. Vol. IV, n°. doble 13–14. Disponible en: https://www.tremedica.org/wp-content/uploads/n13-14_tradyterm-navascues.pdf
- Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlovic.V., Levic, S., y Bugarski, B. (2011). An overview of encapsulation technologies for food Applications. *Procedia Food Science*, 1 (2011) 1806 – 1815. Published by Elsevier B.V. Selection and/or peer-review under responsibility of 11th International Congress on Engineering and Food (ICEF 11) Executive Committee. doi:10.1016/j.profoo.2011.09.266
- Norma Técnica Peruana. NTP 151.400. (2018) Sacha Inchi. Aceite. Requisitos. Dirección de Normalización-INACAL. Lima, Perú.
- Pastuña, A., López, O., Debut, A., Vaca, A., Rodríguez, E., Vicente, R., Gonzalez V., Gonzalez M. y Tapia F. (2016), Microencapsulación de aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) mediante secado por aspersión. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, Vol. 45(3), 422–437. doi:10.15446/rcciquifa.v45n3.62029
- Paucar-Menacho, L., Salvador-Reyes, R., Guillén-Sánchez, J., Capa-Robles, J., y Moreno-Rojo, C. (2015). Comparative study of physical-chemical features of sachá inchi oil (*Plukenetia volubilis* L.), olive oil (*Olea europaea*) and fish oil. *Scientia Agropecuaria*, 279–290. doi:10.17268/sci.agropecu.2015.04.05

- PROMPERÚ (2016). Guía para la elaboración de un Dossier Novel Food. Aceite Sacha Inchi. Recuperado de: http://www.siicex.gob.pe/siicex/documentosportal/Guia_elaboracion_Dossier_Novel_Food_Sacha_Inchi.pdf
- Ramos-Escudero, F., González-Miret, M. L., Viñas-Ospino, A., y Ramos Escudero, M. (2019). Quality, stability, carotenoids and chromatic parameters of commercial Sacha inchi oil originating from Peruvian cultivars. *Journal of Food Science and Technology*. doi:10.1007/s13197-019-03960-x
- Reglamento de la Comunidad Europea (2015) Commission Regulation (EEC) No 2568/91 of 11 July 1991 on the characteristics of olive oil and olive-residue oil and on the relevant methods of analysis. *Official Journal of the European Union*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A01991R2568-20151016>.
- Rodríguez, G., Villanueva, E., Glorio, P., y Baquerizo, M. (2015). Oxidative stability and estimate of the shelf life of sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil. *Scientia Agropecuaria*, 155-163. doi:10.17268/sci.agropecu.2015.03.02
- Ruiz, C., Diaz, C., Anaya, J., y Rojas, R. (2013). Análisis proximal, antinutrientes, perfil de ácidos grasos y de aminoácidos de semillas y tortas de 2 especies de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* y *Plukenetia huayllabambana*) - *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 79 (1)
- Señorans, J. (2006). *Extracción de aceites de semillas y de oruja de aceitunas*. Universidad Autónoma de Madrid. Disponible en: http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/alimento/Apuntes/TCAC-T4-Extraccion-aceites-semillas.pdf
- SIICEX (2021) Sachá inchi: 2021. Exportación del producto sachá inchi según sus principales presentaciones en kg, 2016–2021. Sistema Integrado de información de Comercio Exterior. Disponible en: <http://www.siicex.gob.pe/siicex/apb/ReporteProducto.aspx?psector=1025&preporte=prodpresvolu&pvalor=1945>

- Simopoulos, A. P. (2011). Evolutionary Aspects of Diet: The Omega-6/Omega-3 Ratio and the Brain. *Molecular Neurobiology*, 44(2), 203–215. doi:10.1007/s12035-010-8162-0
- Singleton, V. y Rossi, J. (1965). Colorimetry of Total Phenolic Compounds with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144-158.
- Ullauri, P. G., 2010. Transporte de masa en extracción fase sólido-líquido. Quito-Ecuador: Recitela. Vergou, vol. 10, no. 2, pp. 1-13
- Vicuña, A., Izquierdo, E. y Huamán, J. (2012). Gemfibrozil versus Sacha Inchi oil in reducing serum triglyceride levels in *Rattus rattus* var albinus. *Acta Médica Peruana*; 29 (2):85-8
- Wang, S., Zhu, F., y Kakuda, Y. (2018). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Nutritional composition, biological activity, and uses. *Food Chemistry*, 265, 316–328. doi:10.1016/j.foodchem.2018.05.055
- Zapata, K., Piedrahita A.M., Alzate, A.F., Cortés, F.B. y Rojano, B.A. (2015). Estabilización oxidativa del aceite de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) con suspensiones de mortiño (*Vaccinium meridionale* SW). *Revista Ciencia en Desarrollo*, Vol. 6 No. 2 ISSN 0121-7488, pp. 141-153